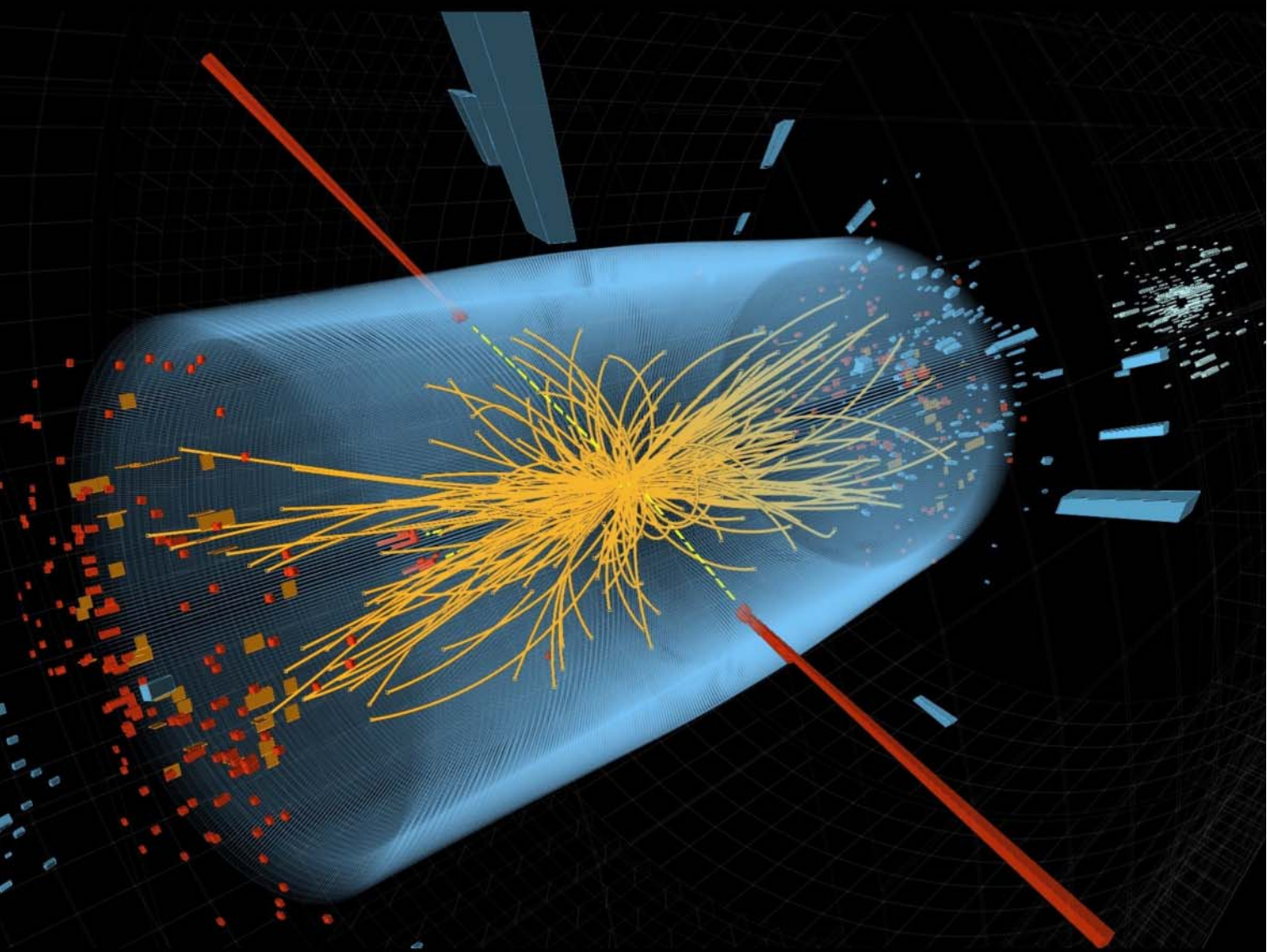


fizikai szemle



2012/11

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

Főszerkesztő:

Szatmáry Zoltán

Szerkesztőbizottság:

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-mail címe:

szerkesztok@fizikaiszemle.hu

A lapba zánt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>



A címlapon:

CMS-esemény két nagyenergiás
fotonnal, amely származhatott
a Higgs-részecske bomlásából.
A többi részecskenyom az ütköző
protoncsomagok más
kölsönhatásaiból keletkezett. A kék
árnyék a CMS-detektor elektronok
és fotonok észlelésére szolgáló
rendszerét mutatja. ©CERN

TARTALOM

<i>Raics Péter</i> : A Debreceni Egyetem Kísérleti Fizikai Tanszékének tettei a részecskefizikában – II. rész	361
<i>Turchányi Géza</i> : Mozaikok a CERN és az informatika történetéből – II. rész	366
<i>Paripás Béla, Palásthy Béla</i> : Atomi belsőhő-folyamatok vizsgálata koincidencia elektron-spektrometriával – I. rész	370
<i>Tél András, Czmerk András, Tél Tamás</i> : Kvantált vezérlési problémák – II. rész	373
<i>Hraskó Péter</i> : Merre mutat a Föld forgástengelye?	376
<i>Bokor Nándor</i> : Relativisztikus fogócska – II. rész	379

A FIZIKA TANÍTÁSA

Károlyházy-feladatok az Eötvös-versenyen – II. rész, termodinamika (<i>Radnai Gyula</i>)	383
<i>Jaloveczki József</i> : „Fizikashow”, a fizika népszerűsítésének eszköze	388
<i>Radnóti Katalin, Adorjánhé Farkas Magdolna</i> : A fizika tanításához szükséges tanári tudás rendszere – I. rész	391
<i>Härtlein Károly</i> : Kísérletezzünk otthon!	395

VÉLEMÉNYEK

Az Entrópiaprobléma és a Fizikai Szemle közlési gyakorlata (<i>Kertész János</i>)	396
---	-----

HÍREK – ESEMÉNYEK

<i>P. Raics</i> : The Department of Experimental Physics at University of Debrecen: activities in particle physics – part II	
<i>G. Turchányi</i> : Details of the history of CERN and informatics – part II	
<i>B. Paripás, B. Palásthy</i> : The coincidence electron spectrometry method of investigating atomic internal orbit processes – part I	
<i>A. Tél, A. Czmerk, T. Tél</i> : Problems of quantized control – part II	
<i>P. Hraskó</i> : Where does the axis of the Earth's rotation point to?	
<i>N. Bokor</i> : Relativistic catching up – part II	

TEACHING PHYSICS

Eötvös Physical Competition problems contributed by F. Károlyházy – part II, Thermodynamics (<i>G. Radnai</i>)	
<i>J. Jaloveczki</i> : „Fizikashow” – one way of popularizing physics	
<i>K. Radnóti, M. Farkas-Adorján</i> : The knowledge system needed by teachers of physics – part I	
<i>K. Härtlein</i> : Physical experiments to be performed at home	

OPINIONS

„The entropy problem” paper and the publication policy of our Journal (<i>J. Kertész</i>)	
---	--

EVENTS

<i>P. Raics</i> : Der Lehrstuhl für Experimentalphysik an der Universität Debrecen und seine Tätigkeit auf dem Gebiet der Teilchenphysik – Teil II.	
<i>G. Turchányi</i> : „CERN und die Informatik”: Einzelheiten aus der Geschichte – Teil II.	
<i>B. Paripás, B. Palásthy</i> : Die Untersuchung inneratomarer Prozesse mit der Methode der Koinzidenzelektronen-Spektroskopie – Teil I.	
<i>A. Tél, A. Czmerk, T. Tél</i> : Probleme der gequantelten Steuerung – Teil II.	
<i>P. Hraskó</i> : Wohin zeigt die Achse der sich drehenden Erde?	
<i>N. Bokor</i> : Einholen bei relativistischen Geschwindigkeiten – Teil II.	

PHYSIKUNTERRICHT

Aufgaben zu den Eötvös-Wettbewerben von F. Károlyházy – Teil II, Thermodynamik (<i>G. Radnai</i>)	
<i>J. Jaloveczki</i> : „Fizikashow” – eine Art, Physik attraktiv zu machen	
<i>K. Radnóti, M. Farkas-Adorján</i> : Das System der von Lehrern der Physik benötigten Kenntnisse – Teil I.	
<i>K. Härtlein</i> : Zu Hause ausgeführte Experimente	

MEINUNGSÄUSSERUNGEN

Der Artikel „Das Entropieproblem” und die Publikationspolitik unserer Zeitschrift (<i>J. Kertész</i>)	
---	--

EREIGNISSE

<i>П. Раич</i> : Кафедра Экспериментальной Физики Дебреценского Университета и её деятельность в физике частиц – часть вторая	
<i>Г. Турчани</i> : Очерки из истории «CERN и информатика»: Einzelheiten aus der Geschichte – часть вторая	
<i>Б. Парипас, Б. Паластхи</i> : Применение спектроскопии совпадающих электронов для изучения внутриаомных процессов – часть первая	
<i>А. Тел, А. Чмерк, Т. Тел</i> : Проблемы квантового управления – часть вторая	
<i>П. Храско</i> : Куда направлена ось вращения Земли?	
<i>Н. Бокор</i> : Как догнать и перегнать по теории относительности – часть вторая	

ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ

Задачи физического конкурса им. Этвеша от Ф. Каройхази – часть вторая, термодинамика (<i>Г. Раднаи</i>)	
<i>Й. Яловецкий</i> : „Fizikashow” – новый способ популяризации физики	
<i>К. Радноти, М. Адорьян-Фаркаш</i> : Система необходимых для учителей физики знаний – часть первая	
<i>К. Гертлейн</i> : Эксперименты для выполнения дома	

ЛИЧНЫЕ МНЕНИЯ

Статья «Проблема энтропии» и порядок публикаций в нашем журнале (<i>Й. Кертеш</i>)	
--	--

ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ

Fizikai Szemle
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését anyagilag támogatják:



paksi atomerőmű



Nemzeti
Kulturális
Alap

NCA
Nemzeti Civil Alaprogram



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

LXII. évfolyam

11. szám

2012. november

A DEBRECENI EGYETEM KÍSÉRLETI FIZIKAI TANSZÉKÉNEK TETTEI A RÉSZECSEKEFIZIKÁBAN – II. RÉSZ avagy a csodálatos 20 év alulnézetből

Raics Péter

Debrecen Egyetem, Kísérleti Fizika Tanszék

Felpörög az oktatás: minden szinten
szinte minden

Kapaszkodjunk! Ez hosszú fejezet lesz: az egyetem az új tudományt a tudásátadás sok formájában hasznosítja. (Most nem írok a közoktatásban és a nagyközönség számára végzett ismeretterjesztésről, amit nem elhanyagolható mértékben végzünk ma is.)

Baksay László kezdetben saját pénzén, majd minimális díjazású vendégprofesszori állásban több éven keresztül a tavaszi félévet (vagy annak nagy részét) nálunk töltötte. Meghirdetett egy részecskefizika-szemináriumot 1993-ban. Egyszerre felbolydult az élet a KisFizen! Vitára kényszerült mindenki a témájával kapcsolatban, először csak László kemény kérdései, majd egymáséi folytán. Azután a diákokat rászoktatta arra, hogy a számítástechnikát komolyan vegyék igénybe a felkészüléshez, előadáshoz és a dolgozat elkészítéséhez. Előzönlöttek a tanszék féltve őrzött számítástechnikai szobáját és bátran használták az eszközöket. Nahát, ilyen! Lett erre nagy hangzavar az oktatók részéről! Mit keresnek ott a diákok?! Ugyan kevesen jártunk be abba a terembe, sokan csak szkennelni legfeljebb, de akkor is! És egyáltalán! A rendszer kitalálói és megalkotói, *Nagy Sanyi* és *Sudár Sanyi* csitították őket, hogy de hiszen éppen ezért van az egész. Végül is megszokottá vált, hogy Laci tanítványai önállóan dolgoznak ott és békés célra használják az ő érdekükben is létrehozott infrastruktúrát. (Egyébként az első magyar elektronikus levelezőrendszer, az „ella” megjelenésekor valaki döbbenetnek adott hangot, hogy a tanszékvezető engedélye

nélkül bárki csak úgy levelet írhat akárkinek akárhova, akármikor, bármiről.)

A Baksay és *Gutay* professzoroktól kapott fizikatan könyvek révén megismerhettük az amerikai egyetemi oktatás módszereit is: nem öncélúan színes megjelenés, sok példa, feladat, kitekintés más területekre (művészet, mindennapi élet).

Baksay Laci kezdeményezésére és széles ismeretségi köre segítségével újraindultak a tanszéki (sőt nagy nyilvánosságú, más intézeteknek, az ATOMKINAK is szóló) szemináriumok. A később Szalay-teremnek keresztelt nagyelődő zsúfolásig megtelt diákokkal, tanárokkal, kutatókkal, hogy meghallgassák *Kiss Dezső*, *Patkós András*, *Pócsik György*, *Vesztergombi György*, *Horváth Dezső* és mások részecskefizikai előadásait. Néhányan többször is eljöttek hozzánk. Azután mi is megjelentünk a KFKI-ban, később, főleg a nehézionos rendezvények hallgatóiként. Az „amerikás magyarok” közül Gutay László és Dávid Gábor nemcsak ilyen szemináriumi előadásokkal örvendeztetek meg bennünket, hanem a doktori iskolában is különleges szerepet töltek be.

A Fizikai Tudományok Doktori Iskolája négy programmal indult Debrecenben: Atom- és molekulafizika, Magfizika, Szilárdtestfizika és anyagtudomány, Fizikai módszerek interdiszciplináris alkalmazásokban. Baksay László már 1994 tavaszán (!) felvetette *Lovas István*nak a Részecskefizika program létrehozását. Bátyó szerint addig csupán néhány elméleti munka született (csaknem kizárólag az ő vezetésével), ezeket meg „el lehetett adni” magfizikaként. A kísérleti fejlesztések beindulásával viszont a részecskefizika is két lábra támaszkodhatott most már. Az első OTKA-pályázatot sikeresen

vettük, előkészültünk az újabbhoz, elektronikai és optikai eszközöket készítettünk a Silicon Microvertex Detector (SMD) helyzetmeghatározására, a Drift Velocity Monitor (DVM) felújítását a mi csoportunk végezte, a CERN-ben az L3 tagjai lettünk, más intézetekkel, egyetemekkel munkakapcsolat alakult ki – doktori fokozattal miért ne lehetne honorálni a legjobb diákok erőfeszítéseit, eredményeit?

Az új program akkreditálásának kemény szakmai-oktatási feltételei vannak. Ezek teljesítése megoldható volt: ha kellett, „leigazoltunk” külső előadókat, téma-vezetőket. Kaptunk támogatást a CERN-ből és más intézményektől is. A benyújtott kérelem megosztotta a többi program vezetőit, részvevőit: az új tudományág elviszi majd az ő témájukról a diákokat. *Pálinkás József* viszont azzal érvelt, hogy újabb állami finanszírozás hely keletkezik és a hallgatók száma növekedni fog, a fizika erősödik ezzel. Mint a doktori iskola vezetője, ő irányította a vitát (vizsgát?), amikor Bátyó és én bemutattuk a programot. Ebben szerepelt egy olyan PhD-kurzus, amelyben laboratóriumi méréseket végezhetnek azok a diákok, akik nem találkoztak magfizikával egyetemi tanulmányaik során. Ezt a „szintre hozó” praktikumot Pálinkás professzor hülyeségnek tartva, kegyetlen támadást indított ellene. Eljárását utólag nagyon hasznos színjátékként értékeltük: a többiek nagy meglepedésére „ki kellett húznunk” az amúgy is zsúfolt tematikából az inkriminált kurzust. Ezután már elfogadták a Részecskefizikai programot, ami gyorsan be is indult és nagy népszerűségnek örvend azóta is.

Voltak, akik az „amerikások” egyetemén, intézetében végezték a kutatásokat együttműködésben és itthon védték meg disszertációjukat, mások kint szereztek meg a fokozatot. Sokan hazajöttek és itthon folytatták/folytatják munkájukat (nem feltétlenül a fizika területén). Laciék nagy súlyt fektettek arra, hogy „Amerikát” reálisan lássák a fiatalok, pozitívumaival és negatívumaival együtt.

A program első vezetője Lovas István volt, akit *Trócsányi Zoltán* követett. Több oktatási pályázatot nyertünk az új doktori program infrastrukturális háttérének fejlesztésére Lovas István, Pálinkás József és jómagam témavezetésével.

A meghirdetett PhD-kollégiumok – érthető módon – tükrözték az előadók kutatási és egyéb oktatási tevékenységét [6]. A magfizikusok egy része inkább kísérleti-technikai jellegű előadással járult hozzá a képzéshez (detektorok, gyorsítók, módszerek, kiértékelés). A „vérbeli” részecskefizikusok egyrészt az elméletre, másrészt a nagy kísérletek adatainak analízisére tanították az ifjúságot (és a nem-ilyenek született öregeket). A sok, nagyon érdekes és tanulságos PhD-kurzus közül kettőt említek meg külön. Az egyik Gutay László *Kísérleti nagyenergiájú részecskefizika* a Perkins-könyv alapján. Nagy lelkerőt kívánt a tömbösített módon előadott anyaghoz tartozó megannyi számolási feladat folyamatos megoldása, amit Laci nagyon szigorúan behajtott mindenkin. Az amerikai módszer igen eredményesnek bizonyult e tudás-sivatag felszámolásában, de vért izzadtunk egy hónapon keresztül.

A másik kurzus külön bekezdést (fejezetet? könyvet!) érdemel: a diákok által DGS-nek nevezett fantasztikum, a *Dávid Gábor Seminar*. Azok is vállalkoztak erre a testi-lelki-szellemi önkínzással járó, de csúcshellemi élményt, tudást nyújtó „happening”-re, akik később nem is foglalkoztak részecskefizikával, de – az előadó varázslatos személyén keresztül – részesülni akartak a tanulás-tudás örömeiből. Természetesen, Baksay Laci csalta el hozzánk őt is, a RHIC/PHENIX-kísérlet (Brookhaven) vezető kutatóját. Jó iskolát járt: PhD-irányítója annak idején arra szoktatta, hogy egy hét 168 órából áll + a szombat és a vasárnap. Ő már sokkal enyhébb követelményekkel állt elő. Mivel rengeteget dolgozott a kvark-gluon plazma kimutatására felépített híres és sikeres kísérleten, Debrecenben csak 168 órát tudott tartózkodni az adott félévben. Ezen idő alatt több szemeszternyi anyaggal gazdagította rajongóit, akiknek jogukban állt akár 8-10 órát is alvással eltölteni ebben a periódusban. Úgy kezdte, hogy levelezéssel felmérte leendő hallgatóit, kiosztotta az irodalmat és a szükséges matematikai ismeretanyagot. Azután mosolyogva beviharzott, elmondta a részecskefizikai főprobléma elméleti és kísérleti háttérét, a személyre szabott, esetleg korrigált feladatok konkrét fontosságát. Pedagógiai módszerei folytán mindenki sikeres volt: menet közben állandó segítséget adott. Ha egy hibát jellegzetesnek ítélt, mindenki számára világossá tette a megoldást. A kávé, üdítő és egyéb élelem raktárának is berendezett PC-terem a közös küzdelem nagy terepe volt. Az utolsó tizenkét órában mindenki beszámolt a végzett munkáról, eredményről, majd ezt folytatták egy étteremben. PhD-vezetőnek sem volt lazább, erről *Tarján Peti* tudna mesélni! Kezdetben teljesen saját költségen tartózkodott nálunk, míg végre legalább az úti és szállásköltségét ki tudtuk fizetni. Istennek hálát adok, hogy magánemberként, barátként is megismerhettük, tüneményes édesanyjával együtt házukban vendégül láthattuk. (Évek óta nem járt itt, nagyon hiányzik! De van remény: ígért jövedelme egy DGS-t. Idén Finnországban tart ilyen: közeledik már.)

Az volt a szokás világszerte, hogy a kísérletes, építő, fejlesztő típusú munkákat csak akkor fogadták el doktori cselekményként, ha az tartalmazott elméleti részeket, vagy legalábbis valamilyen kísérlet bonyolult kiértékelését, az „analízist”. Azután előbb az USA-ban, majd máshol is „normális” irányba fejlődtek a követelmények (bár az analízist most is illik betenni). Mivel a nagyenergiájú fizika bonyolult eszközöket követelt és az egész kísérletsorozat száz és ezer kutató összehangolt tevékenységére épült, a gyors kísérleti fejlesztés alapvető fontosságú. A fiatal nem szabad túl sokáig az időt rabló disszertációval kínozni!

Végül is, ebben az időszakban mintegy másfél-tucatnyian nyertek PhD-fokozatot Debrecenben az Egyetemhez és Atomkihez köthetően részecskefizikából Lovas Bátyó, Baksay, Gutay, Dávid Gábor, Trócsányi Zoltán, Pálinkás József, Horváth Dezső, *Bencze György* irányítása mellett.

Emberek, témák, fejlesztések, eredmények, hatások

A Baksay László alapította KisFiz-es csapat a LEP/L3, majd az LHC/CMS kísérleti együttműködésben fejtette ki áldásos tevékenységét. Az előbbiben fő feladatként a Silicon Microvertex Detector és a Drift Velocity Monitor fejlesztésével, üzemeltetésével, felújításával foglalkozott, továbbá detektor-felügyeleti műszakokat adott, azokon szakértői feladatokat látott el. A CMS-ben a müon-detektorok optika helyzetmeghatározó rendszerének tervezése, kivitelezése, beépítése és üzemeltetése, valamint egy szub-nanoszekundumos teszimpulzus-rendszer kialakítása volt a feladat. Az LHC elindulása után a korábbiakhoz hasonlóan a műszakok felügyelete is kötelességünké vált.

A határidők és a minőség szorításában éltünk állandóan: ilyen a nemzetközi együttműködés. Mindenkinek megvolt a saját feladata, amit magas szinten kellett teljesítenie. Nemcsak a szemináriumokon, hanem a csoportmunkában is *nagyon szigorú volt mindenki-vel, önmagával szemben is*. Nem lehetett kifogás, hogy oktatni is kell és sok más egyetemi feladatot ellátni. Immár klasszikussá vált mondása a huzamosabb alulteljesítőkre: „Néha mindenkit jól s...be kell rúgni!”

Az SMD-feladatok komplex technikát igényeltek: dióda- (infra) és nitrogén impulzus-lézer, nanoszekundumos fényjelek észlelése és időzítése, száloptika mikrooptikai elemek (mm-es prizmák, lencsék) illesztésével. Talán 1994 decemberében történt, hogy a hallgatói optikaboratóriumban karácsony másnapján reggel már újra folyt az éjjel-nappali építés, ellenőrzés és így éppen készen lettünk abban az évben. Rengeteg technikai nehézséget kellett leküzdenie a népes oktatógárdának és a diákoknak. Sok eszközbeli segítséget kaptunk Alabamából. A telepítés a CERN-ben a szokásos évi leállás alatt történt.

Az LHC/CMS müon-detektorainak optikai helyzetmeghatározó rendszere az elejétől a végéig a csoport terméke volt. A Baksay–Bencze vezetéssel induló előkísérletek, majd az utóbbi által vezérelt mérések, véglegesítés, gyártás, tesztelés, telepítés tette teljessé a láncolatot. Tervezését Gyuri irányításával *Laurent Brunel* francia optikus mérnök végezte. A fizikai megvalósítás, rendszerintegráció, programfejlesztés minden szintjén pedig a fiatalok jeleskedtek Gyuri szelíd, de határozott irányításával. Itt elsősorban *Szillási Zoltán* meghatározó tevékenységét kell kiemelni, aki az egyetem befejezése után kapcsolódott be a munkába, ma pedig e program vezetője. Mindez már egy új laboratóriumban volt csak kivitelezhető a tanszéken, ami „Konyha-optika” vagy „Szillási-labor” néven vult be a köztudatba. Az előbbi elnevezés a korábbi használatra utalt, amikor még a KisFiz-en saját ebédlő és kiszolgáló helyiségek is működtek. Miután évekig használat nélkül pókhalósodtak, kialakítottuk benne az új laboratóriumot a szükséges infrastruktúrával, *Molnár Józseffel* közös pályázatok pénzügyi segítsé-

gét is igénybe véve. (Érdekes! Ekkor még senkinek sem kellett, de azután a kész labort többen is kinézték maguknak!) Saját építésű optikaiasztal-szerűséget készített a műhely. Elektromosan, elektronikusan, valamint elektrooptikával, fiberkábelekkel és lokális hálózattal szereltük fel. Gyuri jóvoltából a CERN-ből kaptunk egy igen drága X-Y mozgató rendszert, amelyet PC-vel vezéreltünk 1 mikronos lépésekben. Változtatható fényeloszlású LED-mátrix, kamerák egészítették ki az eszközparkot, amit az egyszer a KisFiz-en rendezett Lézer-tea szuper-optikus társadalma is érdeklődéssel szemlélt. Az 1200 helyzetmutató „villából”, mintegy 10 000 LED-ből és 700 CMOS-szenzorból álló rendszer összes jellemzőjének kezeléséhez adatbázis-technika vált szükségessé. Így bármelyik elemről megállapítható volt a tulajdonsága és csere esetén a szükséges eljárás.

Szabó József barátommal az optika-atomfizika szeretetén alapuló fejlesztési stratégiát alakítottunk ki már korábban. Így a hallgatói laboratórium pályázatokból és tanszéki pénzekből támogatott modernizálása éppen a CERN-es témák megjelenése előtt, közben folyt: lézerek, LED-ek, száloptika, modern detektorok, PC-vezérelt spektrofotométer, fénymoduláció, holográfia. Nem voltunk profik ezen a területen (sem), de a részecskefizika számára meg lehetett teremteni a szükséges alapot, ami azután jótékonyan visszahatott az oktatásra, tágítva a szemléletet és az idősebb nemzedék kicsit már meszesedő (beszűkült) agyi artériáit.

Az optikai, elektronikai eszközökön, az ATOMKI berendezésein végzett sugárzástűrési tesztek, minősítések a fenti berendezések segítségével váltak lehetővé. A LED-eknél néhány érdekes jelenséget tapasztaltunk, amelyeket *Kökényesi Sándor* tudományos tanácsadónk értelmezett. Újabb kísérletek következtek, majd a tanszéki neutrongenerátoron *Szegedi Sándor* már a vékonyrétegek kisenergiájú protonokkal, deuteronokkal szembeni viselkedését tanulmányoztuk. És ezekből is jöttek eredmények, cikkek. (Egyetem = univerzitas ~ Univerzum, mindent egy helyen a részecskefizikától a csillagokig.)

Élet az Óperenciás tengeren is túl ...

A „túlsó parton”, az USA-ban Baksaynál és Gutaynál, valamint a „magyar maffia” más professzorainál többen dolgoztak rövidebb-hosszabb ideig munkatársaink és diákjaink közül. A legnagyobb feladatok sok szempontból Dávid Gábornál várták őket. Ott már üzemelt a Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC), a PHENIX elektromágneses kaloriméter Gábor felügyelete alatt termelte az adatokat. Hitelesítés, adatgyűjtés, kiértékelés, analízis, a kvark-gluon plazma megtalálása, tulajdonságainak sokoldalú vizsgálata nagy kihívás volt mindenki számára. Sietniük kellett, mert ha az LHC beindul ...! Itt végzett munkája alapján doktorált Tarján Péter, aki a korábban a CERN-ben szerzett tapasztalatainak jó hasznát vette. Gábor jelentős PHE-

NIX Visitor Fundot kapott kísérleteihez a debreceniek kinti munkájának támogatására. Péteren kívül *Vértesi Róbert*, valamint az ATOMKI-ból Molnár József tudományos főmunkatárs és sok alkalommal *Imrek József* („Mazsi”) utazhatott rövidebb-hosszabb időre a Brookhaven National Laboratoryba. *Veszprémi Viktor* Baksaytól került ide, majd a FermiLabban szerzett PhD-t. Közben a KFKI/RMKI két vezető nehézionos munkatársa, *Csörgő Tamás* és *Lévai Péter* bekapcsolódott a BNL programjába. A kezdeti ismerkedés után jó kapcsolat alakult ki velük is. Létrejött a BNL–DE–ELTE háromszög-együttműködés, NSF-pályázatából Tamás segített fiataljaink kinttartózkodásában. Mindezek után 2005-ben a Quark Matter nemzetközi konferenciát Pesten rendezték meg. Mi pedig Dávid Gábor eredményes politikájának köszönhetően házigazdái lehettünk Debrecenben a PHENIX Collaboration Meetingnek [7]. Az ünnepélyes megnyitón Pálinkás József tartott a debreceni munkákról összefoglaló előadást, majd következett a szakmai munka. A délelőtti ülés-szak az 1912-es alapítású Egyetem (ma már 80 éves) központi épületében zajlott le. Gábor előre dörzsölte kezét, milyen meglepetés lesz az *amerikai* kollégák számára a csodás Díszudvar. És főleg, az ott látható nevek alatti *évszámok* 1660-tól, például *Hatvani István* orvos, matematikus, fizikus: 1718–1786 (amúgy két név számára van még hely a galériában).

Mit csinálnak régi és új fiataljaink ma a CERN-ben?

Szillási Zoli és *Béni Noémi* a CMS-együttműködés nélkülözhetetlen, felelős munkakörben dolgozó állandó résztvevői, huzamosabb CERN-i tartózkodással. Az OPAL-témából Trócsányi Zolinál rövidesen doktoráló *Ujvári Balázs* feladata a helymeghatározó rendszer adatainak folyamatos kiértékelése. *Zilizi Gyula* a CMS-kísérlet műonddetektorának továbbfejlesztésén dolgozik a Purdue Egyetem (Gutay László) csoportjával. Mindnyájan rendszeresen végeznek detektor-felügyeletet a Trócsányinál doktorandusz *Karancsi János*sal együtt. Közben készülődünk a 2013 után kezdődő CMS-felújításra, fejlesztésre. Ennek egyik témája az újdonságnak számító száloptikai érzékelők vizsgálata, alkalmazása az adott körülmények között, amelyért *Makovecz Alajos* a felelős.

Átalakulások

A részecskefizika többeknek nem az utolsó állomás pályájukon. Van, aki szilárdtest-fizikusként dolgozik. Néhányukat az üzleti és bankvilág szívta fel jól alkalmazható, különleges informatikai tudásuk miatt. A már gimnazistaként nálam dolgozó nyíregyházi *Márka Szabolcs* 1993-ban diplomázott a KLTE-n, Baksaynál folytatta Alabamában, majd a Vanderbilten doktorált részecskefizikából (*Csorna István*). Ezután a gravitációs hullámok Michelson-interferométeres észlelésének cso-

dátos világába ugrott bele és a Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory (LIGO) egyik csoportvezetője, valamint a Columbia Egyetem kinevezett docense lett. Érdekes, és a *Rutherford*éhoz képest fordított átalakulást ismertünk meg Szabolcs felesége jóvoltából: a most már négy gyermekes *Zsuzsa* szép reményű vegyészből PhD-t szerző fizikussá vált.

Emberek és kapcsolatok

Baksay Laci kiváló emberismerete és kapcsolatai által csodálatos itthoni és külföldi személyekkel kerülhetünk baráti és munkakapcsolatba. Önzetlenül segítettek, bevittek a kutatói közösségekbe, jó témákat adtak fiataljainknak, vezették doktori munkájukat, ösztöndíjakat szereztek nekik, segítettek elhelyezkedésüket, nevelték őket és növelték magyarságukat, bátorították őket a hazatérésre. A Laci által gyakran emlegetett „amerikai magyar professzorok maffiája” nagyon jó összefogás volt. Ő maga mutatott jó példát a cselekvésre, ami kifejezésre is jutott az általa 2008-ban elnyert *Fellow of the American Physical Society* díj indoklásában: „...leadership of international collaborations especially in bringing the Hungarian physics community into the international enterprise, ...”

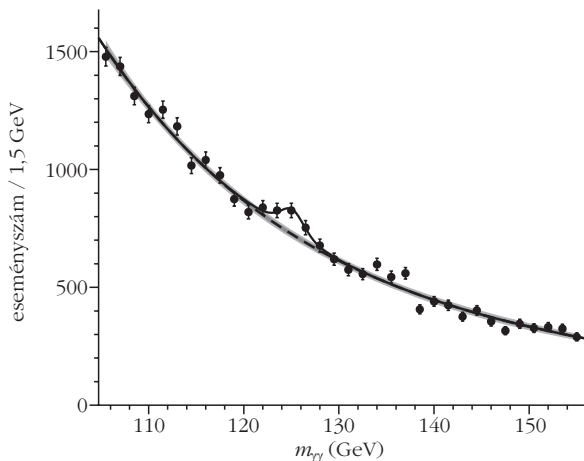
Csikai Gyula révén kerültünk Lacival kapcsolatba, ő pedig hozta Gutayt, Dávid Gábort, *Tóth Jóskát*, *Benche Gyurit* és másokat. Horváth Dezsőt a 90-es évek elején Pálinkás József vette rá, hogy Debrecenbe jöjjen. Ugyancsak őneki köszönhetjük, hogy Trócsányi Zoli a KisFizen kapott végleges állást. Dezső és Zoli révén pedig kiszélesedett a CERN-beli kapcsolatrendszer (ami ma már átfogja a Földet): erőnket egyesítve veszünk részt egy nagy együttműködésben.

Kitekintés

A Baksay által létrehozott és sokáig személyesen irányított, majd az én koordinálásommal működő KisFiz-es csapat rengeteg segítséget kapott Trócsányi akadémikustól, aki a kísérleti munkát mindig rendkívül fontosnak tartotta (az elmélet szemszögéből egyenesen a fejlődés alapjaként kezeli) és pénzügyileg kiemelten támogatta (CERN-es jelenlét 1-2 ifjú számára). A csoport vezetését ő vette át.

Nagy áttörést jelentett a kutatóegyetemi pályázat, azután pedig az MTA kutatócsoport létrehozása Zoli vezetésével. Így megszűnt a KisFiz–Atomki szomszédväreffektus is, és egy virágzó nemzetközi kutatóegység keletkezett a Bem-téri fizikakampuszon. A DGS doktori kurzus 2013-ban már ilyen keretben valósul meg.

Horváth Dezső jelenléte alapvető fontosságú nemcsak a kutatás szempontjából, hanem a graduális oktatás és PhD-képzés miatt is. Ez utóbbiban különösen fontos a szerepe a munkahelyi vitáknál; ha ő a referens, minden hibát észrevesz, kijavít, megoldásokat javasol – és máris minőségi változást láthatunk. Széles körű tudományos érdeklődése mindnyájunkat a fizika



1. ábra. A Higgs-bozonhoz hasonló új részecske kimutatása a CMS-kísérletben [8]. A bozon két nagyenergiájú fotonra bomlik, azok energiájából és kibocsátási pontjából meghatározható a bozon tömege. A fekete pontok a mért értékek a mérési bizonytalansággal. A folytonos vonal a Standard Modell alapján illesztett görbe 125,3 GeV-es Higgs-bozont feltételezve, amelyet a háttérben ülő kis csúcs mutat, a szaggatott vonal pedig a Higgs-bozon nélkül számított, szimulált eloszlás. A szimuláció bizonytalanságát a szürke vonalak vastagsága jelzi. Hasonló eredményt adott a Higgs-bozon többi lehetséges bomlási csatornája is mind az ATLAS, mind pedig a CMS-kísérletben, az ATLAS eredményét *Pásztor Gabriella* írta le a *Fizikai Szemle* októberi számában (2012/10, 358. o.).

legizgalmasabb területeibe kapcsol be: az antianyagkutatást nemcsak a CERN-ben, hanem Japánban is végzi, ahol az (általa kitalált elnevezésű) ASACUSA-programban volt doktoranduszának, *Jubász Bertalan*-nak meghatározó szerepe van.

Sok fizikatanár eljutott a CERN-be *Sükösd Csaba* és Horváth Dezső áldozatos munkája révén. Büszkeséggel hallom vissza a Szillási Zoliról, Béni Noémiről és Tarján Péterről szóló dicséreteket az idegenvezetésben, kísérletezésben, magyarázatokban, azaz a szolgálatban. (Egyszer egy paksi atomerőműves kiránduló társaság tagjai zengedeztek róluk.) A MAFIHE-csoportok ugyancsak sokat kaptak tőlük a látogatások alatt. Több fiatal ennek hatására döntött arról, hogy részecskefizikával kell foglalkoznia (és esetleg éppen Debrecenben). Természetesen nemcsak magyar csoportokat vezettek.

De jó lenne, ha fiatal munkatársaink az oktatásban, kutatásban az egyetemen fejthetnék ki (korábban már bizonyított színvonalú) hasznos tevékenységüket! Ha jön a CMS-upgrade, ketten közülük már „idegenként” jönnek majd a laborba. Fel lehet-e ismét turbóznai a diákok létszámát ebben a témában a KisFiz-en? Vagy itt már a kísérleti, fejlesztői munka teljesen kihalt(t)? Műhely sem marad addigra.

Amikor az emlékezetes, másfél éves csúszást okozó LHC-baleset bekövetkezett, nem kevés kárörvendő ismerősöm (szakmabeli is) kezdte temetni a szerintük amúgy is felesleges pénzkidobással járó nagyenergiás kutatásokat. Csak ott nincs baj, ahol nem dolgozik senki: „Ront vagy javít, de nem henyél!”. És az sem mindegy, hogy ezen kutatások békében a legnagyobb hajtóerői a társadalom számára is elengedhetetlen műszaki fejlődésnek (PC, web, szuper-informatika,

szupravezető mágnesek). Azért a Higgs-szel kapcsolatban ma is megkérjük: „Mire jó ez?” A NASA egyik vezetőjének hasonló kérdést tettek fel az űrkutatással kapcsolatban, annak kezdetekor. *Faraday* kérdésével válaszolt: „Mire jó egy ma született csecsemő?”

Lenyűgöző az a hatalmas tudás- és mérettartomány, amelyet ez a tudományág képes átfogni (mai ismereteink szerint).

Talán lehet valamilyen szimbolikus jelentést tulajdonítani annak, hogy a 20. évforduló éppen egybeesik a KisFiz-es csoport megalakulásának jubileumával és az LHC nagy sikerével. Ennél szebb és lelkesítőbb ajándék aligha képzelhető el! Az „új tulajdonságú részecske” észlelését közlő cikken (1. ábra, [8]) a 19 hazai szerző közül 11 debreceni fizikus, 8 pedig közvetlenül kötődik a KisFiz-hez.

Szép volt, fiúk! Szép volt lányok!

Hajrá magyarok!

Köszönetnyilvánítás

Ez a visszaemlékezés hiányos lett volna Zilizi Gyula részletes, a kezdeteket nagyon pontosan leíró levele nélkül. Hasonló történelmi magaslatozon járt korábbi diplomamunkánk Tarján Péter, akinek visszaemlékezéseiből az időszak jelentős részét meg lehet ismerni, fel lehet eleveníteni. A színes történetek jelentős része tőle származik. Társszerzőként kellett volna szerepelniük. Azért nem lettek azok, mert ebben a cikkben több szubjektív gondolat, vélemény, ítélet található (amellyel az alább felsorolt munkatársak nem mindegyike ért egyet), hiszen a kezdetek nehézségei a közvetlen szemtanú, tevőleges résztvevő szemszögéből kerülhettek csak tárgyalásra „a történelmi hűség kedvéért”. Ezekért viszont egyszemélyi, nem megosztható felelősséget csupán egyetlen szerző vállalhat.

20 évvel ezelőtt kezdett-folytatott-végzett munkáikkal, szakmai és erkölcsi támogatásukkal, gondolataikkal, tanácsaikkal, kiegészítéseikkel és a hibák gyomlálásával sokan segítettek alapvetően e visszaemlékezés elkészítését: Baksay László, Gutay László, Bence György, Dávid Gábor, Horváth Dezső, Trócsányi Zoltán, Nagy Sándor, *Sztaricskai Tibor*, Szabó Zoltán, *Jubász Sándor*, Szabó József, Szegeci Sándor, Béni Noémi, Szillási Zoltán; technikusaink közül *Halmi Antal*, *László István*, *Bíró Zoltán*; és megannyi további diáknak, diplomamunkánk, doktoranduszunk: *Bondár Tamás*, *Marián-Baksay Gyöngyi*, *Kapusi Anita*, *Imrek József*, *Molnár Levente*, *Pszota Gábor*, *Pál Imre*, *Veszprémi Viktor*, *Vértesi Róbert*, *Bóna Gábor* (elment a Paksi Atomerőműbe), *Makónyi Károly*. Többen voltak, akikkel külföldön kerülünk kapcsolatba, s élveztük rövidebb-hosszabb ideig a segítségüket, például *Fényi Barna*, *Báder Attila*, *Banicz Károly*. Különösen hálásak vagyunk *Hans Reitler* német fizikusnak (RWTH Aachen), akit szakmai és atyai jóbarátunknak, segítőknek vallhatunk.

A csoport tagjai kinttartózkodásának, a nyári diákok ügyes-bajos dolgai intézésének avatott, önzetlen és lelkes segítője volt *Jurcsó Péter*, akinek mindezért köszönetet mondunk.

Idézetek, hivatkozások

- http://dragon.unideb.hu/~physphd/
- Raics P., Dávid G. (szervező bizottság társelnökei), Tarján P. (titkár): „PHENIX Collaboration Meeting” (1–3 Aug. 2005 Debrecen); Lévai P. (chair), Csörgő T. (co-chair), ..., Raics P., ..., (Local Organizing Committee): „Quark Matter 2005 Conference” (4–9 Aug 2005, Budapest).
- CMS Collaboration (... KFKI Research Institute for Particle and Nuclear Physics, Budapest, Hungary; G. Bence, C. Hajdu, P. Hidas, D. Horvath, F. Sikler, V. Veszpremi, G. Vesztergombi, P. Zalan; Institute of Nuclear Research ATOMKI, Debrecen, Hungary; N. Beni, S. Czellar, A. Fenyes, J. Molnar, J. Palinkas, Z. Szilasi; University of Debrecen, Hungary; J. Karancsi, P. Raics, Z. L. Trocsanyi, B. Ujvari, G. Zilizi; ...; Purdue University, West Lafayette, USA; L. Gutay; ...): Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC. *Phys. Lett. B* 716 (2012) 30–61.

MOZAIKOK A CERN ÉS AZ INFORMATIKA TÖRTÉNETÉBŐL – II. RÉSZ

Turchányi Géza
INFO-IPv6 Kft., Budapest

Az első részben vetettünk egy pillantást a CERN robotokkal kezelt mágnesszalag-kapszulákon tárolt mérésiadat-archívumára, majd az 1982-es CERN School of Computing történetével folytattuk. Ezután CÉDRUS és az első magyarországi országos bálózat, a KSH bálózatának CERN-i gyökereit, hazai fejlesztéseit is vázoltuk.

Hogyan érkezett meg Magyarországra a WWW?

Azt, hogy a World Wide Webet a CERN-ben fejlesztette ki *Tim Berners-Lee*, sokan tudják, főleg a fizikusok. Azt már kevesebben, hogy a webet is bemutató első magyarországi előadást, ami 1992 augusztusában a debreceni NJSZT¹ konferencián hangzott el, ketten jegyeztük. Én voltam az evangélista, ő a próféta. 1989–91-ben a CERN-ben dolgoztam, ott ismertem meg az Internet alapját jelentő TCP/IP² protokollokat. Olyan szoftverrendszer fejlesztését, karbantartását vettem át, ami lehetővé tette, hogy az egyik gépen futó programból meghívjunk egy másik gépben futó programot, ugyanúgy, mintha egy szubrutint hívnánk meg, azaz paramétereket adva át neki és paramétereket kapva vissza. Az egésznek gyönyörű neve volt: Remote Procedure Call / Network Compiler System, röviden RPC, nem tévesztendő össze a Kínai Népköztársaság angol rövidítésével. A CERN számára olyan RPC-re volt szükség, ami egységesen alkalmazható a különböző platformokon, mert például a CERN-ben széleskörűen használt Apollo és SUN munkaállomások mindegyikén volt „gyári” RPC-rendszer, de természetesen lényegesen eltérő. Korábban Tim is egy hasonló RPC-projekten dolgozott, így ismerkedtünk össze.

Tim abban az időben kapta azt a feladatot, hogy az internetet használhatóvá tegye: hozzon létre egyetlen olyan felületet, amin az összes internet-alkalmazás elérhető, kényelmesen navigálva közöttük. Tim egy-két nagyságrenddel okosabb volt, mint én, volt két jó segítőtje is – a CERN-ben elég sok kitűnő koponya volt – és az első web kliens-szerver páros 1990-ben elkezdett működni. Ám a web gyakorlati működését én is csak a JENC'92 (Joint European Networking) innsbrucki konferenciáján ismertem meg 1992 májusában, és szélesebb körben, ahogy a CERN School weboldalainak a példája is mutatja, 1994/95-re terjedt el.

1991 nyarán, a berlini fal leomlása után érkeztem vissza Magyarországra, tele reménnyel, hogy kiszállván egyszer s mindenkorra a fegyverkezési versenyből pár év alatt integrálódunk, felzárkózunk Nyugat-Európához, a mindkét oldalon felszabaduló energiá-

kat erre fogják, fogjuk fordítani. Hazahoztam magammal az RPC forráskódját is, abban bízva, hogy itthon is használjuk majd, én meg tovább fejleszteszem. De ehhez majdnem minden hiányzott: többek között az internet, a TCP/IP támogatása a KFKI akkor már működő helyi hálózatának gépein.

Megkaptam a feladatot: dolgozzam az internet bevezetésén. Örömmel kapcsolódtam ahhoz a pár szakértőhöz, akik már szintén ezen dolgoztak.

Valamiféle elektronikus levelezés (az ELLA) már országosan is működött itthon, aminek rendszerét és nemzetközi kijáratát a SZTAKI-hoz kötődő IIF program teremtette meg, és ők támogatták azt is, hogy kijárhassak évente háromszor az európai internet-találkozókra, a RIPE meetingekre, Amszterdamba. De: nem voltak internet-címeink, nem volt nemzetközi vonal, amin az internet elfért volna, és alig volt szoftver, ami internet-képes lett volna, alig volt dokumentáció, a tudásunkban pedig iszonyú lukak voltak.

A CERN és a többi nagyenergiás fizikai kutatóintézet úttörője volt az internet európai elterjedésének is. Eltanulták azt, amit az amerikai kollégáik használtak: ez volt előbb, a BITNET, ami elsősorban a sok ezer felhasználót kiszolgáló, nagy IBM gépek közti elektronikus levelezést és fájlvitelt támogatta. Az internet képes volt kellemesen vegyíteni a legkülönbözőbb méretű és rendszerű számítógépeket, de elsősorban UNIX-os gépek támogatták. Közben a hivatalos Európa egész más irányba, az X.25 és az OSI világ fele haladt, és velük szinkronban mozgott a magyar IIF program. A 80-as évek végén, a 90-es évek elején ki is tört Európában egy kisebb „protokollháború”: milyen irányban kell menni. Ma, a web és az internet győzelme után könnyű azt mondani, hogy persze, az internet irányába kellett volna már korábban is. Azonban a francia Minitel telefonos információszolgáltatás sokkal korábban, tömegesen jelent meg a háztartásokban, mint az internet.

1987-ben még a CERN-ben is gyanakodva néztek az internettel foglalkozni akarókra, mert nem ez volt az európai irány, de 1989-től kezdve a fizikusok többsége egyértelműen az internet-táborhoz csatlakozott. Tizenhárom európai kutató (a CERN-ből ketten voltak ott) alakította meg a RIPE-ot, az európai internet-koordináció fórumát, amelynek elnöke az amszterdami *Rob Blokzijl*, a NIKHEF (Holland Nemzeti Atomfizikai és Nagyenergiás Fizikai Kutatóintézet) egyik fizikusa lett, és rövidesen elnyerték az európai BITNET szervezet, az EARN (páneurópai számítógép-hálózati szervezet) támogatását is. A RIPE angolul annyit tesz: érett, de valószínűleg egy francia–angol mozaik szó, a Réseaux IP Européen, azaz az „Európai IP Hálózatok” kifejezés rövidítése. Itt a hálózat számítógép-hálózatot is jelent, de nyugodtan értelmezhetjük a RIPE nevét úgy, hogy tagjainak hálózatszerű együttműködésére is utal.

¹ Neumann János Számítógép-tudományi Társaság

² Transmission Control Protocol / Internet Protocol

A CERN és vonzaskörzete nemcsak lobbizott az internetért, hanem volt nemzetközi kijárata is, amellyel az amerikai NSFNET gerinchálózathoz csatlakozhatott. Ha jól emlékszem, az Atlanti-óceánon átívelő három európai kapcsolat közül ez volt az egyik. A skandináv országok Nordunetjének és az angoloknak volt még ettől független kapcsolatuk. Az akadémiai világban is résztvevő, de a privát vállalkozások szférájába átlógó EUNET számítógép-hálózat képviselői ugyancsak ott voltak az alapítók között, akik már korábban szövetkeztek a Nordunettel is.

A CERN vonala az óceán alatt 1,5 Mbps sebességgel volt – igen, jól tetszik látni, ennyi, s ez nagyon nagy számított akkor, az 1990-es évek elején! Európán belül a 2 Mbps-os gerinchálózat még csak álom volt akkor. A technológiai szempontból vezető helyzetű amerikai gerinchálózatot 1993-ra bővítették fel T3-as, azaz 45 Mbps-os szintre, ám hosszú ideig csak 10 Mbps-on ketyegett, egy apró technikai malőr miatt, amit úgy hívtak: ATM.

Ebben a környezetben kellett elindulnunk Magyarországon is. A CERN sokat segített itt is. Először abban, hogy IP-címhez juthassunk, amit akkor még közvetlenül az amerikaiaktól kellett kérnünk. Kértünk is, de semmi válasz.

1991 őszén a CERN-ben volt a RIPE találkozója. Horváth Nándornak, aki 1990 óta járt ki a SZTAKI-ból már a sokadik, nekem az első, azonban a CERN-ben én voltam otthon. Ott találkoztunk először Steve Goldsteinnel, az amerikai NSF programigazgatójával, aki személyesen utazott Európába a RIPE találkozójára, na meg azért, hogy eldönthesse, lebontja-e az internet elérésében minket akadályozó vasfüggönyt, vagy sem.

A CERN-nek komplett összeköttetést építő programja volt már felénk. Csuka Gábor, egykori KFKI-s kollégám már CERN-i ösztöndíjasaként dolgozott a „keleti” kapcsolatok – nem csak a magyar kapcsolatok – kiépítéséért. Ami egyelőre 9,6 kbps vonalakat jelentett a gyakorlatban! Igen, durván 1000, azaz egyezer karakternyi információ mehetett át ezen a vonalon másodpercenként! Giese Piroška, aki a vonal hazai végét kezelte, kimérte, hogy ezen a vonalon tíz fizikus még el tud dolgozni egymás mellett! De több nem!

Ott tartottunk, hogy vonal, kicsi vonal, méregdrága vonal volt épülőben, Steve Goldstein NSF programigazgató pedig ugyan barátságos, de még nem döntött. 1991 őszén vagyunk a CERN-ben, ahol a volt kollégáim lobbiznak az Elbától keletre menő összeköttetésekért a mi érdekünkben. Steve Goldstein nem bizalmatlan, de óvatos: az állásába kerülhet, ha valami botrány lenne annak következtében, hogy az internetet immár „mi” is elérjük. A Szovjetunióban épp most buktatták meg Gorbacsovot, a reformert, az ország szétesett, ki tudja, mit hoznak a következő évek. Steve ezt nem mondja ki, de értjük egymást szavak nélkül is.

Két hét múlva Steve Goldstein Magyarországon van, végiglátogatja a KFKI-t és a SZTAKI-t. Szombaton elkalauzolom Varga Imre Wallenberg-émlékművéhez a Szilágyi Erzsébet fasorba és az aquincumi 2000 éves római romokhoz. Nézzük a vízvezetékek és a birodalmat egybekötő egykori hadiutak romjait. Európában voltunk, vagyunk, oda akarunk tartozni.

Steve Goldstein hazautazik és két hét múlva megkapja a KFKI és a SZTAKI is az IP címeket. A SZTAKI, amelynek a levelezéshez van már egy Linzben végződő, szintén 9,6 kbps vonala, megpróbálja ezt a vonalat megosztani a levelezés és az IP-forgalom között. Sikerral! Ami inkább elvi, mint gyakorlati: 9,6 kbps megosztva ennél csak kevesebb lehet, azaz a vonal pillanatok alatt bedugul. A megosztás is hol működik, hol nem. 1992 elejére a KFKI-s vonal is feléled, itt a bedugulás ellen drasztikus rendszabály véd: két tucat kutató fér csak hozzá! Én is csak kívülről szemlélhettem a sikert, lógó orral.

1992 májusában azonban a JENC konferencián ott vagyok, sőt, én vagyok a magyar előadó, tulajdonképpen annak köszönhetően, hogy nagyobb tekintélyű, diplomatikussabb, meghatározó hazai számítógép-hálózatos személyiségek nem akarnak az európai protokollháborúban nyíltan állást foglalni. Én meg 300 hallgató előtt, izzadva, de szemrebbenés nélkül leteszem voksomat az internet mellett, közben kiállva a magyar X.25-ös gárda eredményeiért is – volt miért.

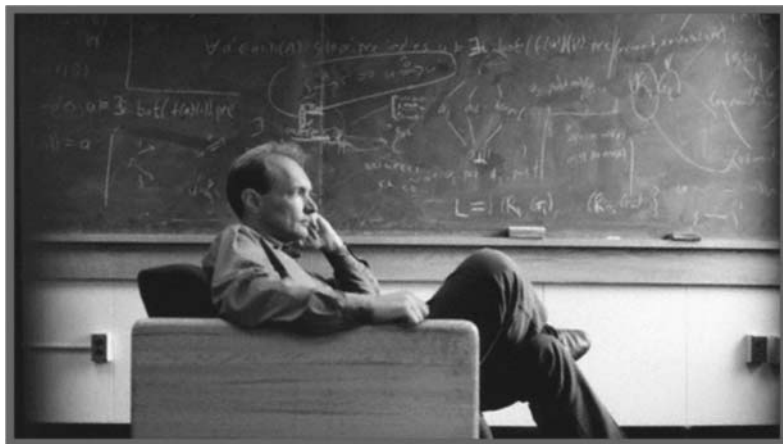
Előző nap a RARE, az Európai Kutatói Számítógép-hálózatok Szövetségének User Services, Information Services (USIS) munkacsoportjában Tim Berners-Lee bemutatja a webet, mások a Gophert (egy egyszerűbb, azóta feledésbe merült amerikai tartalomszolgáltató rendszert). A kettő együtt fél százalék alatt marad az internet akkori forgalmában. Délutánra pár floppyra másolva a zsebemben van az összes változat forráskódja.

A plenárison Tim újra kiáll, kattint a www.cern.ch-ra – és nem történik semmi. Újra indítja a gépét és megint nem

Előző nap a RARE, az Európai Kutatói Számítógép-hálózatok Szövetségének User Services, Information Services (USIS) munkacsoportjában Tim Berners-Lee bemutatja a webet, mások a Gophert (egy egyszerűbb, azóta feledésbe merült amerikai tartalomszolgáltató rendszert). A kettő együtt fél százalék alatt marad az internet akkori forgalmában. Délutánra pár floppyra másolva a zsebemben van az összes változat forráskódja.

A plenárison Tim újra kiáll, kattint a www.cern.ch-ra – és nem történik semmi. Újra indítja a gépét és megint nem

Tim Berners-Lee, a world-wide-web kifejlesztője egy 2007-es banki reklámon.



August 6, 1991. The Berners-Lee creates the World Wide Web and creates the main medium of the 21st century.

Imagine a life you so happily lived just 16 years ago.
Now imagine 24 hours without the world wide web.
Every life – altering invention is assurance that
It's a beautiful tomorrow.

HSBC
The world's local bank.

történik semmi. Ezt hívják demó-effektusnak. Másnapra kiderül, hogy vihar miatt áramkimaradás volt a CERN környékén és leállt egy router.

Azt már tudjuk, hogy a CERN-ből floppykon érkezett meg Magyarországra a WWW, innsbrucki átszállóval, de azt még nem, hogy mitől, mikor és kinek lett elérhető.

Itt pedig a KFKI Internet-klubjáról kell szót ejtünk, ami 1991 őszén alakult *Horváth János* és az én koordinálásommal. Benne volt mindenki, aki internetezni szeretett volna, de nem tudott, tenni viszont akart ez ellen. Próbáltuk másolni a RIPE együttműködő munkacsoportjainak a modelljét. Önkéntesek között szétosztottuk a különböző rendszereket: WWW-t, Gophert, WAIS-t (ez egy kereső rendszer volt), Archie-t (másik kereső, amit az FTP archívumokhoz fejlesztettek ki). Ki mihez fért hozzá – leginkább valamilyen UNIX-os géphez – azon próbálta meg szabadidejében a programokat feléleszteni. Ebben az időben az infláció Magyarországon felszökött 30% fölé, amit a fizetések persze nem követtek – aki kevés szabadidejét az Internet-klubra és nem külön munkák keresésére fordította, annak elhivatottnak kellett lennie.

A WWW forráskódjában a CERN-i legfontosabb platformok támogatása már benne volt, ideértve a SUN és az Apollo munkaállomások UNIX-változatait, de a KFKI-ban akkor még egyetlen SUN vagy Apollo sem volt, így FCO, azaz *Nagy István* kollégánk, a guru, aki mindenhez értett, csak diplomája nem volt, egy ATT UNIX-os rendszerrel kezdett el küzdeni, ami FCO hatodik érzéke ellenére is lassan ment.

A hazai tudományos közvéleményt szeretnénk volna az internet mellé állítani. Én, mint az önkéntes program koordinátora küldtem be az augusztusra tervezett debreceni NJSZT kongresszusra az előadásom vázlatát: *Public domain információs rendszerek – információs rendszerek a public domain programokról* címmel, megnyerve hozzá Tim Berners-Lee-t társszerzőnek. Elektronikusan levelezni akkor már lehetett, leginkább az IIF programnak köszönhetően. Az IIF ELLA levelező rendszerét a KFKI lokális hálózata fölé szintén KFKI-sek, *Kőváriné Lábod Mariann* és *Puri Laci* terjesztették ki.

A World Wide Web működését úgy lehetett volna legegyszerűbben bemutatni, hogy a saját laptopomról a debreceni előadás közben feljelentkezem az internetre, mint ahogy azt Tim Berners-Lee is tette Innsbruckban, és elindulva a www.cern.ch-ről elkalandozok a világhálón. Csak hát nekem nem volt laptopom, és akkor még Debrecenben nem volt internet.

Főnököm, *Zimányi Magdolna* internet-hozzáférést vettem kölcsön pár éjszakai órára, hogy másokat a legkevésbé zavarva érhessem el a CERN-i webszervereket a 9,6 kbps-os vonalon keresztül. Kalandozásomat diafelvételeken örökítettem meg, állványról, 4 másodperces idővel sikerült pár használható sorozatot készítenem.

Debrecenben, ahol ugyanolyan jól ismerik a CERN-t a fizikusok, mint a budapestiek, s ezen felül a teljes NJSZT vezérkar is felvonult, elkezdtem az előadásom,

és amikor a WWW-hez értem, áttértem a diavetítésre. Azaz áttértem volna, mert a diáimból nem látszott semmi! Nem tudták eléggé besötétíteni a termet! Arra, hogy nincs internet, fel voltam készülve, de arra, hogy sötétítő függöny sincs, nem!

Úgy éreztem, ott halok meg! Az előadásunk Tim Berners-Lee innsbrucki plenáris bemutatójának a sorára jutott: tönkrevágta egy demó-effektus. Akkor még nem volt rutinom, nem volt vészforgatókönyvem. Égtem. Legszívesebben föbe lőttem volna magamat – csak az mentette meg az életemet, hogy revolverem sem volt.

Az üzenet, ha halványan is, de részben átment. *Dömölki Bálint*, aki a Neumann Társaság elnöke volt 1985 és 1990 között odajött hozzám az előadás után és elkezdett kérdegetni. 1993-ban a Műegyetemen *Dömölki Bálint* és *Hanák Péter* létre is hozott egy BME Internet-klubot...

A KFKI Internet-klub tagjaival 1992 őszére, a pisai EARN konferenciára az információs rendszerek demó-változatait összeraktuk. Büszkélkedtünk is egy kicsit vele Pisában. A továbblépéshez szeretnénk volna támogatást kapni, ám ez késett. Majd *Márai Tamás* a Műegyetemen 1993/94 fordulóján, kihasználva, hogy karácsonykor maradt egy kis szabad kapacitás a nemzetközi vonalakon, kabátban üldögélve az alig fűtött gépteremben újra felfedezte a webet. Nemcsak felfedezte, hanem elkezdte országos szinten koordinálni. Ami akkor még leginkább Budapestet jelentette, ahol az ELTE, a Közgáz és a BME 1993-ra létrehozta az egyetemközi FDDI gyűrűt, azaz az egyetemek közt 100 Mbps „információs szupersztráda” valósult meg a MATÁV alépitménybe frissen behúzott üvegszálon. Ezen már lehetett információkat megosztani, és rövidesen a KFKI is kapcsolódhatott az egyetemközi hálózati gyűrűhöz, 2 Mbps-os mikrohullámú összeköttetésen keresztül, amiért lobbiznunk kellett az IIF programnál, de támogatták.

CERN School of Computing, 1994

1991 és 1993 között sok százból összeállva elindult Magyarországon is az internet, és ahogy azt fentebb láttuk, e szálak egy része kifejezetten a CERN-hez kapcsolódott. 1993-ban, a már elégséges internetkapcsolattal „felfegyverkezve” újból belefoghattunk a CERN School of Computing szervezésébe, aminek elvárt feltétele volt, hogy a résztvevők használhassák az internetet. Legalább levelezésre.

Szegő Károly, aki akkor az Rézecske és Magfizikai Kutató Intézet igazgatója volt, azzal az ötlettel állt elő, hogy vigyük le az iskolát a nyugati határ közelébe, és Bécsbe kirándulva mutassuk meg a magyar műemlékeket, hiszen az ottaniak legalább megmaradtak. Jobban, a háború által kevésbé elpusztítva, mint itthon. Megnéztük Mosonmagyaróvárt, majd Sopronban, a hűség városában kötöttünk ki.

Az 1994-es iskola egyik érdekessége az volt számomra, hogy láthattam, az 1982-ben felvetett kérdé-

sek hogyan fejlődtek tovább. Ideértve a számítási programok párhuzamosíthatóságát, sőt a transputer chipek fejlődését is. E témákban érdekes magyar előadások is voltak. A Franciaországban dolgozó egykori KFKI-s kollégám, egyik CERN-i elődöm, a mérnök *Gaál Tamás* arról beszélt, hogy a fordító programok, illetve a közbenső kód szintjén hogyan lehet a programok párhuzamos végrehajthatóságát felfedezni, illetve kivitelezni. A fizikus *Vesztergombi György*, aki éveken keresztül a transputeres rendszerek fejlesztésében működött közre, hol itthon, a KFKI-ban, hol a CERN-ben, most az Asszociatív String Processzorokat (ASP) mutatta be. Előadását *Rorbach*, az ASP gép CERN-beli fejlesztője egy fakultatív tutoriállal egészítette ki. Négyezer, pontosabban 4096 együttműködő processzorból álló rendszerekről volt szó, amelyekkel fel lehetett dolgozni részecskeütközéseket, de akár egy futballmeccsen is alkalmazható lett volna annak figyelésére, hogy a pályán van-e még a labda. A T9000-es transputerek pedig a német *Gerhard Peise* előadásából köszöntek vissza.

Az utóbbi előadások már a Large Hadron Collider (LHC) gyorsító, akkor 2004-re tervezett indulásához készítették fel a lelkeket. S ugyancsak ezen az iskolán találkoztam először a Compact Muon Solenoid (CMS) detektor terveivel. Ez az a detektor, ahol a magyar fizikuscsapat zöme is a Higgs-részecskére vadászik majd 2011 után...

François Flückiger, aki később a CERN School of Computing program állandó igazgatója lett, és a 90-es évek elején a WEB munkacsoport védőernyőjéért vált felelőssé a CERN-ben, itt *Networked multimedia* címmel tartott előadást. Csak emlékeztetőül: Tim Berners-Lee eredeti webrendszere sormódú terminálokra készült! Minek is akarnánk mást, hisz a képernyők 70-80 százalékban csak sormódú használatra képesek! – mérte fel Tim még 1992-ben. (Nem is beszélve arról, hogy a sormódú használathoz se nagyon volt még a hálózatban sávszélesség akkor, amikor egy 2 Mbps kapacitású összeköttetés ritkaságnak számított!) Az előadás tehát a web továbbfejlesztését, kiterjeszhetőségét is bemutatta.

Utószó, amiből legszívesebben előszót írnék

Személyes élményeimen keresztül, néhány kiragadott példával mutattam be a CERN másik arcát, az informatikai hatásait. Ez a nézőpont – remélem – olvasmányos, de sajnos, szükségszerűen egyoldalú. Elnézést azoktól, akiknek a nevét sem említettem meg, sokan vannak, fiatalok is, veteránok is, köztük *Futó Endre*, akinek először sikerült második évnvi szerződés hosszabbítást kiharcolnia a CERN-ben, s akitől az első kinti tanácsokat kaptam albérletszerzés, autójavítás ügyében. Ha lenne még terem, akkor a CERN informatikában egykor dolgozó nyugatos magyarokat is bemutatnám, például *Koppányi Attilát*, *Igo Kemenes Juditot* és *Pétert*.

Kevesen tudják, hogy a Gigabitethernet megszületése körül ott bábáskodott a CERN, s ebben kiemelt

szerep jutott a *Rubin György* vezette magyar csapat tagjainak, akik a világon elsőként fejlesztették ki a fiberchannel-analizátort.

Vagy: *Brian Carpenter*, aki később internet-engineerként vált híressé, szintén a CERN-ben dolgozott a 80-as, 90-es években.

Témánkról egész könyvet tudnék írni, csak a szponzor hiányzik hozzá.

Én 1995-ben új kihívásokat keresve kiléptem a KFKI-ból, de a szívem egy része ott maradt. 1997-től a MATÁV internet-tervezője lettem, közben az Internet Society 1998-as genfi konferenciájának programbizottsági tagja. A programbizottság elnöke François Flückiger volt.

A fizikus, info-mérnök *David Owen Williams*, aki kinézetében és hangjának bársonyosságában feltűnően emlékeztetett *Latinovits Zoltánra*, a CERN Számítógép-hálózati Központjának vezetője indította el a GEANT programokat az új évezred elején, immár a TERENA elnökeként. A GEANT teremtette meg az európai nemzeti kutatói hálózatok közt a gigabites és többszörös gigabites összeköttetésű gerinchálózatot, azt, hogy világszínvonalú számítógép-hálózatok infrastruktúra jött létre Európában is.

A Magyarországra is elérő GEANT használt hazánkban először saját hullámhossz alapú átvitelt (DWDM), amit MATÁV-os kollégáim építettek ki. A hosszú távú tervek keretében már pár évvel korábban elkezdtek a MATÁV PKI-ban a felkészülést, de hogy nem érte váratlanul őket az igény, az már az én fülemben is múlt, amely mindig nyitva volt arra, mit is mond David O. Williams.

A hullámhossz alapú átvitelnek sokadik generációja működik azóta, például a magyar kutatói számítógép-hálózat gazdája, az NIIFI is épített magának egyet 2011-ben az MVM-mel együttműködve, amelyik vetekszik a Telekom hálózatával. Kellően bátrak, szakmailag is felkészültek voltak – és minden „óvatos kijózanítási kísérletem” ellenére – belevágtak és végül nyertek! Ehhez hasonlóan DWDM rendszer lesz a kapocs a CERN és a CERN@WIGNER adatpark között. Ami már versenyképes átviteli kapacitást jelenthet a mágnesszalag-kapszulákkal teli kisebb kamionnal szemben (nagyobb azért nem), de ami a fő: biztonságosabb!

A KFKI Számítógép-hálózati központjában maradt egykori kollégáimmal, *Kadlecik Józseffel* és *Borbás Évával* több új generációs internet (IPv6)-os kutatási programban dolgoztam együtt később. Kadlecik Józsi hozta létre az első olyan tűzfalat, amelyet egységesen lehetett a hagyományos és az új generációs internet tekintetében kezelni, Borbás Éva pedig egységes internet címadminisztrációs adatbázis-kezelő rendszert teremtett meg.

A CERN és a KFKI nemcsak az én szívemet melegítette át újra meg újra, hanem kisugároztak az európai és a magyarországi internet fejlődésére is. Ebben nagyon sokan vettek részt. Örülök, hogy közöttük lehettem. És remélem még köztük is maradok valahogy, egy ideig.

ATOMI BELSŐHÉJ-FOLYAMATOK VIZSGÁLATA KOINCIDENCIA ELEKTRONSPEKTROMETRIÁVAL – I. RÉSZ

Paripás Béla, Palásthy Béla
Miskolci Egyetem, Fizikai Tanszék

Az elektronütközéssel kiváltott atomi belsőhéj-ionizáció vagy -gerjesztés és az azt követő Auger-folyamat kutatása az atomfizika tradicionális területe. Újabban azonban a gyorsított ionok, majd a hangolható szinkrotronokkal „termelt” fotonok is igen népszerű lövedékeké váltak, valamelyest háttérbe szorítva az elektronokat. Pedig az atomfizikai folyamatok többségét továbbra is az elektronok váltják ki, a gyakorlati alkalmazásokban is ezek dominálnak. Ma már számos céltárgy esetében jobban ismerjük a fotongerjesztéses folyamatot, mint a megfelelő elektrongerjesztéses. Kutatásaink egyik célja mindenképpen az, hogy ezeket a hiányzó adatokat pótoljuk. Ráadásul az ion- és fotonlövedékek alkalmazása igen költséges, és sokkal komolyabb műszaki háttérrel igényel. Így az elektronlövedékek a kisebb kutatólaboratóriumok számára gyakran az egyetlen lehetőséget jelentik.

Az elektronlövedék fontos jellemzője az is, hogy segítségével minden folyamat vizsgálható; a fotonnal nem kiváltható dipól-tiltott átmenetek is. Ez részben előny, ám egyúttal hátrány is; a sok nyitott reakciócsatorna miatti túl sok végállapot ugyanis nehezíti, esetenként lehetetlenné is teszi a mérések kiértékelését. Ezen a problémán segíthetnek a koincidencki kísérletek, ilyenkor az egy atomban lezajló folyamatból származó legalább két részecskét egyidejűleg detektáljuk. A két részecske adatainak ismeretében a reakciócsatornák már biztosabban szétválogathatók, és a mérési adatok kiértékelése egyszerűbbé, pontosabbá válik.

Az elektronütközéssel kiváltott atomi folyamatokat már több mint egy évtizede tanulmányozzuk a Miskolci Egyetem Fizikai Tanszéke elektronspektrometriai laboratóriumában. A laboratórium fő berendezését – egy kétütemű hengertűkörös típusú elektrosztatikus elektronspektrométert – a fenti okok miatt az elmúlt években egy, az előzővel koincidenzában működő elektronspektrométerrel egészítettük ki. Ebben a cikkben bemutatjuk ezt a koincidenca elektronspektrométerrendszert és az ezzel nyert eredmények közül kettőt.

A vizsgált fizikai folyamatok

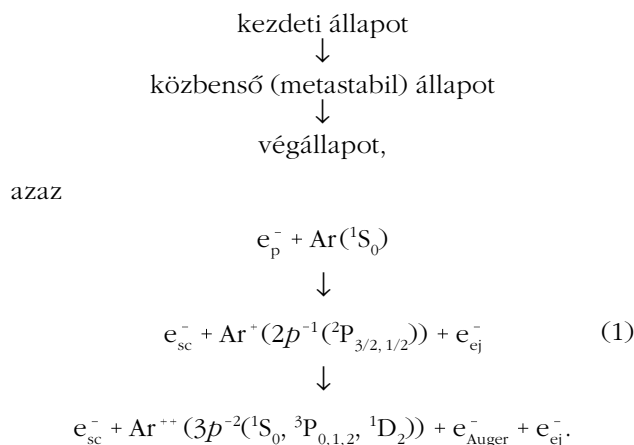
Az atomi belső héjon lévő elektron gerjesztése vagy ionizációja a szabad atomok elektronokkal történő ütközése során következik be. A keletkezett atomi állapotok metastabilak, amelyek elektronemisszióval vagy elektromágneses sugárzás emissziójával bomolhatnak

A kutatás a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

le. Az elektronemisszió általában sokkal valószínűbb, kivéve, ha a gerjesztési energia igen nagy (> 5 keV), vagy ha ez az átmenet valamilyen ok folytán tiltott. Kísérleteink során mindig elektron emissziójával járó bomlás (azaz a sugárzásmentes átmenet) fordul elő, ilyenkor a metastabil gerjesztett atomi állapotból egyszeres pozitív ion, vagy az egyszeres pozitív ionból kétszeres pozitív ion képződik.

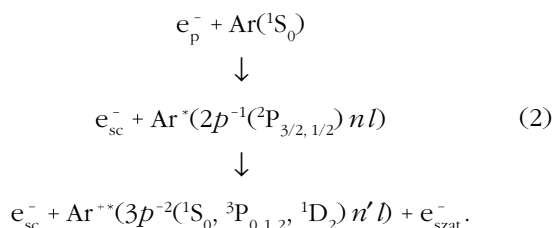
Auger-folyamatról csak akkor beszélünk, ha a végállapot kétszeres pozitív ion, és a végső állapot két elektronhiányhoz képest a közbenső elektronhiány belső(bb) elektronhéjon van. Itt a fő elektronhéjakra kell gondolni, és természetesen a közbenső elektronhiány mélyebb energiaszinten van, mint a végállapotiak.

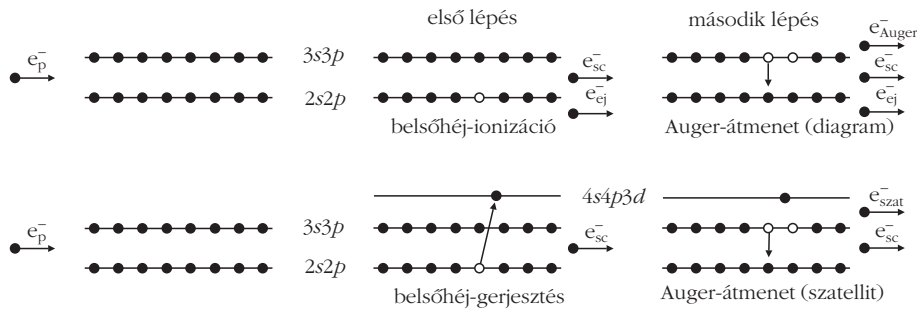
A jelen cikkben közölt vizsgálatainkat argon gáztartogen végeztük, amelyen a tipikus Auger-folyamat a következő:



A folyamat során tehát a lövedék elektron (e_p^-) az eredetileg alapállapotú (1S_0) argon atomon szóródva (e_{sc}^-) annak $2p$ belső héjáról kilök egy elektront (e_{ej}^-). A keletkezett két különböző perdületű ($^2P_{3/2, 1/2}$) ionállapot egy Auger-elektron (e_{Auger}^-) kibocsátásával öt különböző kétszeres ion végállapotba ($^1S_0, ^3P_{0,1,2}, ^1D_2$) bomolhat. Ezt az átmenetet normális vagy diagram $L_{2,3}M_{2,3}M_{2,3}$ Auger-átmenetnek is nevezzük.

Hasonló bomlás történik akkor is, ha az első lépés nem ionizáció, hanem csak gerjesztés (ekkor a belső héjról kiütött elektron egy külső nl héjon marad):





1. ábra. A vizsgált atomi belső héj folyamatok sémája.

Az argon elektronütöközéssel kiváltott belsőhéj-gerjesztése során tehát a lövedék elektron hatására az argonatom $2p$ belső héjáról egy elektron egy betöltetlen nl Rydberg-állapotba kerül. Ez az állapot ezt követően főleg LMM Auger-szerű módon bomolhat (rezonáns Auger-bomlás): egy $3p$ elektron betölti a $2p$ héjon lévő lyukat, a felszabaduló energiát pedig egy másik $3p$ elektron (e_{szat}^-) viszi el. Ennek energiája néhány eV-tal nagyobb a diagram Auger-energiánál, a rezonáns Auger-spektrum halvány kísérője a diagram spektrumnak. A folyamat során a Rydberg-elektron maradhat az eredeti nl állapotban is (spectator), de „fel is rázódhat” (shake up) egy magasabban gerjesztett $n'l$ állapotba. Az 1. ábrán bemutatott egyszerűsített séma is segítheti a vizsgált két folyamat áttekintését.

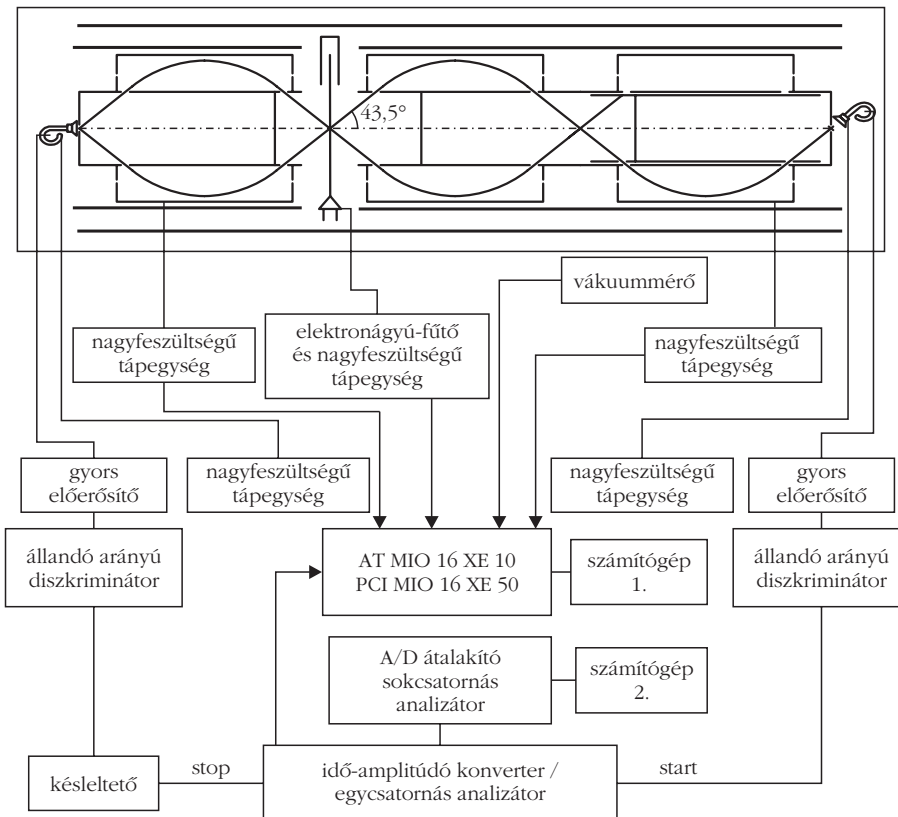
A koincidenciamérés során az egy atomban lezajló folyamatból származó, egyidejűleg detektált két elektron a szórt lövedék elektron és a gerjesztett (vagy ion-) állapot elbomlásakor keletkező Auger-elektron

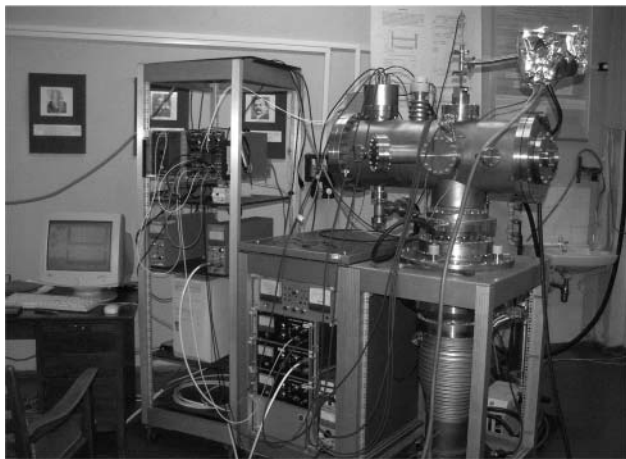
mérésnek is nevezni. A rövidítés első „e” betűje az elektron lövedékre utal, a „2e” pedig arra, hogy egy elemi atomi folyamat végállapotbeli részecskéi közül két elektront detektálunk.

A mérőrendszer

Napjainkban a kis energiás (<5 keV) elektronok spektrumának mérésére szinte kizárólag elektrosztatikus spektrométerek használatosak. Ezek energiaanalizátorból és a rajtuk átjutott elektronok detektálására alkalmas csatorna elektronsokszorozókból (channeltron vagy channelplate) állnak. Az energiaanalizátorok között különleges helyet foglalnak el a hengertükör analízátorok (cylindrical mirror analyzer, CMA), mivel – adott energiafelbontás mellett – elvileg ezekkel lehet a legnagyobb detektálási térszöveget és ezáltal a legnagyobb hozamot biztosítani. Mérőrendszerünk két, az ATOMKI-ban kifejlesztett, úgynevezett „torzított terű” CMA-t [1] tartalmaz: egy kétütemű és egy együtemű. Az Auger-elektron-spektrumot a kétütemű analízátor 0,5% relatív energiafelbontással (FWHM), az adott E_{sc} energiájú szórt elektronokat pedig az együtemű analízátor (0,9%) méri. A target gáznyaláb tengelye merőleges a két spektrométer közös tengelyére és a lövedék elektronnalábra is. E két nyaláb kölcsönhatási térfogatának közepére esik a két szomszédos analízátor fókuszpontja. Az innen kiinduló és az analízátorokon átjutó elektronok (szórt, ionizációs vagy Auger-elektronok) pályáját a 2. ábrán feltüntettük és berajzoltuk az azok detektálására szolgáló csatorna elektronsokszorozókat is. Mindkét spektrométerben a külső hengerre kapcsolt negatív feszültség az egyik oldali fókuszpontból induló, megfelelő

2. ábra. A spektrométer-rendszer vázlatja.





3. ábra. A mérőrendszer fényképe.

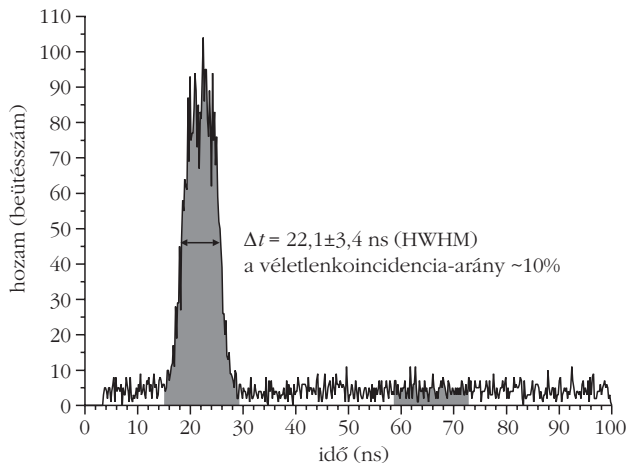
energiájú elektronokat a másik oldali fókuszba gyűjti össze. Az ettől jelentősen eltérő energiájú elektronok nem a fókuszpontba gyűlnek össze, így a detektor előtt lévő blendén nem tudnak áthaladni (vagy már az analizátoron sem). A számítások szerint analizátorunk másodrendű fókusza körülbelül $43,5^\circ$ -nál van. Az analizátorokba legfeljebb nagyjából a $40\text{--}46^\circ$ szögterületben tudnak az elektronok belépni, e tartomány $\sin\theta$ -val súlyozott közepe közel esik a fenti értékhez. A 2. ábra felső részén látható a spektrométer-rendszerünk hosszirányú metszete. A teljes analizátort az ábrázolt metszetnek a tengely körüli 360° -os forgatásával kapjuk.

A kétütemű spektrométer második analizátora tartalmaz egy forgatható, az analizátor belső hengerén belül lévő, két réssel ellátott hengert is. Ez a henger a mérési szög leszűkítésére szolgál, ha a szögeloszlás felvétele is célunk. A cikkben bemutatott méréseinkben a nagy térszög biztosítása érdekében ezt a hengert elhagytuk.

Az ábrán a vastag vonalak a μ -metálból készült mágneses árnyékolást jelölik, a két réteg a tengelyen mérhető mágneses mezőt – méréseink szerint – a földi mágneses indukció körülbelül 1%-ára ($\sim 2 \cdot 10^{-7}$ T) csökkenti. A spektrométerek teljes belső felületét koloid grafittal vontuk be. A grafit hatékonyan csökkenti a felületi oxidrétegek káros hatásait (azaz valódi ekvipotenciális felületet jelent), másrészt csökkenti a felületekbe becsapódó elektronok által kiváltott szekunder elektronok számát is.

Az elektronoknak természetesen végig nagy vákuumban ($p < 10^{-4}\text{--}10^{-5}$ mbar) kell haladniuk, hogy keletkezésük és detektálásuk között ütközés nélkül repülhessenek. A nagyvákuumrendszer elemei (olajdiffúziós nagyvákuum-szivattyú, rotációs elővákuum-szivattyú, vákuumkamra, szelepek, vákuummérő kivezetések) a mérőrendszer fényképén, a 3. ábrán jól kivehetőek.

A 2. ábra alsó részén, a spektrométer-rendszer hosszirányú metszete alatt a kiszolgáló elektronika blokkdiagramját láthatjuk. Ennek működése nagy vonalakban a következő: az egyes elektronok detektálását a csatorna elektronsokszorozók végzik. Ezek

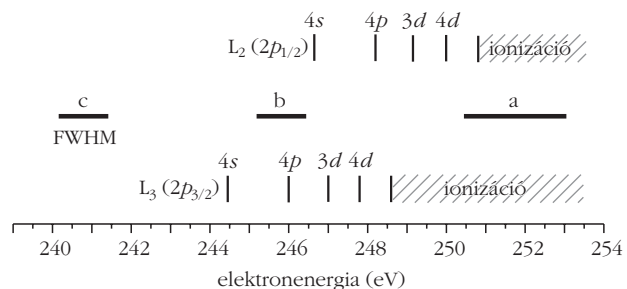


4. ábra. Egy, a berendezésünkkel felvett időspektrum.

hez tehát csak az ütközési térfogatot megfelelő szögben és energiával elhagyó elektronok juthatnak el, ez utóbbit az analizátorok külső hengereire adott negatív feszültség határozza meg. Az elektronsokszorozók által szolgáltatott elektromos impulzusok megfelelő erősítés és formálás után az idő-amplitúdó konverterbe (time to amplitude converter, TAC) kerülnek. A konverter a két elektronsokszorozó által szolgáltatott impulzus beérkezési idejének különbségével arányos nagyságú jelet ad. Ezek a jelek a beállítás fázisában egy sokcsatornás analizátorba (multichannel analyser, MCA) kerülnek. Bár a két detektált elektron egyidejűleg keletkezik, sebességkülönbségük, detektálásig befutott útjaik különbsége, sőt az eltérő kábelek miatt a TAC-ba a jelek nem egyszerre érkeznek.

Az MCA amplitúdó szerint osztályozza a TAC jeleit, az így előállított hisztogramot időspektrumnak nevezzük. A 4. ábrán egy ilyen, a berendezésünkkel felvett időspektrumot láthatunk. Az időspektrum alapján az azonos atomi ütközési folyamatból származó elektronok időkülönbsége megállapítható, ez a bemutatott esetben $\Delta t = 22,1 \pm 3,4$ ns. Az időintervallum határainak megfelelő diszkriminációs szintek az idő-amplitúdó konverterrel egybeépített egycsatornás analizátoron beállíthatók. Az egycsatornás analizátor jelei a mérő- és adatgyűjtőrendszer külön csatornájába kerülnek, így kapjuk meg a koincidenciaspektrumot. Az ábrából az is látható, hogy az „időcsúcs” egy háttéren ül, hiszen a független atomi

5. ábra. Az átadott energia (E_n) „ablakok” helyzete az argon ionizációs éleikhez és belső héj állapotaihoz képest: a) belsőhéj-ionizáció lehetséges, b) belsőhéj-gerjesztés lehetséges, c) csak külsőhéj-folyamatok lehetségesek.



folyamatokból származó elektronok útkülönbsége akár mekkora lehet. E véletlen incidenciák spektruma nyilvánvalóan „fehér”, tehát várható számuk egyforma hosszúságú időintervallumok esetén megegyezik. A besatírozott területek aránya alapján tehát a $\Delta t = 22,1 \pm 3,4$ ns időkülönbséggel érkező jelek 90%-a valódi, 10%-a véletlen incidencia. A véletlen incidenciákat nem lehet elkerülni, de hatásuk minimalizálható, ha a incidenciaspektrumból eltávolítjuk a beütések fenti hányadát (a direkt spektrumok jeleivel arányosan).

Az átadott energia „ablakok”

Koincidenciaméréseink során a lövedék által az atomnak átadott energia (E_{tr}) ismerete alapvető fontosságú. Ez meg is határozható, értéke egyenlő a primer és a szórt elektron energiakülönbségével:

$$E_{tr} = E_p - E_{sc}. \quad (3)$$

Az átadott energia értéke határozza meg azokat az atomi folyamatokat, amelyeket a koincidenciaspektrumban látni lehet. Belsőhéj-ionizáció lehetséges és az Auger-csúcsok megjelennek a koincidenciaspektrumban, ha az átadott energia (E_{tr}) nagyobb vagy egyenlő a megfelelő ionizációs potenciállal (E_{ion}). Ezen energiák különbsége adja meg a kibocsátott elektron kinetikus energiáját:

$$E_{ej} = E_{tr} - E_{ion}. \quad (4)$$

Ezen energia szórása egyenlő az átadott energia szórással, amit főleg az együtemű spektrométer energiafeloldása határoz meg (mivel kísérleteinkben a primer elektronnaláb energiaszórása sokkal kisebb):

$$\Delta E_{tr}(\text{FWHM}) \approx \Delta E_{ej}(\text{FWHM}) \approx 0,009 E_{sc}. \quad (5)$$

A cikkben bemutatott mérésekben alkalmazott átadott energia „ablakok” helyzetét az argon ionizációs élelhez és belső héj állapotaihoz képest az 5. ábrán láthatjuk. Az „ablakok” közepei a névleges átadott energiáknak (3), szélességei az energiaszórásuknak (5) felelnek meg.

A cikkben bemutatott mérések egyikében (az a) „ablak”) az atomnak átadott energia meghaladja az ionizációs energiát, bár csak egy kevéssel (PCI-mérések). A másik bemutatott mérésben (a b) „ablak”) az atomnak átadott energia nem éri el az ionizációs energiát, de értéke pontosan egyezik egy belsőhéj-gerjesztési energiával (rezonáns Auger-mérés). E mérés során külsőhéj-ionizáció (illetve ionizáció + gerjesztés) is lehetséges, amely zavarhatja a belsőhéj-folyamatok mérését. E járulék levonásához szükség lehet az előbbieknél kisebb átadott energiájú mérésre is (a c) „ablak”).

Megjegyezzük, hogy az L_3 alhéj statisztikai súlya kétszerese az L_2 alhéjának, tehát az arról eredő Auger-vonalak intenzitása is körülbelül kétszeres.

Irodalom

1. Kövér Á.: Elektrosztatikus elektronspektrométerek fejlesztése az ATOMKI-ban. *Fizikai Szemle* 60 (2010) 339.

KVANTÁLT VEZÉRLÉSI PROBLÉMÁK – II. RÉSZ

Megállítható-e fordított helyzetében a mozgatott felfüggesztésű inga?

Tél András, BME, I. éves mechatronika MSc hallgató

Czmerk András, BME Mechatronikai, Optikai és Gépészeti Informatikai Tanszék

Tél Tamás, ELTE Elméleti Fizikai Tanszék

A vízszintes gyorsított fordított inga

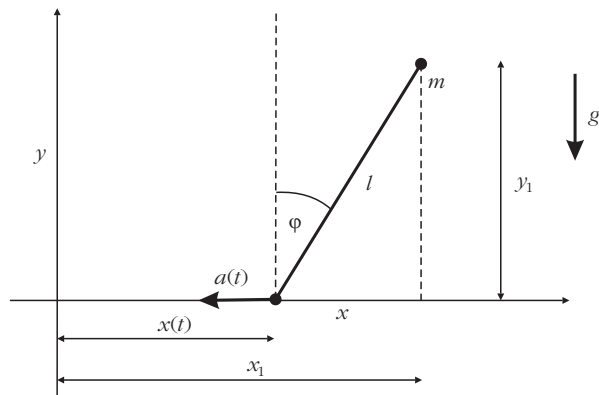
Jelölje ismét φ az inga pozitív y tengellyel bezárt szögét (8. ábra).

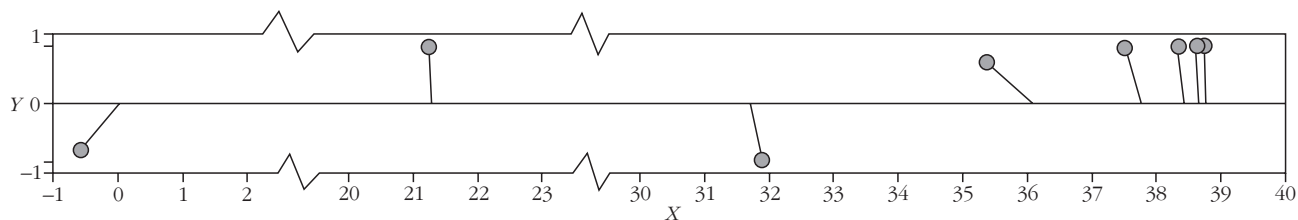
Az együttmozgó koordinátarendszerben $-a(t)$ tehetetlenségi gyorsulás lép fel a vízszintes irányban. Ennek a rúdra merőleges komponense $-a(t)\cos\varphi$, a teljes tangenciális gyorsulás tehát $g\sin\varphi - a(t)\cos\varphi$. Így a mozgásegyenlet

$$\ddot{\varphi} = \frac{-a(t)}{l} \cos\varphi + \frac{g}{l} \sin\varphi. \quad (19)$$

A (19) abban a lényeges vonásban különbözik a függőlegesen gyorsuló inga (7) egyenletétől, hogy az előírt $a(t)$ gyorsulás most $\cos\varphi$ -vel szorzódik, a szög

8. ábra. A vízszintesen gyorsított fordított inga koordinátáinak értelmezése.





9. ábra. A vízszintesen gyorsított inga mozgásának fázisai a $t = 0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3$ és $3,5$ pillanatokban, $A = 56$, $\varphi_0 = -2,5$, $\varphi = 0$, $d = d_0$ esetén. $x_{\max} = 38,8$.

más szögfüggvényével, mint g . Ez az oka annak, hogy most nem található közvetlen kapcsolat a Schrödinger-egyenlettel. Látni fogjuk, hogy ennek ellenére kvantált viselkedést tapasztalhatunk, noha a vezérlési spektrum egészen más jellegű lesz.

A τ szerinti dimenziótlanítás után a (10) paraméterek jelennek meg, s a mozgásegyenlet a

$$\ddot{\varphi} = -A(th^2t - 1)\cos\varphi + (A - d)\sin\varphi \quad (20)$$

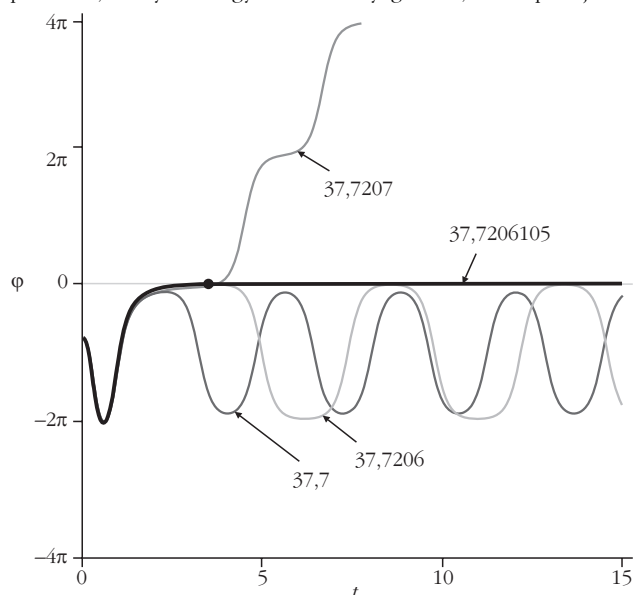
alakot ölti. A d_n kvantált érték megtalálása esetén az időállandót ismét a (12), a kezdeti gyorsulást ismét a (14) összefüggés adja meg.

A sikeres vezérlés mozgásformái

A vízszintesen gyorsított inga jellegzetes mozgásformáit a 9. ábrán mutatjuk be az $A = 56$ kezdeti gyorsulás mellett. Különösen érdekesek a nagy negatív kezdeti szögkitérésű esetek. A $\varphi_0 = -2,5$ rad kezdőfeltétel esetén, amely a vízszintes sík alá hajló kezdeti állapotnak felel meg, az inga először nagy negatív gyorsulásnak van kitéve.

Legyen először $d = 37,7$. Az ingával együttmozgó rendszerben a pozitív x irányba mutató tehetetlenségi gyorsulás lép fel, amely a g gravitációs gyorsulással

10. ábra. A szimulációval meghatározott szögkitérés-idő függvény különböző d értékek mellett ($A = 56$, $\varphi_0 = 1$ és $\varphi = 0$). A $t_a = 3,55$ pillanatot, amely után a gyorsítás elhanyagolható, fekete pont jelöli.



együtt egy ferdén lefelé mutató eredő gyorsulást, effektív gravitációs erőt jelent. Az inga az ennek megfelelő egyensúlyi helyzet felé indul, és szögkitérése egyre nagyobb negatív érték lesz. Mire azonban az egyensúlyi helyzetet elérné, az már megváltozott (közelebb kerül a függőleges irányhoz, hiszen a gyorsítás nagysága csökkent), ezért túllendül rajta. Az adott d paraméter esetén a szög elér egy maximális nagyságú negatív (de 2π -nél abszolút értékben kisebb) kitérést, ott visszafordul, majd lógó helyzetén átlendül, és a kezdőfeltételnél nagyobb, de még negatív maximumot elérve ismét visszafordul. $t_a = 3,55$ idő eltelte után a gyorsítás gyakorlatilag megszűnt, hiszen abszolútértéke $g/100$. Az inga ettől kezdve a $\varphi = \pi$ természetes nyugalmi helyzete körül végez nagy amplitúdójú lengéseket.

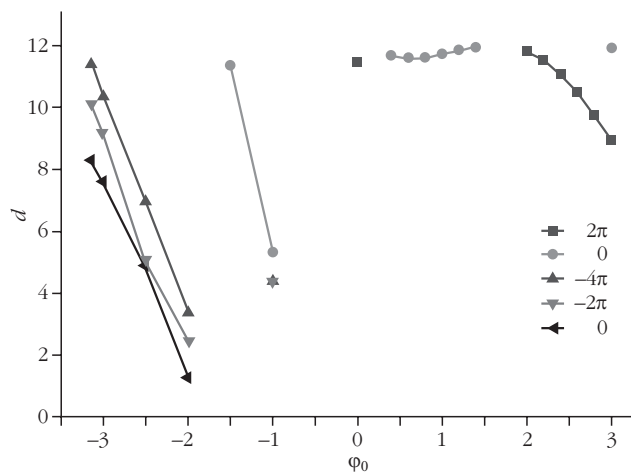
A $d = 37,7206$ paraméterrel az inga már majdnem eléri a -2π szögkitérését, de kicsivel előtte mégis visszafordul, és pozitív szögsebességgel nagyon jól megközelíti a 0 instabil állapotot, de onnantól még visszaesik. Az alig nagyobb $d = 37,7207$ paraméterrel az inga, miután ismét visszafordul -2π előtt, most már, ha lassan is, de átjut a $\varphi = 0$ függőleges állapotban, eléri a 2π , majd a 4π értékeket, azaz pozitív szögsebességgel többször átforduló mozgást végez (természetesen a függőleges helyzetek körül igen lelassulva).

Ebből tudhatjuk, hogy a sikeres vezérlés ezen két d érték között valósul meg. Numerikus számolásunk szerint ehhez $d_0 = 37,7206105$ tartozik.

A (12) összefüggés megadja a d_0 -hoz tartozó időállandót: $l = 0,1$ m, 1 m és 10 m-es ingákra rendre $0,43$ s, $1,35$ s és $4,3$ s értékeket kapjuk. Az A kezdeti gyorsulás (14) szerint mindegyik hossz esetén $a_{0,0} = 3,06$ g, azaz nem túlságosan nagy kezdeti gyorsulással megvalósítható a d_0 -hoz tartozó kvantált vezérlés. A 10. ábra a sikeres vezérlés térbeli lefolyását mutatja néhány pillanattfelvétellel.

Az időfüggő vezérlési spektrum

A vezérlési spektrumok pozitív és negatív kezdeti szögkitérésekhez tartozó része most erősen eltér. Ez annak köszönhető, hogy negatív irányú gyorsítást alkalmazunk – lásd (1) –, és ez megtöri a jobb-bal szimmetriát. Ha áttérnénk a pozitív irányú gyorsításra (A negatív lenne), akkor ugyanezen spektrumok függőleges ($\varphi_0 = 0$) tengelyre tükrözött változatát kapnánk, hiszen a gyorsulás előjelváltása a szög tükrözésének felel meg. Az ábrákon most is csak a nagyobb tartományokra kiterjedő vezérlési lehetőségeket ábrázoljuk.



11. ábra. A vezérlési spektrum $A = 12$ -re. A jelölésben szereplő számok a végállapot ($\varphi = 0$) eléréséhez szükséges körülfordulások számát és irányát jelölik.

Az $A = 12$ esetben (11. ábra) a jobb oldalon összesen egy ágat látunk, és az sem folytonos. Ez azt jelenti, hogy vannak olyan kezdeti szögsebesség-intervallumok, ahol *nem létezik sikeres vezérlés*. A π -hez közel eső kezdeti szögkitérésekkel azt tapasztaljuk, hogy vezérlés úgy lehetséges, ha a nagy kezdeti gyorsítás balra megrántja az ingát, az emiatt felfelé mozdul, de visszafordul, és csökkenő gyorsítás mellett, pozitív szögsebességgel éri el az átfordulásnak megfelelő 2π helyzetet. $\varphi_0 = 2$ körül, ahol már amúgy is nagyon nagy kezdeti gyorsításra lenne szükség, ez az ág megszakad. Rövid kihagyással egy másik ág jelenik meg $\varphi_0 = 1,5$ körül, ahol az inga a nulla szögkitérésű helyzetben áll meg úgy, hogy φ előjele nem változik. A mozgás jellegét tekintve ez felel meg a függőleges eset d_0 -val jelölt ágának. Ekkor a felfüggesztési pontot mintegy az inga alá toljuk. Sajnos, minden ilyen lehetőség csak igen nagy gyorsulással valósítható meg. Az origó környékén megjelenik egy újabb rövid ág, ahol a végállapot 2π . Ilyenkor tehát – annak ellenére, hogy a kezdeti szögkitérés kicsi – az inga erősen kileng, s egy átfordulás után áll meg.

Kis negatív szögkitérésekkel ismét találunk egy vezérelhetetlen, több mint $0,5$ radián hosszúságú intervallumot. Utána megjelenik egy ág – amely mentén a mozgás mentes az előjelváltásoktól –, a d_0 ág folytatása, annak megfelelően, hogy a kezdetben negatív irányba dőlő ingát úgy rántjuk meg, hogy az a fordított helyzetben álljon meg, mire véget ér a gyorsítás. A $\varphi_0 = -\pi/2$ környékén újabb ($0,2$ hosszúságú) szakadás történik. Ez érthető, hiszen itt dől el, hogy a vízszintesen megrántott inga fölfelé vagy lefelé fordul. Az ennél nagyobb negatív irányú kezdeti szögkitérésekre három ág rajzolódik ki. A legelső ág mentén a szögkitérés nem éri el -2π -t és az előtt visszafordulva, az inga végül $\varphi = 0$ -val, fordított helyzetében megáll. Ez tehát ismét egy d_0 -nak tekinthető ág. A fölötte elhelyezkedő két ág a -2π , illetve -4π -ben történő megállásnak felel meg.

Az $A = 30$ és 56 értékekhez tartozó vezérlési spektrum jellege nagyon hasonló, ezért külön ábrán nem is

mutatjuk be őket. Az új vonás az, hogy $\varphi_0 > 0$ -ra egymás felett több ág is megjelenhet, amelyek most egymáshoz közel helyezkednek el, és a feljebb levők általában rövidebbek.

A vízszintesen gyorsított fordított inga kis kitérésű határeset

A (21) egyenlet kis szögkitérésekre, amikor $\sin\varphi \approx \varphi$, viszont $\cos\varphi \approx 1$, a következő alakú

$$\ddot{\varphi} = -A(\text{th}^2 t - 1) + (A - d)\varphi, \quad |\varphi| \ll 1. \quad (21)$$

Az első tag itt egy, az inga állapotától *független külső* hatást ír le. Ez tekinthető például egy külső forgatónyomatéknak. A (21) egyenlet tehát egy hagyományos mechanizmussal gerjesztett instabil (hiszen $A > d$) lineáris oszcillátor egyenlete, amelyben semmilyen kvantált viselkedésre való hajlam nem ismert. Ennek tulajdonítható, hogy az origó körüli kezdeti szögkitéréssel csakis olyan vezérlés létezik, amelynek során az inga előbb nagy kitérésű mozgást végez, amely ekkor már nem írható le (21)-gyel, s csak annak végeztével állapodhat meg a nulla kitérésű állapotban.

A Schrödinger-egyenlettel való kapcsolat teljes hiánya miatt a megtalált szerkezet jóval kevésbé szabályos, és jóval kevesebb vezérelhető esetet találunk. Meglepő azonban, hogy nem csak izolált pontokban, hanem kiterjedt intervallumokban is fennáll a sikeres vezérlés lehetősége, továbbra is kvantált módon.

Kitekintés

Eddig a kezdeti szögsebességet nullának választottuk. Vizsgálataink azt mutatják, hogy a spektrum függ φ_0 értékétől is. Kis $|\varphi_0|$ mellett az eddig látottakhoz képest azonban csak keveset deformálódik. Hasonlóan, a szögsebességgel arányos gyenge disszipáció is csak kevésbé módosítja az eredményeket. A kezdeti A gyorsulás növelésekor a spektrumban mindig egyre több ág jelenik meg.

Végül gondoljuk át, hogy mi történhet, ha az $a(t)$ gyorsítás jellegét is megváltoztatjuk. A gyorsítási függvény a Schrödinger-egyenlet potenciálfüggvényének felel meg. Mivel *bármilyen* egydimenziós potenciálban létezik legalább egy diszkrét energiaszint [7], a függőlegesen gyorsított ingák (7) egyenletében is minden $a(t) < 0$ -ra lesz ezért legalább egy sikeres d_0 vezérlési ág (amely függni fog a kezdő szögkitéréstől és szögsebességtől). A fölfelé gyorsítás ($a(t) > 0$) esete *potenciálgátnak* felel meg a (17) Schrödinger-egyenletben, ezért ilyenkor a vezérlés gyakorlatilag lehetetlen.

A más irányokban gyorsított ingák – és általában az instabil végállapotba juttatást célul kitűző vezérlési problémák – esetén azt várjuk, hogy e két eset kombinációja fordul elő: a kezdeti feltételek bizonyos tartományában nem sikeres a vezérlés, másutt pedig kvan-

tált módon, azaz a paraméterek diszkrét értékeinél, egy vezérlési spektrum mentén megvalósítható a rendszer instabil végállapotba juttatása.

A különböző technikai rendszerek vezérlése a rendszert jellemző paraméterek ismeretében hatékony irányítási módszerként ismert. Esetünkben az inverz ingák – fentiekben bemutatott – instabil egyen-

súlyi állapotba, vagy annak közvetlen közelébe juttatása csupán a kezdőfeltételek helyes megválasztásával alternatív lehetőséget kínál az eddig elterjedt összetett szabályozási algoritmusokkal szemben.

Irodalom

7. Marx Gy.: *Kvantummechanika*. Műszaki Kiadó, Budapest, 1971.

MERRE MUTAT A FÖLD FORGÁSTENGELYE?

Hraskó Péter

PTE Elméleti Fizika Tanszék

„Látod-e, mely kicsiny itt a föld, félrésze vizekkel
Béfooglalva setét zölde, félrésze világos,
S mint félérésű citrom hintálva tulajdon
Terhe nyomásától, lóg a nagy semminek ágán.”

Csokonai Vitéz Mihály

Amikor a nyolcvanas évek végén a pécsi Janus Pannonius Tudományegyetemre hívtak elméleti fizikát tanítani tanárszakos hallgatóknak, tisztában voltam vele, hogy a tananyagban sok olyan része van, amelyet nem ismerek elég jól ahhoz, hogy taníthassam. Egyebek között a Föld forgástengelyének 25 730 év periódusú *luniszoláris precessziója* tartozott ide, ezért beültem az MTA könyvtárába irodalmazni a témáról. Ekkor került a kezembe *W. H. Munk* és *G. J. F. MacDonald* *The rotation of the earth: a geophysical discussion* című könyve, amely részletesen tárgyalta a luniszoláris precessziót, de szó volt benne egy másik precesszióról is, amelyről korábban sohase hallottam és olyan hihetetlennek tűnt a számomra, hogy sokáig bizonytalankodtam, jól értem-e, amit olvasok. Arról volt ugyanis szó, hogy a Föld forgástengelye nem esik pontosan egybe a szimmetriatengelyével, a forgástengely dőléspontja úgy kerülgeti *néhány méteres távolságban* a szimmetriatengelyt, mint egy kaptos sarkkutató (3. ábra), és ezt a mozgást a geofizikusok már száz év óta folyamatosan regisztrálják.

A reguláris precesszió

Ezen érdekes geofizikai jelenség alapja az izolált tengelyszimmetrikus merev testek forgása a tömegközéppontjuk körül, amelyet *reguláris precesszió*nak (vagy *szabad nutáció*nak) hívunk. Induljunk ki abból, hogy a test nyugalomban van és egy adott pillanatban mi hozzuk forgásba valamilyen ω szögsebességgel a tömegközéppontján áthaladó tetszőleges irányú tengely körül. Hogyan mozog tovább?

Bontsuk fel az ω szögsebességvektort egy szimmetriatengellyel párhuzamos ω_{\parallel} és egy rá merőleges ω_{\perp} komponensre:

$$\omega = \omega_{\parallel} + \omega_{\perp}.$$

A szimmetriatengelyre és a tömegközépponton áthaladó rá merőleges egymással egyenértékű tengelyekre vonatkozó tehetetlenségi nyomatékokat jelöljük I_{\parallel} -sal és I_{\perp} -sel. Ekkor a perdületet (impulzusmomentumot) az

$$\mathbf{N} = I_{\parallel} \omega_{\parallel} + I_{\perp} \omega_{\perp}$$

képlet határozza meg. A perdület eszerint benne fekszik a szimmetriatengely és a szögsebesség által meghatározott \mathcal{S} síkban.

Az ω -nak és az \mathbf{N} -nek a szimmetriatengellyel bezárt szögét jelöljük α -val és β -val. A két szög között egyértelmű kapcsolat van:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{N_{\perp}}{N_{\parallel}} = \frac{I_{\perp} \omega_{\perp}}{I_{\parallel} \omega_{\parallel}} = \frac{I_{\perp}}{I_{\parallel}} \operatorname{tg} \alpha. \quad (1)$$

Fontos körülmény, hogy a perdület szimmetriatengelyre vetett N_{\parallel} vetülete mozgásállandó. Ez nem következik abból, hogy \mathbf{N} maga mozgásállandó, mert a szimmetriatengely nem egy rögzített térbeli irány. Az N_{\parallel} időderiváltja mégis zérussal egyenlő. A bizonyításhoz jelöljük a szimmetriatengely irányába mutató egységvektort \mathbf{k} -val. Nyilván $N_{\parallel} = (\mathbf{k} \cdot \mathbf{N})$, ezért

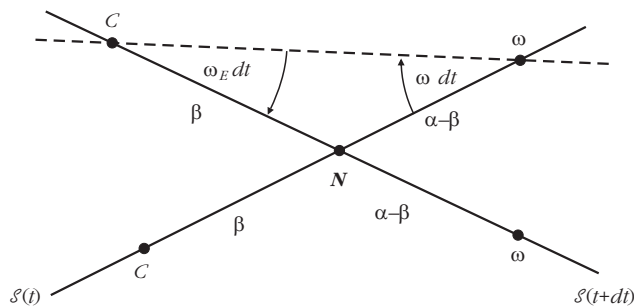
$$\dot{N}_{\parallel} = (\dot{\mathbf{k}} \cdot \mathbf{N}) + (\mathbf{k} \cdot \dot{\mathbf{N}}) = ([\omega \times \mathbf{k}] \cdot \mathbf{N}).$$

Kihasználtuk, hogy $\dot{\mathbf{N}} = 0$ és a \mathbf{k} irány együtt forog a testtel: $\dot{\mathbf{k}} = [\omega \times \mathbf{k}]$. Mint az előbb láttuk, a vegyes szorzatban szereplő három vektor egy síkban fekszik, ezért a vegyes szorzatuk nullával egyenlő.

Az N_{\parallel} megmaradása maga után vonja az N_{\perp} megmaradását, valamint az $\omega_{\parallel} = N_{\parallel}/I_{\parallel}$, az $\omega_{\perp} = N_{\perp}/I_{\perp}$ és végső soron magának az ω szögsebességnek az állandóságát is.

Mivel $N_{\parallel} = N \cos \beta$, a β szög is állandó, és (1) következtében ugyanez érvényes az α szögre is. Eszerint nemcsak az igaz, hogy a szimmetriatengely, a perdület és a forgástengely mindig egy közös \mathcal{S} síkban fekszik, hanem ebben a síkban a relatív helyzetük is állandó.

Az \mathcal{S} síknak és benne a szögsebességvektornak forognia kell a testhez képest ahhoz, hogy mindhárom irány folyamatosan egy közös síkban maradjon. A perdület ugyanis mozgásállandó, ezért a forgás során csak a szim-



1. ábra. Az Euler-körfrekvencia számítása.

metriatengely fordul el az ω irány körül, az N iránya változatlan marad. Ha tehát a három irány a t pillanatban egy síkban volt, a $t+dt$ pillanatban az N perdület már valamilyen szöget zárna be az új helyzetű szimetriatengelyt és a szögsebességvektort tartalmazó síkkal, *ha a szögsebesség iránya változatlan maradna*. De ez az irány megváltozhat, hiszen (az N -hez hasonlóan és a szimetriatengellyel ellentétben) nincs „beleégetve” a testbe. Tehát a szimetriatengely új helyzete körüli α nyílásszögű kúpon úgy fog elfordulni, hogy újból rákerüljön a szimetriatengely és az N által meghatározott síkra. Ez a két elfordulás – természetesen – nem egymást követően, hanem egyidejűleg következik be, de – mint a következő pontban látni fogjuk – gondolati szétválasztásuk megkönnyíti a mozgás kvantitatív analizisét.

Az ω_E Euler-körfrekvencia

A reguláris precesszió során tehát a forgástengely a test szimetriatengelye körüli α nyílásszögű kúpon forog. A továbbiakban elsősorban a mozgás ezen aspektusát fogjuk tanulmányozni. A forgás körfrekvenciáját *Euler-körfrekvenciának* hívjuk és ω_E -vel jelöljük. Kiszámításához képzeljünk el egy gömböt a testen belül a tömegközéppont, mint origó körül. Az $S(t)$ és az $S(t+dt)$ sík egy-egy főkört metsz ki ebből a gömbből, amelyek az N irány dőfspontjában metszik egymást. Az 1. ábrán ezeket a főköröket – az egyszerűség kedvéért – egyenesekkel ábrázoltuk. Az ábra belapult ellipszoidra vonatkozik, amelyre $I_1 > I_\perp$ és (1) következtében $\alpha > \beta$ (a C a szimetriatengely dőfspontja).

A szagatott egyenes az S sík azon $S(t)$ és $S(t+dt)$ közötti hipotetikus közbenső helyzetét ábrázolja, amikor az N még „kilóg” belőle, mert csak az ωdt szögű elfordulás következett be a pillanatnyi forgástengely körül. A forgástengely csak ezután fog $\omega_E dt$ szöggel elfordulni a megváltozott irányú szimetriatengely körül.

Az ω_E Euler-körfrekvenciát a gömbháromszögtan szinusztétele segítségével fejezhetjük ki a forgás ω szögsebességén keresztül:

$$\sin(\omega_E dt) = \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin\beta} \sin(\omega dt).$$

Amikor $dt \rightarrow 0$ a két dt -t tartalmazó szinusz helyettesíthető az argumentumával. A dt -vel egyszerűsíthetünk, így

$$\omega_E = \omega \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin\beta} = \omega \frac{\operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg}\beta}{\operatorname{tg}\beta} \cos\alpha.$$

Az (1) segítségével a tangensek kifejezhetők a tehetetlenségi nyomatékokon keresztül:

$$\frac{\operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg}\beta}{\operatorname{tg}\beta} = \frac{I_1 - I_\perp}{I_\perp}, \quad (2)$$

az $\omega \cos\alpha$ szorzat pedig a szögsebesség szimetriatengelyre vetett ω_\perp vetületével egyenlő. Így végül az Euler-körfrekvenciára az

$$\omega_E = \frac{I_1 - I_\perp}{I_\perp} \omega_\perp,$$

az ennek megfelelő periódusidőre pedig a

$$T_E = \left(\frac{I_1 - I_\perp}{I_\perp} \right)^{-1} T_1$$

képletet kapjuk.

A Földre vonatkozóan az ω_\perp -t szorzó *precessziós konstans* (másik néven *dinamikai lapultság*) értéke

$$\frac{I_1 - I_\perp}{I_\perp} = 0,003295 \approx \frac{1}{300}.$$

Ez a tört a luniszoláris precesszió képletében is megjelenik (innen az elnevezése) és a precesszió megfigyelt értékéből számolható vissza. Mivel $T_1 \approx 1$ nap, ezért az Euler-periódusidő értéke a Földre vonatkozóan $T_E \approx 300$ nappal egyenlő.

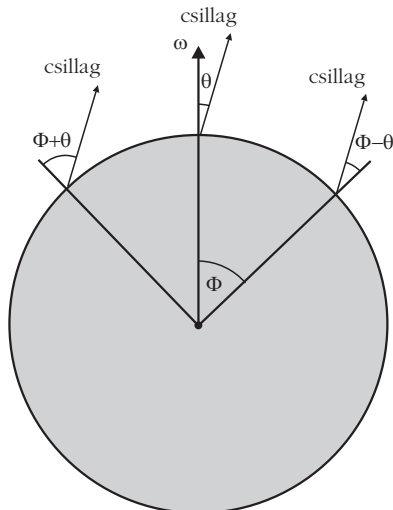
Mint látjuk, a Föld reguláris precessziójának T_E periódusideje sokkal kisebb, mint a luniszoláris precesszió 25 730 éves periódusa. Ez utóbbi precessziót a Nap és a Hold tömegvonzásának a Föld egyenlítői kidudorodására gyakorolt forgatónyomatéka okozza. A Föld tehát szigorúan véve nem izolált test és így kérdéses, hogy a reguláris precesszió képletei érvényesek-e rá. Mivel azonban T_E nagyságrendű idő alatt a luniszoláris precesszió mértéke nagyon kicsi, a reguláris precesszió szempontjából a Földre gyakorolt forgatónyomaték hatása elhanyagolható.

A szélességingadozás

A Föld esetében az α és a β szög biztosan nagyon kicsi. A forgástengely irányát – mint láttuk – a kezdőfeltételek határozzák meg, ezért az α szög csak mérésel állapítható meg, elméleti számítással nem. Az azonban könnyen igazolható, hogy a β szög nagy pontossággal egyenlő α -val. A (2) képlet ugyanis a két szög közötti különbség legalacsonyabb rendjében

$$\frac{\alpha - \beta}{\alpha} \approx \frac{1}{300}$$

alakú, és ez a képlet mutatja, hogy az $(\alpha - \beta)$ különbség valóban elhanyagolható α mellett.



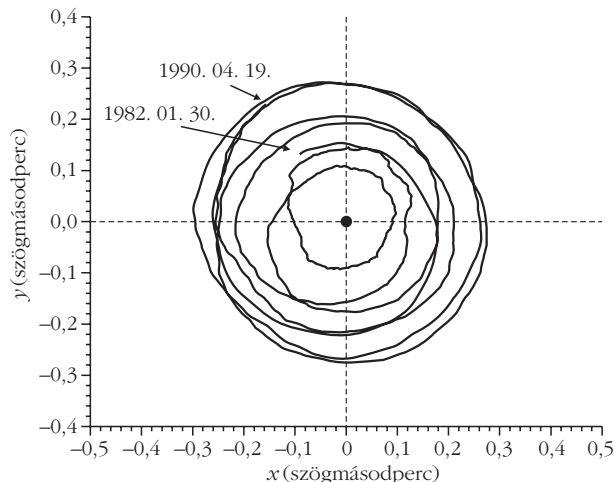
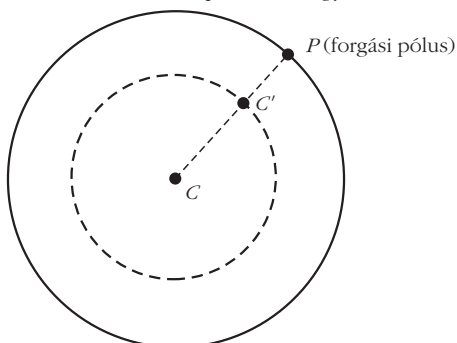
2. ábra. A szélesség meghatározása.

A Föld reguláris precesszióját tehát a következőképpen írhatjuk le. Az ω forgástengely folyamatosan a csillagos ég egy határozott pontjára mutat, mert egybeesik az N perdület irányával, amely mozgásállandó. A szimmetriatengely és vele együtt az egész Földgolyó ekörül az irány körül precesszál a csillagos éghez képest valamilyen α nyílásszögű kúpon, a számítások szerint körülbelül 300 napos periódusidővel.

Ugyanez a mozgás a merevnek elképzelt Földhöz viszonyítva úgy jelenik meg, hogy a pillanatnyi forgástengely dőléspontja (a *forgási pólus*) T_E periódusidejű körmozgást végez a poláris régió egy pontja körül, amely a szimmetriatengely dőléspontjával azonosítható. Ez a mozgás a Föld tengely körüli forgásával ellentétes értelmű (1. ábra).

A reguláris precesszió megfigyelési módszere azon az egyszerű tényen alapul, hogy a Föld egy adott pontjának a *forgási pólushoz* viszonyított Φ szélességét könnyen kiszámíthatjuk, ha 24 órán belül többször is meg tudjuk mérni egy adott csillag irányának a lokális merőlegessel bezárt szögét. Egy olyan csillag iránya ugyanis, amely a forgási pólusban θ szög alatt látszik a lokális merőlegeshez viszonyítva, a Φ szélességű pontban 24 órás periódusidővel változik a lokális merőlegeshez viszonyítva a $(\Phi-\theta, \Phi+\theta)$ szögtartományban (2. ábra). A megfigyelési pont Φ szélessége a két szélső érték átlagával egyenlő.

4. ábra. A Chandler-periódus magyarázatához.



3. ábra. A forgási pólus megfigyelt mozgása.

A reguláris precesszió következtében a forgási pólus folyamatosan vándorol a Földhöz viszonyítva, ezért egy adott megfigyelési pont Φ szélessége nem marad állandó. Ez a jelenség a *szélességingadozás*. Ezt az ingadozást a geofizikai obszervatóriumok széles hálózata folyamatosan figyeli a Föld különböző pontjaiban, amelyek mérési eredményeiből rekonstruálható a forgási pólus pályája. Az 1982–1990 periódusra vonatkozóan ezt a pályát a 3. ábrán láthatjuk.

A Chandler-periódus és az α szög nagysága

A mérési eredmények csak kvalitatív összhangot mutatnak a reguláris precesszió elképzésével. Többet nem is várhatunk, hiszen a Földet csak közelítően lehet izolált merev testnek tekinteni.¹ Mindenekelőtt az derült ki, hogy a forgási pólus mozgásának a periódusa a várt körülbelül 300 nap helyett 435 nappal egyenlő. Ezt a periódust a szélességingadozás felfedezőjéről *Chandler-periódusnak* hívják. *S. Newcomb* szerint a különbséget a földköpeny rugalmassága okozza. Ma már jól ismert, hogy a földkéreg is mutat árapályt, a pontos fizikai méréseknél ezt gyakran figyelembe is kell venni. Ezen az alapon az is várható, hogy a centrifugális erő változása következtében az egyenlítői kidudorodás is képes valamilyen mértékben igazodni a forgástengely irányváltozásaihoz.

A 4. ábra azt sugallja, hogy ez az igazodás *növeli* a szélességingadozás periódusidejét. Tegyük fel, hogy a teljesen merev Föld feltételezése mellett a P forgási pólus a szimmetriatengely C dőléspontja körül precesszálna. Az egyenlítői kidudorodás igazodása a forgástengely pillanatnyi irányához azt eredményezheti, hogy a tényleges szimmetriatengely a forgási pólus irányához közelebbi C' pontba helyeződik át. Az Euler-periódus számértékében ez nem okoz változást, de a körpályán történő mozgás sebességét

¹ A Nap és a Hold forgatónyomatéka szempontjából a Föld, mint láttuk, izoláltnak tekinthető, de a Napról érkező sugárzási energia jelentős közvetett befolyást gyakorolhat a szélességingadozásra.

$$\frac{C'P}{CP} \equiv \gamma$$

arányban lecsökkenti. Ezzel a csökkentett sebességgel kerüli meg a P forgási pólus a C döféspontot, ami a periódusidő $1/\gamma$ -szoros megnövekedéséhez vezet.

Az α szög nagyságára áttérve a 3. ábrából láthatjuk, hogy ez a szög nagyságrendileg néhány száz milliszögmásodperccel (néhány tized szögmásodperccel) egyenlő, ami a talajszinten 10 méter (!) körüli távolságnak felel meg. A forgási pólus nem körön, hanem egy elég szabálytalan csigavonalon mozog, vagyis α értéke folyamatosan fluktuál ebben a nagyságrendi tartományban.

Az előbb szó volt róla, hogy amikor a szimmetriatengely és a szögsebesség vektora (a forgástengely) valamilyen nullától különböző szöget zár be egymás-

sal, a forgási pólus mozgását deformációs folyamatok kísérik, amelyek bizonyosan energia-disszipációval járnak. A szélességingadozásnak ezért le kellene csengenie, az α -nak a nulla értéknél kellene stabilizálnia. A becslések azt mutatják, hogy a lecsengésnek nagyon gyorsan be kellene következnie, mert a folyamat időállandója kevesebb mint száz év.

Létezniük kell tehát olyan geofizikai mechanizmusoknak, amelyek folyamatosan gondoskodnak a szélességingadozás „rugójának a felhúzásáról”. A modellszámítások alapján például elképzelhető, hogy az óceánok fenekén a nyomás fluktuációja tartja fenn a jelenséget, amely maga a hőmérséklet- és a szalinitás (sókoncentráció) változások, valamint a széljárás okozta áramlásváltozások következménye. De az sem kizárt, hogy az ingadozás nem vezethető vissza egyetlen jól meghatározott okra, hanem számos független hatás következménye.

RELATIVISZTIKUS FOGÓCSKA – II. RÉSZ

Bokor Nándor
BME Fizika Tanszék

A nyugalmi hossz felső korlátja – a 2. gondolat kísérlet magyarázata

Rövid kitérő a *nyugalmi hossz* fogalmáról és arról, mit értettünk eddig a *sajáthossz* fogalma alatt. Az olvasónak feltűnhetett, hogy a cikkben eddig kizárólag a „sajáthossz” kifejezést használtam az elterjedtebb „nyugalmi hossz” helyett. Szigorúan véve csak akkor van értelme egy adott tárgy (esetünkben például a cérna) nyugalmi hosszáról beszélni, ha a tárgy pontjai *egymáshoz képest* nyugalomban vannak (másképpen megfogalmazva: ha mindig létezik olyan inerciarendszer, amelyben a cérna összes pontja éppen áll). Ha a cérna végei például a 8. ábra b^* és j jelű görbéi szerint mozognak, akkor ez nem teljesül (ezért szakad el a cérna), tehát a nyugalmi hossz fogalma ilyenkor nem értelmezhető.

A „sajáthossz” elnevezésre való áttérés önmagában a fogalmi nehézséget természetesen nem oldaná meg, mégis a sajáthossz *definíciója* értelmesen kiterjeszhető az olyan esetekre is, mint a 8. ábra b^* és j jelű görbéi. Az új definíció szerint például sajáthossz alatt érthetjük mindig azt a cérnahosszt, amelyet a *jobb oldali cérnavég pillanatnyi nyugalmi inerciarendszerében mérünk*. Ebben az inerciarendszerben a jobb oldali cérnavég áll, a bal oldali pedig akár éppen távolodhat is tőle (ekkor a cérna egyre jobban megfeszül), vagy közeledhet hozzá (és a cérna meglazul). Ez a kibővített definíció természetesen magában foglalja a nyugalmi hossz fogalmát is (amikor az értelmezhető).

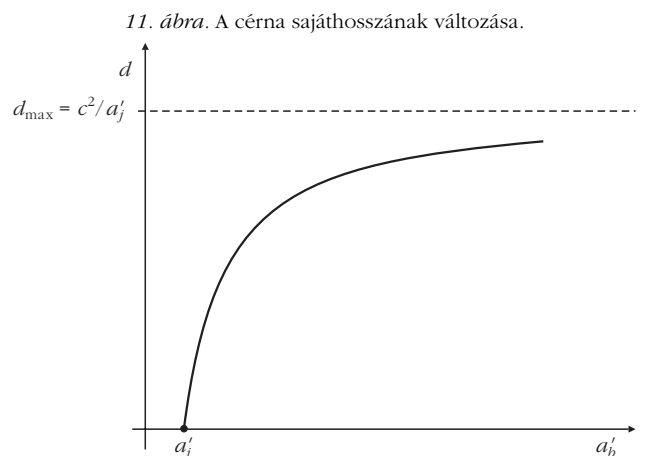
A kritikus sajátgyorsulásra vonatkozó számoláshoz hasonló módon, a (11) egyenletből kapható meg egy

objektum *nyugalmi hosszára vonatkozó elvi felső limit*. Az egyenletből d -t kifejezve, mint a'_b függvényét, a

$$d(a'_b) = c^2 \left(\frac{1}{a'_j} - \frac{1}{a'_b} \right) \quad (14)$$

összefüggéshez jutunk. (Itt tehát a jobb oldali cérnavég a'_j sajátgyorsulását adott konstans értékűnek feltételezzük.) A függvény menetét a 11. ábra mutatja. Az ábráról leolvasható, hogy a bal oldali vég adott gyorsulása mellett mekkora konstans d sajáthosszú sággal rendelkezhet a cérna. Ahogy a bal oldali cérnavég sajátgyorsulása végtelenhez közelít, a még éppen állandó megfeszítettségi állapotban tartható cérna sajáthossza véges értékhez, c^2/a'_j -hez tart.

Ilyenkor, amikor a a sajáthossz konstans, jogos a *nyugalmi hossz* megnevezés, hiszen mindig található



olyan inerciarendszer, amelyben a teljes cérna éppen áll. A

$$d_{\max} = \frac{c^2}{a'_j}, \quad (15)$$

tehát a *nyugalmi hosszra vonatkozó felső korlátot* adja meg. Csak ennél kisebb nyugalmi hosszal rendelkezhet egy olyan, jobb felé mozgó objektum, amelynek a jobb oldali vége adott a'_j sajátgyorsulással mozog [2]. Ha az objektum kezdeti hossza d_{\max} -ot eléri vagy annál nagyobb, akkor – a jobb oldali vég a'_j gyorsulású mozgása esetén – a bal oldali végnek még *végtelen sajátgyorsulás sem elég* ahhoz, hogy az objektum saját hosszát változatlan értéken tartsa. Ezzel a cikk elején említett 2. gondolat kísérlet eredménye is érthetővé válik. (A számadatok ellenőrzését ismét az olvasóra bízom.)

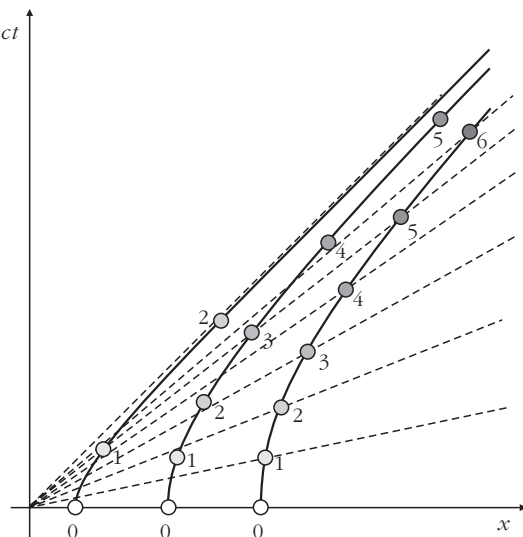
Első hallásra nagyon meglepő, hogy egyáltalán *létezik* ilyenfajta felső korlát egy objektum nyugalmi hosszára. Megnyugtatósul még egy érv: ha nem létezne ez a felső korlát, akkor az alábbi, úgynevezett Warnick-paradoxonra [2] jutnánk:

Warnick-paradoxon: egy L hosszúságú űrhajó nyugalmából mozgásba lendül. Az űrhajó orra állandó gyorsulással – x_o távolságon, t_o idő alatt – akkora sebességre gyorsul, hogy az űrhajó mozgási hossza a Lorentz-kontrakció révén – mondjuk – éppen felére csökken. A laboratóriumi rendszerből mérve az űrhajó *hátsúljának* tehát összesen $x_o + L/2$ távolságot kellett megtennie t_o idő alatt. Az űrhajó végének

$$\langle v \rangle = \frac{x_o + \frac{L}{2}}{t_o}$$

átlagsebessége – mivel az űrhajó L hosszát nem korlátozza semmi – *tetszőlegesen nagy lehet*, például a fénysebességet is meghaladhatja. (Ez – mint ismert – súlyos logikai ellentmondásokhoz vezetne, például

12. ábra. Állandó nyugalmi hosszú rúd három pontjának világvonala.



ilyen űrhajók hátsúlján ülve időutazást tehetnénk a múltba, és meggátolhatnánk saját születésünket.)

A Warnick-paradoxon megoldása a fentiek szerint világos: az űrhajó hosszára igenis *létezik* felső korlát, L *nem lehet* tetszőlegesen nagy. (Természetesen azt semmi sem gátolja meg, hogy az űrhajót a gyárban tetszőlegesen hosszúra építsék; arról van csak szó, hogy nem érdemes bizonyos űrhajóhossznál nagyobb építeni, mert a hátsúlján nem fogja tudni követni az elejét – nem technológiai, hanem téridő-geometriai okokból! – és az űrhajó szétszakad.)

Nem egyenletes öregedés – a 3. gondolat kísérlet magyarázata

Az állandó saját hosszúságú cérna bal oldali és jobb oldali vége eltérő alakú világvonalat követ (9. ábra), és ez azt sejteti, hogy a cérna két vége *eltérő ütemben öregedik*. Az alábbi részletes számolás megerősíti ezt a sejtést.

Mint láttuk, egy a' sajátgyorsulással mozgó tömegvilágvonala az

$$\frac{x^2}{\left(\frac{c^2}{a'}\right)^2} - \frac{c^2 t^2}{\left(\frac{c^2}{a'}\right)^2} = 1 \quad (16)$$

hiperbola. A sík téridő jól ismert

$$d\tau^2 = dt^2 - \frac{dx^2}{c^2} \quad (17)$$

metrikus egyenlete ugyanakkor általánosan megadja, hogy két esemény között – amelyek (Minkowski-koordinátákban kifejezve) kis dt időbeli és dx térbeli távolságra történnek – mekkora $d\tau$ sajátidő telik el, azaz mekkora időtartamot mér a két esemény között egy olyan megfigyelő, aki mindkét eseménynél jelen volt.

A (16) és (17) egyenletekből könnyen levezethető a t koordinátaidő és az x térbeli koordináta τ sajátidőtől való függése a (16) világvonala mentén:

$$t = \frac{c}{a'} \sinh\left(\frac{a'}{c} \tau\right), \quad (18)$$

$$x = \frac{c^2}{a'} \cosh\left(\frac{a'}{c} \tau\right). \quad (19)$$

A 12. ábra egy rúd három pontjának – például a cikk elején szerepelt 3. gondolat kísérletben a fényévruddal szállító űrhajók közül háromnak – világvonala ábrázolja, miközben a rúd nyugalmi hossza állandó marad. A világvonalakon a (18) és (19) összefüggéseknek megfelelően jelöltem be, és számoztam meg az egyes űrhajósok karóráján mutatott egyenlő időközöket. Az ábrán az egyes pontok szürkeárnyalatai az adott fényévruddarabka aktuális színét is jelzik – mindegyik azo-

nos (sajátidő-)ütemben változik fehérről feketére. A 12. ábrából érthetővé válik a 3. gondolat kísérlet eredménye. Az űrhajósok öregedése „balról jobbra gyorsul”: az űrhajók egy adott pillanatnyi nyugalmi inerciarendszerében mindig a bal oldali űrhajós órája mutatja a legkevésbé (ő a legfiatalabb, a hozzá közel eső rúddal a legvilágosabb), és a jobb oldali űrhajós órája mutatja a legtöbbet (ő a legidősebb, a hozzá közel eső rúddal a legsötétebb).

Közeledés? Távolodás?

A 8. ábra három lehetséges mozgást is felvázol a bal oldali cérnavég számára. Mindhárom felvázolt mozgás álló helyzetből indul – csakúgy, mint a jobb oldali cérnavégé –, de gyorsulásuk eltérő. Kérdés: *közeledik-e* a bal oldali cérnavég a jobb oldalához, ha a b^{**} világvonalat követi?

A végig nyugvó, laboratóriumi inerciarendszer megfigyelője számára – az σ nézőpontját mutatja a 8. ábra – úgy tűnik, a b^{**} és j cérnavégek egyértelműen *közelednek* egymáshoz. Ezt – amellet, hogy „az ábrából látszik” – két, *mérésen alapuló* érvel is alá tudja támasztani:

1. Ahogy a t idő telik, a cérnavégek közötti távolság (az ábrán a két görbe között vízszintesen mért távolság) t függvényében *monoton csökken*.

2. A bal oldali cérnavég minden t időpillanatban *gyorsabban* mozog a jobb oldali vég felé, mint amilyen sebességgel a jobb oldali vég távolodik tőle, világosnak tűnik tehát, hogy *egymás felé közelednek*.

Láttuk ugyanakkor, hogy a cérna *sajátbőssza* akkor változatlan, ha a végek a b és j világvonalakat követik. Kicsit körülményesebb megfogalmazásban: a jobb oldali cérnavég mindig a pillanatnyi nyugvó inerciarendszereiben méri magától a bal oldali cérnavég távolságát, és ezek a távolságmérések akkor szolgáltatnak állandó értéket, ha a bal oldali vég a b világvonalon halad. Ha a bal oldali vég ehelyett a lomhább b^{**} világvonalat követi, akkor a cérnavégek távolsága a jobb oldali vég τ sajátidejének függvényében *monoton nő*, azaz a cérnavégek egyre *távolodnak*.

Hogyan lehetséges, hogy két tömegpont *folymatosan közeledik* is egymáshoz, meg *folymatosan távolodik* is egymástól (nézőponttól függően)? Lehet-e mindkét állítás helyes? Esetleg tudjuk-e úgy *definiálni* a közeledés/távolodás fogalmát, hogy megszűnjön ez az értelmezésbeli kettősség?

Vannak ehhez hasonló jelenségek a relativitáselméletben, ilyen például két esemény sorrendje. Ha az események elég messze vannak egymástól térben, és elég közel időben (azaz, ha úgynevezett térszerű intervallum választja el őket), akkor sorrendjük nem invariáns; előfordul, hogy különböző inerciarendszerek eltérő választ adnak a két esemény sorrendjét firtató kérdésre.

Legitim megoldás, ha a közeledés/távolodás fogalmát is a relativitáselmélet *nem invariáns* fogalmai közé soroljuk. Nem kell azonban feltétlenül elsiet-

nünk ezt a következtetést, legalábbis abban az egyszerű esetben – mint amilyenek a fentiek is – amikor a közeledés/távolodás „monoton” (például egyik mozgás sem oszcilláló).

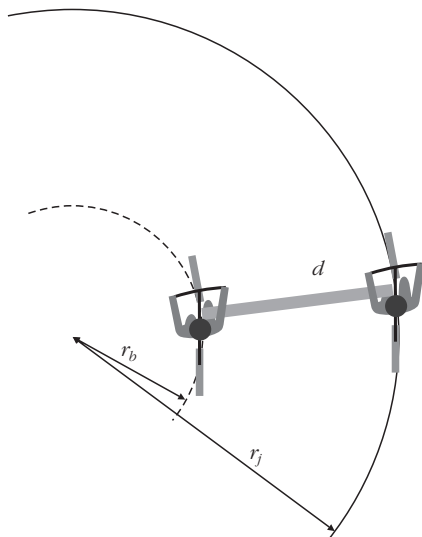
Először is: *van*, ami a közeledéssel/távolodással kapcsolatban abszolút értelemben eldönthető. Ha például a két tömegpont mozgását ábrázoló világvonalak *metszik egymást* (vagyis a tömegpontok összeütköznek), akkor *nem lehet igaza* annak, aki azt állítja, hogy a tömegpontok folyamatosan távolodnak egymástól. A 8. ábra ugyan nem ilyen esetet mutat (ott a b^{**} és j világvonalak nem metszik egymást, csak – a nyugvó inerciarendszer szerint – aszimptotikusan tartanak egymáshoz), de ott is van egy segítségünk: maga a cérna. A két tömegpontot ugyanis mindig összeköthetjük – legalább képzeletben – egy olyan cérnával (vagy rúddal), amelynek hosszát úgy választjuk meg, hogy a kezdő időpillanatban – amikor mind a két tömegpont állt a nyugvó inerciarendszerben – éppen megfeszüljön (rúd esetén se nyomó-, se húzófeszültség ne ébredjen benne). Ezek után a közeledést, illetve távolodást így *definiálhatjuk*: a két tömegpont *közeledik* egymáshoz, ha a cérna *meglazul* (ha a rúdban nyomó feszültség ébred), és *távolodik*, ha a cérna megfeszül, majd *elszakad* (ha a rúd megfeszül, majd széttörik). E definíció előnye, hogy nem igényel globális nézőpontot; nem kell, hogy a két távoli tömegpont mozgását egyszerre nyomon kövessük (hiszen az eredeti bonyodalom éppen az „egyszerre” szó abszolút módon értelmezhetetlen jellegéből származott), hanem csak lokális megfigyelésre van szükség: a cérna/rúd egy darabkájának a viselkedését kell megfigyelni. Ilyen módon a közeledés/távolodás fogalma valóban *invariánssá* válik: abban nincsen vita a különböző megfigyelők között, hogy a cérna elszakadt-e vagy sem. A fenti definíciót használva a 8. ábra nyugvó megfigyelője is kénytelen azt a következtetést levonni, hogy a b^{**} és a j világvonalakon haladó tömegpontok *távolodnak* egymástól, hiszen a két tömegpontot összekötő cérna viselkedéséből *sámára* is ez következik.

Analógia az euklideszi geometriából

Sokszor segít a relativitáselmélet meglepő jelenségeinek megértésében, ha intuíciónk számára sokkal ismerősebb terepre vonulunk, és megpróbáljuk megkezesni a jelenség analógiáját az *euklideszi síkon*.

A nyugalmi hossz és a sajátgyorsulás fent levezetett – és szemléletünk számára meglepő – elvi korlátjára a következő euklideszi analógia kínálkozik:

Sík terepen egy kerékpár r_j sugarú ($G_j = 1/r_j$ görbületű) körpályán gurul. A kerékpár pályáját a 13. ábra szemlélteti. A kerékpáros a pályára *merőlegesen* balra kinyújt egy d hosszúságú rudat. Egy másik kerékpáros feladata az, hogy úgy tartsa a rúd másik végét, hogy a rúd orientációja mindig az első kerékpáros pályájára merőlegesen maradjon. Az is követelmény, hogy a két kerékpáros azonos irányba nézzen.



13. ábra. A körpályán mozgó kerékpárosok.

1. Legfeljebb mekkora lehet a rúd d hossza, ha adott az első kerékpár pályájának G_1 görbülete?
2. Legfeljebb mekkora lehet a G_2 görbület, ha adott a rúd d hossza?
3. Az első kerékpár adott hosszúságú körívet fut be. A második kerékpár pályája ezzel megegyező hosszúságú lesz-e?

Válaszok:

1. A 13. ábrán látszik, hogy a rúd hossza kisebb kell legyen a $d_{\max} = r_j = 1/G_1$ felső korlátnál. Ha d elérné ezt a korlátot, akkor a második kerékpár végtelen kicsi sugarú (végtelen nagy görbületű) körön lenne kénytelen megfordulni.

2. Ugyanezen okok miatt, adott d hosszúságú rúd mellett r_j nagyobb kell legyen d -nél, azaz a görbület kisebb kell legyen $G_{\max} = 1/d$ -nél.

3. Nem, a második kerékpár pályája rövidebb az elsőénél (lásd a 13. ábrát).

Ismételjük el a fenti mondatok megfelelőit a cikkben tárgyalt relativisztikus jelenség leírására:

Sík téridőben egy űrhajó a_j sajátgyorsulással jobbra indul. Az űrhajóhoz rögzítjük egy d hosszúságú rúd jobb oldali végét. (A rúd hosszát az űrhajós, aki pillanatnyi nyugalmi inerciarendszerének időtengelye men-

tén mozog, ezen inerciarendszer x tengelye mentén, az időtengelyre „merőlegesen” méri.) Egy másik űrhajónak az a feladata, hogy tartsa a rúd bal oldali végét, de közben a rúdban se húzó-, se nyomófeszültség ne ébredjen. A két űrhajó természetesen a téridőnek „azonos irányába néz” – a múltból a jövő felé.

1. Legfeljebb mekkora lehet a rúd d hossza, ha adott a jobb oldali űrhajó a_j sajátgyorsulása?

2. Legfeljebb mekkora lehet az a_j sajátgyorsulás, ha adott a rúd d hossza?

3. A jobb oldali űrhajós órája adott eltelt időtartamot regisztrál. A bal oldali űrhajós órája ezzel megegyező időtartamot regisztrál-e?

Válaszok:

1. A cikk (15)-ös összefüggése alapján a rúd hossza kisebb kell legyen a $d_{\max} = c^2/a_j$ felső korlátnál. Ha d elérné ezt a korlátot, akkor a bal oldali űrhajó végtelen sajátgyorsulással sem tudná megakadályozni, hogy a rúdban húzófeszültség ébredjen.

2. A (13) összefüggés szerint adott d hosszúságú rúd mellett a sajátgyorsulás kisebb kell legyen $a_{\max} = c^2/d$ -nél.

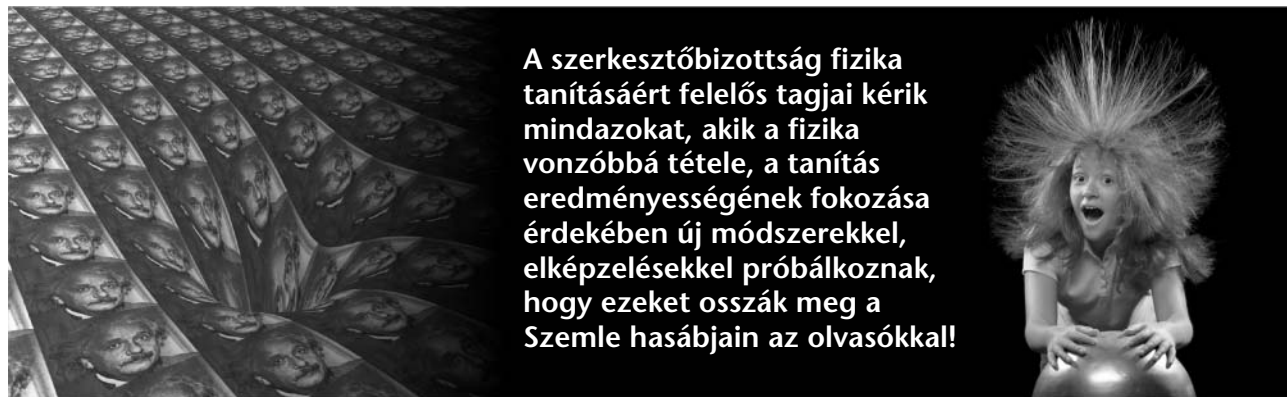
3. Nem, a két űrhajós eltérő időtartamokat érzékel (lásd a 12. ábrát és a hozzá tartozó szöveget).

Záró megjegyzés

A 2. gondolkísérlet tárgyalásakor, valamint magában a Dewan–Beran gondolkísérletben – a szerzőkhöz hasonlóan – hallgatólagosan figyelmen kívül hagytam a cérna vagy rúd *belső állapotváltozásait* (például a gyorsulási szakaszok alatt történő rugalmas vagy rugalmatlan alakváltozásokat, a mechanikai hullámok kialakulását stb.). Csak ezen egyszerűsítő és erősen idealizáló feltevés elfogadásával állíthatjuk, hogy a bal oldali vég és a jobb oldali vég egymáshoz képesti nyugalmi helyzete egyben a *nyugalmi hossz* változatlanosságát is jelenti, hiszen egy tárgy nyugalmi hossza függ a tárgy belső állapotától.

Irodalom

2. E. F. Taylor, A. P. French: Limitation on proper length in special relativity. *Am. J. Phys.* 51 (1983) 889.



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

KÁROLYHÁZY-FELADATOK AZ EÖTVÖS-VERSENYEN

II. RÉSZ – TERMODINAMIKA

Volt olyan időszak, amikor *Károlyházy Frigyes* évről évre a fizikának ugyanarról a területéről adott feladatokat az Eötvös-versenyre. Ez egyáltalán nem azt jelenti, hogy a feladatok ravaszul ismétlődtek, még csak azt sem, hogy megfogalmazásukban hasonlítottak egymásra. Belső, mély rokonság volt köztük: a fizikának ugyanabból az ágából nőttek ki. Megoldásukhoz mégsem volt elég ezen ág ismerete, olykor le kellett nyúlni a gyökerekig is. Jó példa erre a termodinamika, ami már eleve a klasszikus fizikát széleskörűen átható tudomány. (Nem lehet véletlen, hogy a világ legsikeresebb fizikus tankönyvszerzői, mint például az amerikai *Sears, Zemansky, Callen*, a német *Becker*, a japán *Kubo*, vagy az orosz *Kikoin*, mind írtak termodinamika tankönyveket.) A Károlyházy-féle termodinamika-feladatok megoldásához azonban sohasem volt elég a magasröptű elvi gondolkodás, hanem a konkrét problémákban kellett felfedezni a fizikai jelenségeket, és azokra alkalmazni a fizikai törvényeket.

Az alábbi feladat egyszerre volt mechanikai és termodinamikai.

Egy henger alakú, zárt tartály fekvő helyzetben egyenletesen forog (vízszintes) hossz tengelye körül, 0,5/s fordulatszámmal. A tartály 100 kg homokot tartalmaz, belső átmérője és hossza egyaránt 1 m, fala érdes.

Becsüljük meg, mennyivel növekszik a homok hőmérséklete 10 perc alatt, ha a falon keresztül elszökő hőmennyiséget elhanyagoljuk!

Megoldás. Ha a henger elég lassan forog (a feladatban 2 másodperc alatt fordul körbe, s ez elég lassúnak tekinthető), akkor a homok a hengerben valamennyire „felmászik” a forgás irányának megfelelő oldalon, és közelítőleg egy hengerszelet térfogatát tölti ki.

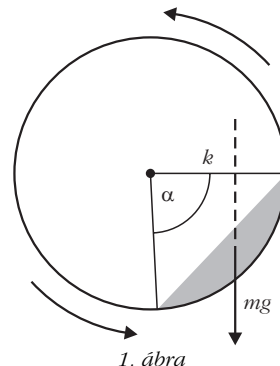
A hőmérséklet változását a homok tömege, fajhője és a rajta végzett súrlódási munka ismeretében tudnánk meghatározni:

$$\Delta T = \frac{W_{\text{súrl}}}{c m}.$$

A homok tömege adott ($m = 100 \text{ kg}$), fajhőjét táblázatból (a hozzá hasonló anyagok, például a kvarcüveg vagy a porcelán adatainak felhasználásával) $700\text{--}800 \text{ J}/(\text{kg}^\circ\text{C})$ közötti értékre becsülhetjük.

A homok mozgásának részletes leírása (és ennek ismeretében a súrlódási munka kiszámítása) reménytelenül bonyolult feladat lenne. Szerencsére erre nincs szükség! Elegendő azt észrevenni, hogy az egyenletesen forgatott hengerben a homok előbb-utóbb állan-

dósult (stacionárius) állapotba kerül. A homok egyes darabkái mozognak (áramlanak) ugyan, de a homok egésze olyan alakot vesz fel, amelynek határa időben nem változik. Emiatt a homok tömegközéppontja mindig ugyanott, a henger forgástengelyétől vízszintes irányban valamekkora k távolságra helyezkedik el (1. ábra).



1. ábra

A homok belső energiájának növekedése (azaz a súrlódási erők munkája) nyilván megegyezik a henger egyenletes forgatása során végzett munkával, ez utóbbi pedig a hengerre kifejtendő mgk forgatónyomaték és a henger $\Delta\varphi$ szögelfordulása szorzatával egyenlő:

$$W_{\text{súrl}} = m g k \Delta\varphi.$$

A tíz perc alatti szögelfordulás:

$$\begin{aligned} \Delta\varphi &= \omega \Delta t = 2\pi n \Delta t = \\ &= 2\pi 0,5 \text{ s}^{-1} 600 \text{ s} = 1885 \text{ rad.} \end{aligned}$$

A nehézségi erő:

$$m g = 100 \text{ kg } 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 981 \text{ N.}$$

Hátra van még a nehézségi erő k karjának kiszámítása. Becsüljük meg először a tömegközéppont és a forgástengely r_{tkp} távolságát! Felhasználjuk, hogy egy α nyílásszögű hengerszelet térfogata

$$V = \frac{1}{2} b r^2 (\alpha - \sin\alpha).$$

Jelen esetben $b = 10 \text{ dm}$, $r = 5 \text{ dm}$, így

$$V = \frac{m}{\rho} \approx 60\text{--}65 \text{ dm}^3.$$

(A homok sűrűsége nyilván a homok minőségétől, nedvességtartalmától, összetételétől stb. is függ, de mindenképpen kisebb, mint a tömör kvarc táblázatban megtalálható $2,65 \text{ kg}/\text{dm}^3$ -es sűrűsége.) Ezekből az adatokból és becslésekből $\alpha \approx 90^\circ$, illetve $r_{\text{tkp}} \approx 4 \text{ dm}$ adódik.

Vajon hogyan helyezkedik el a homokkal kitöltött hengerszelet síkja a henger tengelyén átmenő függőleges síkhoz képest? Mindennapi tapasztalatból (ho-

mokozó, homokóra) tudjuk, hogy a (száraz) homokból körülbelül 45°-os „rézsűszög” alakítható ki, ezért jogosan tekinthetjük úgy, hogy a jelen esetben is az állandósult mozgású homokgörgeteg legfelső pontja a henger tengelyével körülbelül azonos magasságba kerül, és emiatt a keresett erőkar

$$k \approx r_{\text{tep}} \sin 45^\circ \approx 2,8 \text{ dm},$$

a súrlódási munkára pedig mintegy 520 kJ-t kapunk. Ezt felhasználva és a homok fajhőjét 800 J/(kg°C)-nak véve kapjuk:

$$\Delta T \approx 6,5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Mivel a homok sűrűsége és fajhője is mintegy 10%-ra határozatlan mennyiség, a homok dinamikus rézsűszöge is rejt ekkora bizonytalanságot, helyesnek tekinthetünk minden olyan becslést, amely mintegy 20%-kal tér el ΔT fenti értékétől, vagyis 5 és 8 °C közé esik.

Megjegyzések. 1. A feladat megoldása során összesen 57 versenyző jutott el odáig, hogy konkrét numerikus becslést tudott adni a hőmérséklet emelkedésére. Ezek a becslések széles határok között változtak, a legkisebb 0,0009 °C volt, a legnagyobb 44,65 °C. $\Delta T = 5\text{-}8 \text{ }^\circ\text{C}$ -os intervallumba eső értéket összesen 10 versenyző kapott, tehát ennyien oldották meg elfogadhatóan a feladatot.

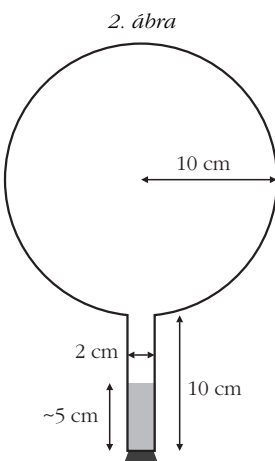
2. Érdekes a feladatban leírt jelenséget kísérletileg is tanulmányozni. (A fényképen látható berendezést, amely a feladatban szereplő összeállítás kicsinyített mása, a verseny eredményhirdetésén láthattuk.) Gyorsabb forgás esetén nagyon sok érdekes részlet figyelhető meg a homokszemek „kollektív mozgásában”. Ezek vizsgálata ma is aktuális kutatási feladat a fizikusok számára.



A következő feladatban a diákok számára ismerős eszközökkel valósul meg egy érdekes jelenség. Ki ne tudná, milyen az a gömb-lombik? Forgatógép is van a legtöbb iskola fizikai szertárában.

Zárt lombikban egy kevés víz van. A lombik száját lefelé fordítva a víz körülbelül 5 cm magasan áll a lombik nyakában. (A belső méreteket a 2. ábra mutatja.)

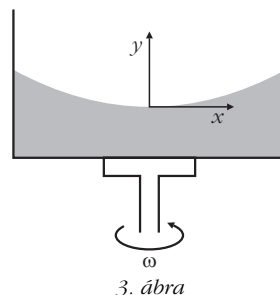
Ezután a lombikot függőleges tengelye körül egyenletes forgásba hozzuk úgy, hogy másodpercenként bármit forduljon. Gondosko-



dunk róla, hogy a lombik falának hőmérséklete mindenütt ugyanakkora legyen. Kellően hosszú idő után egyensúly áll be.

Rajzoljuk fel vázlatosan, hogyan helyezkedik el ekkor a víz a lombikban!

Megoldás. A feladat első ránézésre mechanikai problémának látszik. Ki fog derülni, hogy legalább ennyire termodinamikai feladat is; az egyensúly, ami „kellően hosszú idő után” beáll, termodinamikai egyensúly lesz. A példa termodinamikai jellegére utal a lombik falának hőmérsékletéről szóló mondat is.



Az egyenletes forgásba hozott folyadék felszíne a földi homogén nehézségi erőterben forgásparaboloid. Ennek síkmetszetét mutatja a 3. ábra. A „megforgatott parabola” egyenlete az ábrán felvett koordinátarendszerben.

$$y = \frac{\omega^2}{2g} x^2.$$

Megjegyzések. 1. A fenti összefüggést annak alapján határozhatjuk meg, hogy a folyadék az ω szögsebességgel forgó koordinátarendszerben egyensúlyban van; felülete a ráható erők eredőjére merőleges. Így az érintő iránytangense

$$\frac{\Delta y}{\Delta z} \rightarrow \frac{m x \omega^2}{m g} = \frac{x \omega^2}{g},$$

amiből [minthogy $y(0) = 0$] a megadott formula következik.

2. Úgy is megkaphatjuk a felület egyenletét, hogy felismerjük: egy m tömegű folyadékdarabkára ható centrifugális erő kifejezése hasonló a Hooke-törvényben szereplő rugóerő képletéhez, de a „rugóállandó” negatív, $D = -m\omega^2$. Ennek megfelelően a „centrifugális potenciális energia” $-m\omega^2 x^2/2$, amihez hozzáadva a gravitációs helyzeti energiát, a teljes potenciális energiára

$$E_{\text{pot}} = -\frac{m \omega^2 x^2}{2} + m g y$$

adódik. A folyadék szabad felszínén a teljes potenciális energia mindenhol ugyanakkora kell legyen, ami a megadott parabola egyenletéhez vezet.

3. Az összefüggés levezetését a feladat nem kívánta meg. Mivel az Eötvös-versenyen bármilyen könnyv használható a megoldáshoz, egyszerűen ki lehetett írni a megfelelő képletet például Budó: *Kísérleti fizika* I. kötetének megfelelő fejezetéből.

Megvizsgálva a feladat konkrét adatait könnyen belátható, hogy a forgó folyadék felülete felveszi a forgásparaboloid alakot anélkül, hogy a folyadék széle a lombik nyakában egészen a gömbig felemelked-

ne. Felmerülhet azonban egy kérdés – és ez volt a kulcs a feladat helyes megoldásához –, hogy ha gondolatban meghosszabítanánk ezt a forgásparaboloidot egészen a gömbig, vajon nem „vágna-e bele” a gömbbe? Mert ha igen, akkor ott a gömbben, a forgásparaboloid alatt is lehetne víz!

Vegyünk ismét egy, a forgástengelyen átmenő síkmetszetet! Határozzuk meg azon parabola legmélyebb pontját, amely érinti a gömblombik síkmetszeteként adódó kört! Legyen ez a pont b -val mélyebben, mint a kör középpontja, ekkor a parabola egyenlete (a kör középhez választva a koordinátarendszer kezdőpontját)

$$y + b = \frac{\omega^2}{2g} x^2,$$

a kör egyenlete pedig $x^2 + y^2 = R^2$. Ebből x^2 -et kifejezve és a parabola egyenletébe helyettesítve, a kör és a parabola közös pontjainak y koordinátáira a következő másodfokú egyenletet kapjuk:

$$y^2 + \frac{2g}{\omega^2} y + \frac{2gb}{\omega^2} - R^2 = 0.$$

Amikor a parabola érinti a kört (4. ábra), a fenti egyenletnek csak 1 gyöke lehet, tehát a diszkrimináns zérus kell legyen, és éppen ez ad feltételt a b magasságra:

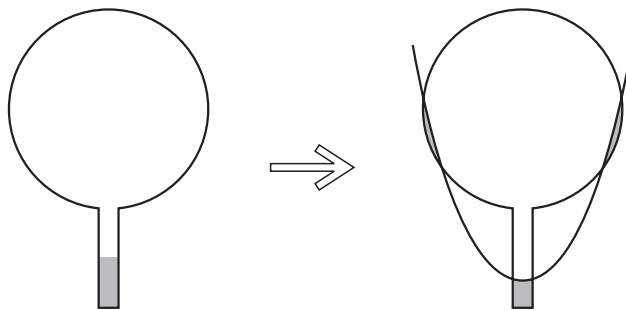
$$b = \frac{g}{2\omega^2} + \frac{\omega^2}{2g} R^2.$$

Behelyettesítve a $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, $\omega = 2\pi 3 \text{ s}^{-1}$, $R = 0,1 \text{ m}$ adatokat, b -ra $0,195 \text{ m} =$

$19,5 \text{ cm}$ adódik. A gömb sugara 10 cm , a nyak hossza ugyancsak 10 cm , együtt ez több, mint $19,5 \text{ cm}$.

A gömböt érintő paraboloid tehát a felfelé fordított lombik nyakának legelső pontjánál fél centiméterrel feljebb halad! A feladat megoldásához tartozó paraboloid persze ennél az érintő paraboloidnál is valamivel feljebb halad, mégpedig úgy, hogy a gömblombik nyakában a paraboloid alatt maradó víz éppen annyi, kevesebb az eredetileg ott volt víznél, amennyi a gömbben, egy körbefutó keskeny sávban a paraboloid alá került.

De hogyan került oda a víz? Voltak versenyzők, akik arra tippeltek, hogy a gömblombik felpörgetésekor talán odafreccsenhetett a víz. Ez a feltevés nincs híjával az iskolai szertárakban található forgatógépekkel szerzett érdekes tapasztalatoknak. Mégsem ez a probléma megoldása, hanem az, hogy a lombikban a cső nyakánál elpárolgó vízgőz egy része csapódik ki – megfelelő helyen – a lombik falára. E termodinamikai folyamat hajtóereje pedig éppen az az ici-pici nyomáskülönbség, ami a lombikban fellép a nehézségi



5. ábra

erő és a forgás együttes hatása miatt. Egy-egy forgásparaboloid mentén a víz a forgó koordinátarendszerből nézve egyensúlyban van, hiszen éppen ez a feltétel határozza meg a felület alakját. Különböző forgásparaboloidokat összehasonlítva viszont a magasabban elhelyezkedő felület mentén nagyobb egy bizonyos vízmennyiség energiája, mint az alacsonyabban levő felületnél. Egyensúlyi állapotban a víz felszíne ugyanazon paraboloidon kell elhelyezkedjen a lombik nyakában és a gömbben is, ha nem így lenne, a párolgás és lecsapódás folyamata „megkeresné” az alacsonyabb összenergiájú állapotot.

Végeredményben tehát az 5. ábrán látható vázlatos rajz (helyes indoklással) a feladat megoldása.

Megjegyzések. 1. A paraboloid helyzetének pontos meghatározása nem volt feladat – középiskolai matematikával ez nehéz is lett volna.

2. Az egyik versenyző eljutott annak felismeréséhez, hogy lehet víz a lombik falán, de nem hitte el, hogy ez meg is valósulhat. „Ugyanúgy nem – írta –, mint ahogy egy, az asztalon álló pohár vízből sem mászik ki a víz az asztalra, hiába lenne ott kisebb az energiája.” Nos, az érdekes az, hogy a víz onnan is kimászhat, még a tökéletes hőmérsékleti egyensúly esetén is, éppen a meglévő piciny barometrikus nyomáskülönbség miatt, ami a pohárban levő víz felszíne és az asztal (vagy még inkább a padló) szintje között fennáll. Letakarva egy üvegharanggal az asztalon álló pohár vizet, el is végezhető a kísérlet. Csak kissé soká kell várni! (Üvegharang nélkül is „kimászik” a víz a pohárból, de a szoba nagy légtére miatt sehol sem csapódik le, hanem telítetlen gőz formájában a levegőben marad.)

A következő két Károlyházy-feladat öt év eltéréssel szerepelt az Eötvös-versenyen: az első 2006-ban, a második 2011-ben. Ránézésre a két kiinduló szituáció meglehetősen hasonlít egymásra. Látni fogjuk azonban, hogy a két probléma mégsem ugyanaz, amit az is bizonyít, hogy a 2011-es feladat megoldói közül senki se hivatkozott az öt évvel azelőtti feladat megoldására. Lássuk először a 2006-ban feladott problémát.

Fizika szakkörön egy példatárból az alábbi feladat kerül elő: „Egy függőlegesen álló, henger alakú edényt körülbelül fele magasságáig megtöltünk vízzel, majd lezárjuk. Az alap- és fedőlap jó hővezető, a henger oldalfala hőszigetelő. Az alaplapot $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ -ra

bűtjük, a fedőlapot 110 °C-ra melegítjük, s a továbbiakban ezen a hőmérsékleten tartjuk. Hosszú idő elteltével hogyan oszlanak meg magasság szerint a különböző halmazállapotok az edényben?”

A nebulók különböző könyvekben kutakodnak. Tóni szerint a jég úszik a vízben, a folyékony víznek tebát alul kell lennie. Réka szerint középen kell lennie a víznek, hiszen forró gőzzel érintkezik. Bea, miközben adatokat keres, felfedezi, hogy a gázok hővezető-képessége néhány táblázatban – feltehetően elírás folytán – nagyobbak van feltüntetve a víz vagy a jég hővezető képességénél, más táblázatok és könyvek szerint azonban a gázok hővezető képessége sokszorososan kisebb. (Bea szerint is így logikus.)

Segítsünk nekik megtalálni a helyes választ a feladat kérdésére!

Megoldás: A hővezetésre felírható legegyszerűbb összefüggés (ebben a különböző könyvek és táblázatok egyetértene) a következő:

$$\Phi = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = -\lambda A \frac{\Delta T}{\Delta x}.$$

Itt Φ jelenti a hőáramot, vagyis az A keresztmetszeten a T hőmérséklet növekedésének irányában másodpercenként áthaladó rendezetlen energiát. Minthogy ez az energia mindig a magasabb hőmérsékletű helyről halad az alacsonyabb hőmérsékletű hely felé, ezért negatív az arányossági tényező. A fenti összefüggéssel definiált pozitív λ mennyiséget nevezik hővezetési együtthatónak, ennek mértékegysége SI-rendszerben $\text{J m}^{-1} \text{K}^{-1} \text{s}^{-1}$.

A hővezetési együttható jellemzi a hővezető képességet, ez az, ami néhány táblázatban – feltehetően elírás folytán – hibásan szerepel. A helyes értékek (lásd például a Nemzeti Tankönyvkiadó *Négyjegyű függvénytáblázatok, összefüggések és adatok* 2005-ös 2., javított kiadásának 216., 214. és 212. oldalát) a következők:

$$\text{vízgőzre (18 °C-on)} \quad \lambda_g = 18,0 \cdot 10^{-3} \frac{\text{J}}{\text{m k s}},$$

$$\text{levegőre (18 °C-on)} \quad \lambda_l = 24,2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{J}}{\text{m k s}},$$

$$\text{vízre (18 °C-on)} \quad \lambda_v = 587 \cdot 10^{-3} \frac{\text{J}}{\text{m k s}},$$

$$\text{jégre (0 °C-on)} \quad \lambda_j = 2200 \cdot 10^{-3} \frac{\text{J}}{\text{m k s}}.$$

A jobb összehasonlíthatóság kedvéért emeltük ki mindegyik adatból a 10^{-3} tényezőt.

Igaz, hogy a hővezetési együtthatók függnek a hőmérséklettől, de nem változnak olyan erősen, hogy elfedjék azt a tényt, amely szerint a gázok hővezető képessége sokkal-sokkal kisebb, mint a folyadékoké, illetve a szilárd anyagoké. A gázoknál csak a vákuum lehet jobb hőszigetelő. (A dupla ablak, vagy a réteges öltözködés előnye éppen a levegő rossz hővezetésén alapul.)

Szemléletesen tehát azt mondhatjuk, hogy a feladatbeli henger felső felében hőszigetelő, alsó felében hővezető réteg helyezkedik el, vagyis a két réteg közös határának hőmérséklete sokkal közelebb van a hővezető réteg alsó hőmérsékletéhez, mint a hőszigetelő réteg felső hőmérsékletéhez. Jelen esetben, a hővezetési tényezők konkrét adatait figyelembe véve -6 °C körüli hőmérséklet alakul ki a két réteg határán.

Van olyan víz, ami alul -10 °C-os, felül -6 °C-os? A víz túlhűthető, az igaz, de a túlhűtött vízben aligha maradhat fenn ilyen hőmérséklet-különbség, mert ez belső áramlást indít, és e túlhűtött víz pillanatok alatt kifagy: ilyen hőmérsékleteken a jég a stabil fázis.

A jég viszont még jobb hővezető, mint a víz, tehát a feladatban kért végállapot a következő: *alul jég, felette levegő és egy kevés vízgőz keveréke, víz pedig egyáltalán nem lesz a hengerben!* A jég és a gáz határán a hőmérséklet -9 °C körül stabilizálódik.

Most lássuk a 2011-ben feladott problémát!

Egy függőlegesen álló, henger alakú, zárt tartály magassága legyen mondjuk 20 cm! Tegyük fel, hogy a tartály falának és belső tartalmának hőmérséklete húzamos ideje $T = 1$ °C! A tartalom pedig egy, a tartály alaplappját borító papírvékonyágú vízréteg és fölötte ennek a telített gőze, más semmi. Az oldalfalat hőszigetelőnek tekinthetjük, az alap- és fedőlap azonban igen jó hővezető vékony fémlemez, amelyeknek a hőmérsékletét kívülről szabályozhatjuk.

A lebetősséggel élve emeljük a fedőlap hőmérsékletét $T_f = 100$ °C-ra, miközben az alaplapp hőmérsékletét $T = 1$ °C-on tartjuk, és gondoskodjunk róla, hogy ezek az értékek elég sokáig így maradjanak! Várjuk meg, amíg az edényben kialakul a víz, illetve a gőz új stacionárius állapota, amely már nem változik tovább!

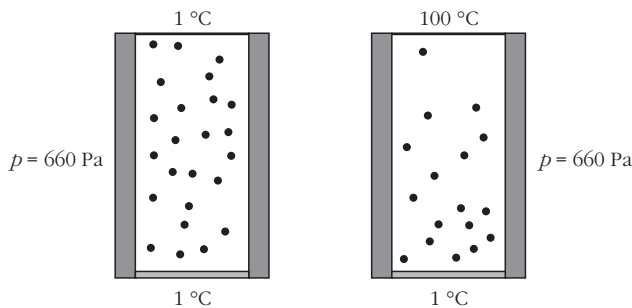
a) A korábbi egyensúlyi állapothoz képest megváltozott-e említésre méltó mértékben a gőzállapotban levő vízmolekulák száma, és ha igen, akkor nőtt vagy csökkent?

b) Vajon mi lenne a válasz, ha a kezdeti állapotban a vízréteg magassága 10 cm lenne?

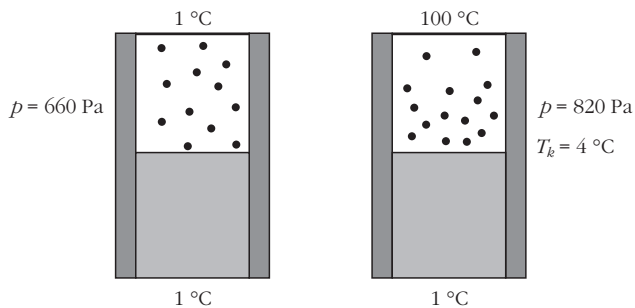
Megoldás: a) Ha egy folyadék saját telített gőzével érintkezik, akkor a gőz nyomása csak közös hőmérsékletüktől függ. Az alul levő 1 °C-os víz felett a gőz nyomása tehát mindkét esetben ugyanannyi. (A táblázatból interpolációval leolvasható ennek aktuális értéke: 660 Pa.)

A gőznyomás az egész edényben ugyanakkora, de abban az esetben, ha a hőmérséklet felfelé emelkedik, a gőz sűrűsége felfelé csökken. (Szintén a táblázatból olvasható ki, hogy az 1 °C-os telített gőz sűrűsége $5,2 \text{ g/m}^3$, amiből egy átlagosan $50,5$ °C-os gőz sűrűségére „ideális gáz közelítésben” $4,4 \text{ g/m}^3$ adódik.)

A gőz új stacionárius (időben állandó) állapotában tehát a gőz átlagos sűrűsége kisebb lett, vagyis a gőzállapotban levő vízmolekulák száma *csökkent* (6. ábra)!



6. ábra



7. ábra

b) Ha a vízréteg magassága kezdetben 10 cm, a víz kitölti az edény felét. Felette azonban ugyanúgy 1 °C hőmérsékletű és 660 Pa nyomású telített gőz van, mint az a) esetben.

Amikor viszont a fedőlap hőmérsékletét 100 °C-ra emeljük, már nem mondhatjuk, hogy az egész víz 1 °C-os marad, ugyanúgy, mint amikor „papírvékony-ságú” volt. Azt se állíthatjuk persze, hogy jelentősen felmelegszik a víz felső rétege, mivel a víz sokkal jobb hővezető, mint a vízgőz. Mennyire melegszik hát fel?

Táblázatból kiolvasható, hogy a vízgőz hővezetési együtthatója

$$\lambda_g = 18 \cdot 10^{-3} \frac{\text{J}}{\text{m K s}},$$

míg a víz hővezetési együtthatója

$$\lambda_v = 587 \cdot 10^{-3} \frac{\text{J}}{\text{m K s}}.$$

Mivel a vízréteg és felette a vízgőz ugyanolyan (10 cm) magas, és a kialakuló hőmérséklet-különbségek fordítva arányosak a hővezetési együtthatókkal, ezért a víz teteje és a vele érintkező vízgőz közös hőmérsékletét T_k -val jelölve felírhatjuk:

$$\frac{T_k - 1 \text{ °C}}{100 \text{ °C} - T_k} = \frac{\lambda_g}{\lambda_v} = \frac{18 \cdot 10^{-3}}{587 \cdot 10^{-3}}.$$

Ennek alapján kapjuk T_k -ra a 4 °C-os értéket, amit már a 7. ábrán is feltüntettünk.

Ezek után a táblázatból extrapolációval kiolvashatjuk a 4 °C-hoz tartozó telítési gőznyomás nagyságát: 820 Pa. Ez is szerepel már az ábrán.

Hasonlóképpen kiolvashatjuk a telített vízgőz sűrűségének értékét 4 °C-on, ez 6,4 g/m³. A nyomás az egész gőztérben 820 Pa lesz, a gőz sűrűsége azonban csak legalul 6,4 g/m³, felfelé egyre kevesebb. Megbecsülhetjük az átlagos sűrűséget, újra csak ideális gáznak tekintve a vízgőzt, amely átlagosan 50,5 °C hőmérsékletű:

$$\rho = \frac{274}{323,5} \cdot 6,4 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} = 5,4 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}.$$

Ez viszont még mindig több, mint az 1 °C-hoz tartozó 5,2 g/m³ érték, vagyis ebben az esetben a gőz állapotban levő vízmolekulák száma *nőtt!*

Kiegészítés. Számításunkban eltekintettünk a víz sűrűségváltozásától, amely persze elhanyagolható a vízgőz sűrűségváltozásához képest. Mégis okozhat egy kis galibát, ha figyelembe vesszük, hogy a 4 °C-os legfelső vízréteg sűrűsége nagyobb, mint az alatta levőké. Ezáltal a víz mechanikailag instabillá válik az edényben, s az egyensúly kis megzavarása is áramlásokat idézhet elő. Ha valamelyik versenyző erre is utalt volna a dolgozatában, a versenybizottság plusz pontokkal jutalmazta volna, de ez senkinek se jutott akkor eszébe. Hasonlóképpen figyelmen kívül hagyta mindenki a 100 °C-os felső lap hőszugárzásának hatását a vízréteg hőmérsékletére, azonban ez a hatás nem is olyan jelentős, hogy módosítaná a végső választ: az a) esetben csökken, a b) esetben nő a vízgőz molekuláinak száma.

Ez a feladat volt az utolsó, amit Károlyházy Frigyes feladott az Eötvös-versenyen. Bizonyára volt a tarsolyában még jó néhány kérdés, de ezeket sose árulta el előre.

Viszont nehogy azt higgye valaki, hogy csak mechanikai meg termodinamikai témából talált ki és adott fel Károlyházy Frigyes izgalmas problémákat, ugyanennyi jó feladatot hozott elektromosságтанból is. Ezekből válogatunk majd a 3. és a 4. részben.

Radnai Gyula

Irodalom

1. Vermes Miklós: *Az Eötvös-versenyek feladatai I. 1959–1988.* Typotex, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1997, 163 o.
2. Radnai Gyula: *Az Eötvös-versenyek feladatai II. 1989–1997.* Typotex, Budapest, 1998, 131 o. <http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/eotvos-versenyek/adatok.html>
3. <http://www.kfki.hu/education/verseny/eotvosverseny/report.html>

Szerkesztőség: 1121 Budapest, Konkoly Thege Miklós út 29–33., 31. épület, II.emelet, 315. szoba, Eötvös Loránd Fizikai Társulat. Telefon/fax: (1) 201-8682

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

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 Stúdió, nyomdai munkálatok: OOK-PRESS Kft., felelős vezető: Szathmáry Attila ügyvezető igazgató.

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

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

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

»FIZIKASHOW«, A FIZIKA NÉPSZERŰSÍTÉSÉNEK ESZKÖZE

Jaloveczki József

Szent László ÁMK, Baja

PhD hallgató, ELTE, Fizika Tanítása Doktori Iskola

„Ha hajót akarsz építeni, ne azzal kezd, hogy a munkásokkal fát gyűjtsz, szó nélkül kiosztod közöttük a szerszámokat és rámutatsz a tervrajzra. Ehelyett először keltsd fel bennük az olthatatlan vágyat a végtelen tenger iránt!”

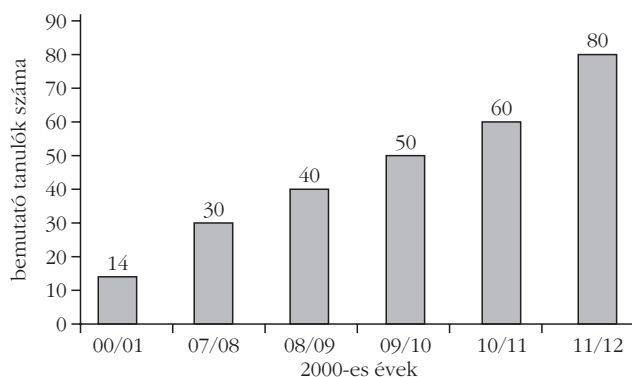
Antoine de Saint-Exupéry

A fizika bemutató gondolata a 2000/2001-es tanévben szakkörön vetődött fel. A Károly Iréneusz Fizikaverseny kísérleti fordulójának mintájára, az ott bemutatott kísérleteinkből iskolai és városi bemutatót szerveztünk néhány egyéb kísérlettel. A rendezvény sikerét jelzi, hogy a látogatók kérték, legyen ilyen a következő évben is. A 2007/2008-as tanév óta minden évben megrendezzük a „show”-t. A 2011-es bemutató az Atommag Centenárium Évének jegyében zajlott 16 kémia kísérlettel kiegészítve a kémia nemzetközi éve alkalmából. A 2012 áprilisában tartott egész napos bemutató több előző rekordot is megdöntött. A legtöbb kísérletező (86) tanuló az eddigi legtöbb kísérletet (120) mutatta be.

Kísérletezők

A fizikaszakkörösök és a Mandelbrot Diákkör tagjai gyűjtik össze a bemutatandó kísérletek nagy részét. Számukra természetes, hogy ők is részt vesznek a bemutatón. A szakkörön az érdeklődő tanulók kis csoportokban a fizika tananyaghoz kapcsolódó kísérleteket, méréseket végeznek. A 10–12. évfolyamos tanulók a diákkörön főleg számítógépes mérésekkel és a jelenségek szimulációjával foglalkoznak. A bemutatón résztvevő kísérletezők elsősorban nyolc évfolyamos gimnáziumi tanulók. Az utóbbi három évben sok négy évfolyamos gimnáziumi és szakközépiskolai tanuló is jelentkezett a kísérletek bemutatására. Számuk évenkénti alakulását az 1. ábra mutatja.

1. ábra. A Fizikashow kísérleteit végző tanulók száma a bajai Szent László ÁMK-ban.



A kísérletek kiosztásakor figyelembe vesszük a diákok életkorát és aktuális fizika tanulmányaikat, érdeklődésüket. Csoportokat alakítunk, általában 2-3 főből, akik 3-5 kísérletet mutatnak be. A délutáni próbákon begyakorolják a kísérleteket és megbeszéljük a meggyarazatokat.

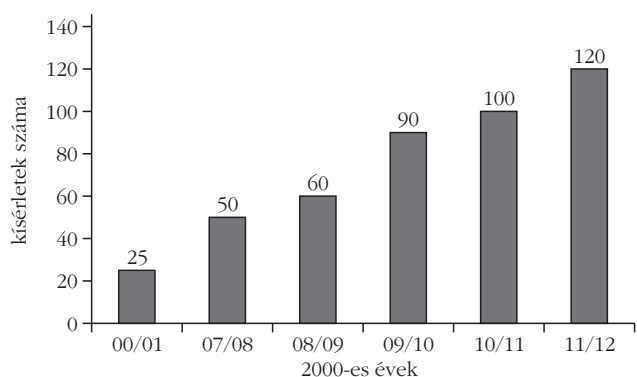
Kísérletek

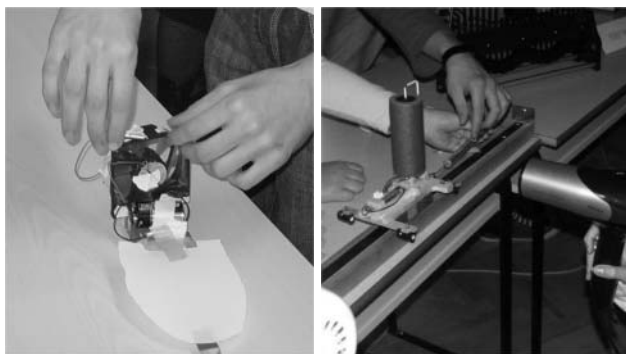
A bemutatásra került kísérletek skálája a jól ismert, hagyományostól a kevésbé ismert, illetve önállóan fejlesztett kísérletekig terjedt. A kísérletek témakörei: mechanika, elektromágnesség, hőtan, fénytán és atomfizika. Az utóbbi két évben ezekhez látványos kémia kísérletek társultak. A kísérletek számának növekedését a 2. ábra mutatja.

A kiválasztás szempontjai: látványosság, kivitelezhetőség, olcsóság, a bemutató tanuló érdeklődése. A kísérletezők általában nagyon megkedvelik és megtanulják az általuk bemutatott kísérleteket, főleg ha saját fejlesztésük, munkájuk kapcsolódik hozzá. Egyik alkalommal a mechanikakészlethez tartozó kiskocsiból egyszerű átalakítással úgynevezett reakciós kocsit készített az egyik diákkörös. Számítógépből kiserelt ventillátort erősített rá a megfelelő teleppel. A bekapcsolt ventillátor a kocsit a levegőárammal ellentétes irányba taszította. Ha merev, kocsin rögzített lapot helyezt a légáram útjába, akkor a kocsit nem mozgalt meg. Ezzel demonstrálta Newton III. törvényét (3. ábra, balra). Egy másik diákkörösünk saját fejlesztésű eszköze a forgóhengeres kiskocsi, működése a Magnus-hatáson alapul (3. ábra, jobbra).

Egy további ilyen saját készítésű, talán kevésbé ismert kísérlet a lebegő ceruza (4. ábra). Egy kemény gumitalpba (megfelel egy régi strandpapucs is, mi ezt használtuk) 5 cm hosszú párhuzamos réseket vágunk éles szerszámmal a végétől 2, 6,5 és 12,5 cm-re. Az első

2. ábra. A Fizikashow-n bemutatott kísérletek számának időbeli alakulása.





3. ábra. A sok kísérletet kitaláló egyik diákkörös tanuló reakciókiskocsija (balra) és egy másik tanuló saját készítésű Magnus-kocsija (jobbra) is érdekes látványosság.

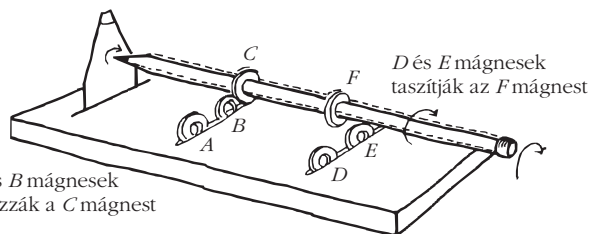
résbe beillesztünk egy kitámasztó műanyagot (mi egy CD nyolcad szektorát használtuk, alsó sarkait megfelelő szögben lemetszve). A második és harmadik részbe 2-2 mágnesgyűrűt helyezünk (3 mm vastag, belső átmérő 7,5 mm, külső 17,5 mm). Két mágnesgyűrűt egy ceruzára erősítünk (ha szükséges szigetelő szalagot ragasztunk a ceruzára). A ceruza hegyét a kitámasztáshoz érintjük. Kis ügyeskedés után a ceruza lebegni fog a mágnesek fölött, hegyével kitámasztva. Célszerű a ceruzára csigavonalban szigetelőcsíkot ragasztani, a végére pedig kis kemény papírlapokat. Így akár egy szívószállal megfújva a lapátokat, forgásba hozható.

A látogatók körében minden évben nagy tetszést aratnak a (mini) Tesla-tekerccsel végzett kísérletek. A működő tekercs környezetében az égők, neon- és kisülési csövek látszólag „áramforrás nélkül” világítanak (5. ábra).

A hőtani kísérletek közül megcsodálják a szomjas kacsát, a hőlégballont, az összeroppanó dobozt, a lombikba szívott tojást, lufit és a lángoló pénzt.

Nagy siker koronázza a légnyomás hatására hangos durranással beszakadó celofánt is. Ehhez persze szükséges egy jó légszivattyú. Az óvodás korosztály és az alsó tagozatosok szeretnek játszani a hatalmas szapanbuborékokkal, lufikkal, de a szívószálból készített sípot is megcsodálják (6. ábra).

5. ábra. Diákkörös tanulóknak Tesla-tekerccse neon- és kisülési csövekkel a show-k egyik színfoltja.



A és B mágnesek vonzzák a C mágnes

D és E mágnesek taszítják az F mágnes



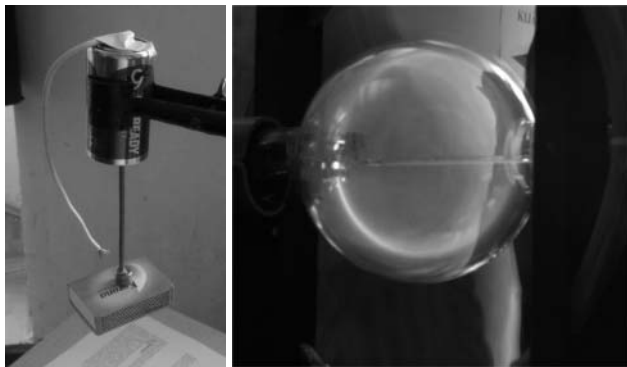
4. ábra. Lebegő ceruza mágnesgyűrűkkel. A terv (fölről), és a megvalósítás (alul).

A kis villanymotorok is a fiatalabb korosztály kedvencei. Egyszerű, úgynevezett homopoláris motorhoz szükség van egy erős mágnesre (neodímium), egy csavarra, egy elemre (például „gőliát”) és vezetékre. A mágnes a csavar fejéhez tapad, míg a csavar hegye az elem negatív pólusához. Ezután egy szigetelésétől megfosztott drótot az elem pozitív pólusához rögzítünk, míg a másik drótvéggel hozzáérünk a mágneshez. Így az áramkör záródik, nagy áram folyik a vezetékben és az erős mágnes a csavarral együtt rendkívül gyors forgásba jön. A forgást még jobban látni, ha a mágnesre gemkapcsot, esetleg gyufásdobozt rögzítünk (7. ábra, balra). Az idősebb tanulók inkább a modern technikához kötődő kísérletek iránt érdeklődnek. Ilyenek például a LED-ek és lézerek felhasználásával végrehajtott fénytani kísérletek, számítógépes ingakísérletek, CD-sütés és plazmakészítés a mikróban. Modern fizikához kapcsolódó kísérlet a mágneses mezővel eltérített elektronok az e/m mérő készülékben (7. ábra, jobbra).

Évről évre visszatérő sikert hoznak a házilag is kivitelezhető, egyszerű, ám ugyanakkor meglehetősen mechanikai egyensúlyi kísérletek. A legegyszerűbb talán az üdítő (vagy sörös-) doboz egyensúlya. Ebbe

6. ábra. A hálás és játékos közönség; iskolánk ovisai minden fizika-show-t megnéznak, csodálnak.





7. ábra. A nagyon egyszerű homopoláris villanymotor (balra) és az elektronok mágneses eltérése az e/m mérő készülékben (jobbra).

előzőleg körülbelül egyharmad magasságig vizet töltünk, majd lassú, óvatos döntéssel körülbelül 45 fokos szögnél megállítjuk a peremén (8. ábra).

A show-elemekre építő bemutatók kísérletei között az utóbbi években helyet kaptak a számítógéppel segített mérések, elemzések kísérletek. Ezek ingamozgásos (fonálinga, csatolt ingák, mágneses inga, fizikai inga) és rezgéseket bemutató (harmonikus rezgés, kényszerrezgések) kísérletek. A számítógépes megjelenítés és mérés alapvetően 2 módszerre épül, ami egy webkamerás mérő szoftverrendszer és egy wiifiz nevű rendszer infraérzékelővel, szoftverrel. Ezek interneten mindenki számára hozzáférhetők.

A 2012-es bemutatón helyet kapott egy saját fejlesztésű eszköz is, amelynek segítségével forgó rendszerben vizsgálhatók a folyamatok és a mozgások (9. ábra). Sokak számára ismert az úgynevezett newtoni viselkedésű folyadék. Ezek viszkozitása változik a folyadékrétegeket elcsúsztató feszültséggel. Készítettünk ilyen folyadékot. Kukoricakeményítő és víz 4:5 tömegarányú keverékét használtuk. Ha lassan nyúlunk bele a folyadékba, akkor az sűrű folyadékként viselkedik. Ha viszont ujjunkkal vagy öklünkkel hirtelen akarunk belecsapni, rugalmas közegként

9. ábra. A diákkörös tanulók saját forgó rendszert fejlesztettek, amelyben webkamerás és wiifiz módszerrel is vizsgálják a mozgásokat, folyamatokat.



8. ábra. Meghökkenítő egyensúlyi helyzetek, középen a ferdén megállított, vizet tartalmazó sörösdobozzal.

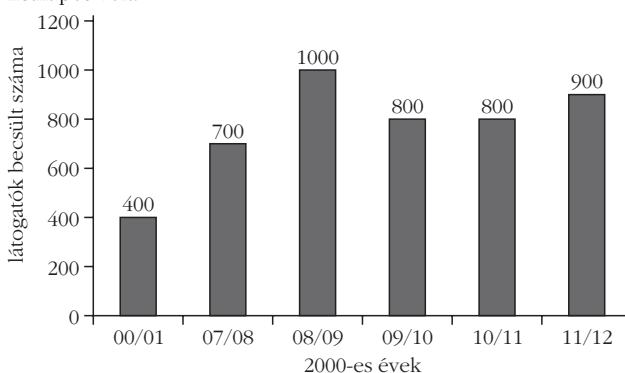
viselkedik. A látogatók élvezettel, hitetlenkedve játszottak vele. Fóliával leterített hangszóró membránjára helyezve érdekes viselkedést mutat bizonyos frekvenciákon. Mintha élőlény lenne, karok „csápolnak” ki a folyadékból. Nyilván megtaláltuk a folyadék bizonyos rezonanciafrekvenciáját.

Látogatók

A látogatók többsége tanuló. Nemcsak az iskolánkból, hanem Baja és környéke más iskoláiból is jönnek csoportok, osztályok. Felnőtt látogatóink elsősorban tanárok és a kísérletezők ismerősei. A vendégek számát az előzetes bejelentkezések, vendégkönyvi bejegyzések alapján becsüljük (10. ábra). A leghálásabb közönség az alsó tagozatosok és az óvodások, akik őszinte érdeklődéssel figyelik a kísérleteket. A vendégek tájékoztatását és irányítását a bemutató alatt házigazda-lányok végzik, akik a vendégkönyvi beírásra is felhívják a figyelmet. Néhány bejegyzés:

„Nagyon érdekes volt és megszerettedde velem a kémiát és fizikát.”

10. ábra. A bemutatók látogatottsága az előzetes jelentkezés és a vendégkönyv alapján. A kiugró nézőszámú 2008/2009-es show kétnapos volt.



„Szerintem fenomenális volt ez a fizikashow!”

„Igaz, hogy még ötödikes vagyok, és nem tanulok kémiát és fizikát, de nagyon érdekelt, és nem csalódtam, hogy eljöttem.”

„Felejthetetlen élmény volt! Eddig csak néző voltam, de most a fizikashow része voltam!”

„Őszinte örömet okozott, hogy láttam a nézőkön, hogy tetszett nekik.”

A show hatásai

Kommunikáció, kapcsolatok

Tapasztalataim szerint a mai tanulók nagy része nem képes adott témáról egybefüggően, összeszedetten beszélni. A bemutatót tartó tanulók sokat gyakorolják azt, hogyan kell saját szavaikkal adott jelenségről érthetően beszélni, kontaktust teremtenek a látogatóval, az érdeklődőkkel. A bemutatót végző csoporton belül munkamegosztás és kötetlen, játékos hangulat alakul ki már a kísérletek próbái alatt. Névkártyás kitűzőik erősítik bennük az összetartozást, büszkén viselik. Diáktársaiknak, tanáraiknak általában a tudás magabiztosságával magyaráznak. A kisgyerekek számára mondanivalójukat maguktól átformálják, minden esetben egyszerű, játékos formában magyaráznak, interaktivitásra törekednek. Lelkesedésük a bemutató alatt szinte a látogatók számával együtt növekszik.

Tantárgyi attitűd, érdeklődés

A kísérleteket bemutató tanulók tantárgyszeretete hátrózzottan nőtt, ez érdemjegyeiken is látszik. Fizika érdemjegyük általában egy egészet javult a bemutatót követő év végén az előző évi eredményhez viszonyít-

va. Sokan közülük 2-3 bemutatóban is részt vesznek. Más szemmel nézik a tanórán bemutatott kísérleteket, ők maguk is ötletekkel állnak elő, kísérleteket hoznak. Jobban figyelnek az interneten fellelhető kísérletekre, új tudományos felfedezésekre. A szakköri létszám az utóbbi években folyamatosan nőtt. A kezdeti (2007-es) 14-15 fő 2010-re duplájára növekedett. Fontos megemlíteni, hogy megnőtt a kísérletes fizikaversenyek iránti érdeklődés. A Károly Iréneusz Fizikaverseny iránt már annak kiírása előtt is nagy az érdeklődés. Az utóbbi években a kísérletezők közül sokan választottak természettudományos, illetve a fizikával kapcsolatos pályára irányuló továbbtanulást. A kísérletező tanulók jelentős hányadát (több mint felét) képviselő fizikaszakkörös tanulók közül az utóbbi öt évben végzetek (12) továbbtanulási iránya a következőképpen alakult: hat műszaki (mérnök), kettő informatikus, négy fizika (ebből kettő fizikatanár szeretne lenni).

Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti a bajai Szent László ÁMK vezetését, a „Fizikashow” rendezvények erkölcsi és anyagi támogatásáért. Köszönöm Szabó Attila Imre kollégámnak a 2011-es és 2012-es show kémia kísérleteinél végzett munkáját. Köszönettel tartozom azoknak a már végzett tanulóinknak, akik éveken át ötleteikkel, munkájukkal emelték a bemutatók színvonalát: *Béni Kornél, Lájer Márton Kálmán, Pusztai Máté, Rádi Roberta*. Köszönöm témavezetőm, *Tél Tamás* (ELTE, Elméleti Fizika Tanszék) segítségét, hasznos tanácsait.

A „Fizikashow”-k képei és videói megtekinthetők az alábbi weboldalon: www.fizikashow.hu

A FIZIKA TANÍTÁSÁHOZ SZÜKSÉGES TANÁRI TUDÁS RENDSZERE – I. RÉSZ

Radnóti Katalin, ELTE TTK Fizikai Intézet

Adorjáné Farkas Magdolna, Arany János Általános Iskola és Gimnázium

A tanárképzésnek kétféle modellje különíthető el napjainkban, amelyek *sarkítva* megfogalmazva a következőképp foglalhatók össze:

- Csak *a szakmai tudás a fontos*. Amennyiben a tanárjelölt jó szakmai alapokat kap, akkor már ezzel felvértezve képes szaktárgyát jól tanítani. Ekkor kiválóan meg tudja állni a helyét, bármilyen iskolatípusban tanít. A fizika tanításának lényege az, hogy a tanár magasabb matematikai ismeretek alkalmazása nélkül képes legyen diákjainak elmagyarázni az éppen feldolgozni kívánt ismereteket, majd azzal kapcsolatos feladatokat megoldani.

- *A pedagógiai tudás a fontos*. Ha a frissen végzett tanár jól tud bánni a gyerekekkel, jó kapcsolatot alakít ki a kollegákkal és a szülőkkel, megtanulja a különböző óravezetési típusokat, akkor a szakmai tartalom kevésbé fontos, hiszen az a gyakorlat során kialakul.

Azt gondoljuk – nyilvánvaló mindenki számára –, hogy *mindkét modell végletesen leegyszerűsíti a tanárképzést*. A *híd* a kétféle elképzelés között a *szakmódszertan* lehet. De jelen írásban nem csupán ezzel szeretnénk foglalkozni, hanem vázlatosan azt is át szeretnénk tekinteni, milyen tudásrendszer szükséges ahhoz, hogy a tanár ténylegesen képes legyen helyt

állni választott hivatásában. A *szaktanári* feladatok ellátásához a szaktudomány magas szintű ismeretén kívül – véleményünk szerint – még a következő háttérismeretek, segédtudományok alapjainak ismerete szükséges:

- filozófiai, ismeretelméleti tudás,
- a megismeréssel (kogníció) kapcsolatos ismeretek,
- hétköznapi tapasztalatok, hétköznapi fogalmak és azok értelmezése,
- az adott tudományterület történetének ismerete, a fogalmi rendszer kialakulása, amelyeken bizonyos mértékig a tanulóknak is végig kell mennie,
- az éppen tanított diákcsoport aktuális tudásának ismerete, milyen előzetes tudásuk, esetleges félreértelmezéseik lehetnek a feldolgozandó témakörrel kapcsolatban.

A felsorolásból látható, hogy a szaktanári mester-séghez alapvetően másféle tudásrendszer szükséges, mint az adott szakterület kutatói számára. Ez persze nem azt jelenti, hogy ne lehessen „átjárás” a kétféle szakma között.

A posztmodern filozófia néhány gondolata

A 20. század első felétől kezdődően nagy változások történtek a tudományfilozófia területén (ezeket sokan elítélően említik). A továbbiakban röviden összefoglaljuk azokat az elképzeléseket, amelyek szerint az e kérdésekkel foglalkozó szakemberek látják a tudomány történetét, az új tudományos eredmények megszületését és azok fogadtatását. Ennek komoly pedagógiai vetülete is van.

Az említett változás lényege az volt, hogy a tudományelméletben széleskörűen elfogadottá vált a tudományos fejlődés elméletközpontú megközelítése. Ezen elképzelések szerint a tudományos eredmények a nagy elméletek formálódásának, tesztelésének, igazolásának és cáfolásának folyamatában jönnek létre.

Hans Reichenbach [1] veti fel azt a kérdést, hogy milyen gondolkodási folyamatok vezetnek felfedezésekhez. Megállapítja, hogy „a gondolkodás pszichológiai műveletei meglehetősen határozatlan, elmosódó folyamatok; szinte sohasem igazodnak a logika előírásaihoz”. Ez igaz mind a köznapi, mind pedig a tudományos gondolkodásra. Vagyis a tudósok kutatásaik során valójában nem aszerint gondolkodnak, ahogyan azt későbbi publikációikban, konferencia-előadásaikban vagy egyetemi óráikon megjelenítik. Amikor tudományos gondolatokról beszélünk, nagyon sokszor csak a letisztult, rekonstruált gondolatmenetokről van szó. Reichenbach ezeket *racionális rekonstrukcióknak* nevezi.

Az oktatás során általában az ilyen vagy ehhez hasonló módon létrehozott gondolatmeneteket szoktuk bemutatni tanítványainknak, amikor egy-egy új eredményről, felfedezésről tanítunk. *Galilei* leírása a szabadesésről tulajdonképpen racionális rekonstrukciónak tekinthető a *Dialogóban* [2].

A szabadesés törvényszerűségei Galilei színrelépése előtt már közel egy évszázada foglalkoztatták a tudósokat. Sok problémát okozott, hogy vajon az egyenletes változás az idő vagy pedig a hely függvényében értendő-e. Galilei hipotézise szerint az idő függvényében. Mai jelölésmódunkat használva a következőképpen foglalhatjuk össze gondolatmenetét, amelynek végeredményét kísérletileg vizsgálni tudta.

A sebesség legyen arányos az idővel, vagyis $v = at$. Ha a test nulla kezdősebességgel indul, akkor a középsebesség, vagy átlagsebesség:

$$v_{\text{közép}} = \frac{v}{2} = \frac{at}{2}.$$

A megtett út a következőképp számítható:

$$s = v_k t = \frac{at}{2} t = \frac{1}{2} at^2.$$

Ebből az következik, hogy:

$$\frac{s}{t^2} = \frac{a}{2} = \text{állandó},$$

amit méréssel vizsgálható módon megfogalmazva a következőképp írhatunk fel:

$$\frac{s_1}{t_1^2} = \frac{s_2}{t_2^2} = \dots$$

Mind az utat, mind pedig az időt mérni lehet és így vizsgálni, hogy fennáll-e a kettő között az előbb matematikailag megfogalmazott arányosság. A mérés közvetlen végrehajtásánál azonban felmerült egy nehézség: a szabadesés esetében túlságosan rövid időket kellene mérni. Galilei zseniális ötlete az volt, hogy vett egy kis hajlásszögű lejtőt, és ezzel – megtartván a jelenség időbeli lefolyásának jellegét – lelassította a szabadesés folyamatát úgy, hogy a rendelkezésére álló időmérő eszközökkel kellően pontos méréseket tudott végezni.

Galilei módszere a következőképpen foglalható össze:

- A fogalmak tisztázása (út, idő, sebesség és a gyorsulás fogalmának „megsejtése”).
- Hipotézisalkotás a jelenség várható lefolyására vonatkozóan (az idő függvényében egyenletesen változik a sebesség).
- Hipotéziséből matematikai úton olyan összefüggéseket vezetett le, amelyek kísérletileg ellenőrizhetőek ($s/t^2 = \text{állandó}$).
- Végül kísérleti úton ellenőrizte az elméleti következtetéseket.

Azonban a felfedezés ténylegesen nem így történt [3], hanem a vízszintes hajítás vizsgálatával, ahol feltételezte a pálya parabola alakját, amelyet kísérletileg jónak talált (közelítőleg). És tudta, hiszen a parabolát már az ókor óta ismerték, hogy ez csak úgy lehetséges, ha a függőleges mozgás (a szabadesés) során megtett út az idő négyzetével arányos. Arra, hogy a négyzetes időfüggés a sebesség lineáris időfüggésé-

ből a fenti módon származtatható, csak jóval később jött rá. De könyvének harmadik fejezetében így írta le és csak a következő, negyedik fejezetben foglalkozott a vízszintes és ferde hajításokkal.

Carl Hempel [1] az indukció problémáját vizsgálja. Szerinte a tudományos hipotézisek és elméletek nem következnek mechanikusan a megfigyelt tényekből. „A kreatív képzelőerő működtetése révén találják ki őket.” *Friederich Kekulé* (1829–1896) példáját említi, ahogyan a benzol gyűrűs szerkezete „megjelent” előtte. A nagy tudományos előrelépéseket szerencsés ötletekkel, intuícióval érik el, és egyetlen olyan szabály sem adható meg, ami hasonló helyzetekben ismételt sikert biztosít. *Karl Popper* szerint ezek sejtések, amelyekből olyan következtetéseket vezetnek le, amelyek azután megfigyelés útján vagy kísérletileg vizsgálhatók, azaz ellenőrizhetők az elmélet előrejelzései [4].

Popper továbbá rámutatott arra, hogy a tudomány nem megfigyelésekkel, hanem problémákkal kezdődik. A problémák általában akkor támadnak, amikor sejtéseinkben, előzetes várakozásainkban csalatkozunk, elméletünk ellentmondáshoz vezet, megfigyeléseink nem a várt eredményt adják stb. „A probléma sarkall bennünket tanulásra, tudásszerzésre, kísérletezésre és megfigyelésre.” Ezen gondolatok oktatásban betöltött szerepe minden tanár számára ismerősen cseng, tanítványaikat is új, érdekes problémák felvételével szokták motiválni egy-egy új anyag rész feldolgozásának kezdetén. Minden új elmélet új problémákat vet fel, és éppen e problémák megoldásán keresztül járul hozzá a tudományos tudás gyarapodásához. Popper rámutatott a kritikai megközelítés fontosságára, így is különbséget téve a racionális tudomány és a babona (áltudomány) közt. A kritikai megközelítés napjaink természettudományos oktatásának is egyik igen fontos feladata, hiszen a gyerekek a legkülönbözőbb módon kerülnek kapcsolatba áltudományos elméletekkel.

Felvetődik a kérdés, mitől függ, hogy egy elmélet jobb-e, mint a riválisa. A választ Popper a következőkben találta meg: a jobb elmélet pontosabb állítást tesz, több tényt vesz figyelembe és magyaráz meg, részletesebben írja vagy magyarázza a tényeket, kiáll olyan próbákat, amelyeket a másik nem, új kísérleti ellenőrzéseket javasol, egyesít vagy összekapcsol különféle, addig egymástól függetlennek tekintett problémákat. A tudás gyarapodásának feltételeit a következőkben látta: az új elméletnek az addig kapcsolatba nem hozott dolgok vagy tények kapcsolatára vonatkozóan új és átütő elgondolásból kell kiindulnia, olyan eseményeket kell előre jeleznie, amelyeket addig még nem figyeltek meg, és végül, de nem utolsón sorban ki kell állnia néhány szigorú ellenőrzést.

Elképzelései szerint az adott korban létrejött elméletek közül a körülmények (társadalmi, ideológiai) a legmegfelelőbbet jelölik ki, fogadják el tudományosnak, hasonlóan a *biológiai szelekció*hoz. Ő a tudományos elméletek egymás utáni megjelenését majd elfogadását mintegy *evolúciós folyamat*ként jelenítette meg az 1930-as években.

Willard Quine [1] szerint minden elmélet empirikusan aluldeterminált, ami alatt azt értette, hogy meglepően kevés empirikus tapasztalat támaszt alá nagyon sok elméletet. Felhívta a figyelmet arra, hogy a megfigyelés, mint fogalom, belső feszültségekkel terhelt, mert nem létezik önmagában, nem szakítható el a megfigyelő előzetes elképzeléseitől, fogalomrendszerétől, beállítódásaitól. *Polányi Mihály* mutatott rá, hogy mennyire fontos a megismerő személyes részvétele minden megismerési aktusban [5].

Fehér Márta 1977-es tanulmányában rámutatott arra, hogy a természettudományos igényű megismerés először az ókori görög filozófusoknál merül fel, sőt a törvények matematikai megragadhatóságának gondolata is tőlük származik [6]. A görögök elméletei ugyan nem mondtak ellent a hétköznapi tapasztalataknak, de az ókorban nem beszélhetünk a kísérletezés, mint megismerési módszer használatáról. Ez a megismerési módszer csak a 17. század elején, Galilei munkásságát követően vált széles körűen elfogadottá. Ekkor, az empirizmus születésének időszakában fogalmazódott meg, hogy az ismeretek csak a tapasztalat útján nyerhetők, a természet minden elméletől mentes megfigyelésével.

Fehér Márta feltette a kérdést: „A valódi tudás megszerzése érdekében pedig a tudós feladata pusztán az, hogy elfogulatlanul, filozófiai előítéletektől mentesen figyeljen a természet szavára?”

Azonban a természet nem kezd el magától „mesélni”. A természethez kérdést kell intézni, amely a megfigyelések, a kísérletek megtervezésében nyilvánul meg. Ugyanakkor már a legegyszerűbb kérdés is előfeltevéseken alapul, bizonyos ismeretháttér alapján fogalmazódik meg. Előzetes várakozások vannak a lejátszódó jelenségekkel kapcsolatban.

Az általánosítások csak a jelenségek bizonyos tapasztalati összefüggéseinek megállapításához, matematikai leírásához elégségesek, de a lényegét nem lehet ilyen módon elérni. Például a kinetikus gázelmélet és a statisztikus fizika semmiképpen nem jöhetett volna létre a tapasztalatok általánosításából, hiszen az atomok, molekulák kicsiny méretüknél fogva nem tartoznak a tapasztalat körébe. Ráadásul a gázok egyes tulajdonságai, például térfogatuk változása a folytonos anyagképpel is magyarázható.

A természettudományos oktatás megújítására való törekvés filozófiai alapjait sokan a *Thomas S. Kuhn* [7] nevével fémjelzett konstruktivista megközelítésmódban látják. Kuhn nézeteinek alapját a tudományos fejlődés általa megkülönböztetett két típusa alkotja, a *normál* és a *forradalmi periódus*. (E tudományos folyamatoknak megfelelő, a gyermeki megismerésben jelentkező radikális gondolkodásmód átalakulásra a didaktikában a *fogalmi váltás* kifejezést használják.) A tudományos fejlődés normál szakasza gyakorlatilag kumulatívnak tekinthető. A forradalmi szakaszok ellenben olyan epizódok, amelyek rálátást nyújtanak a tudományos megismerés egy központi összetevőjére. Ide tartoznak az olyan felfedezések, amelyek nem illeszthetők be a korábban használt fogalmi keretbe.

Egy ilyen felfedezéshez meg kell változtatni azt a módot, ahogyan a természeti jelenségeket leírják, vagy ahogy erről gondolkodnak.

A forradalmi változásokat Kuhn a következőképp jellemzi: holisztikusak, vagyis nem hajthatók végre részletekben, lépésről lépésre, továbbá „megváltozik az a mód, ahogy a szavakat és kifejezéseket hozzákapszolgoljuk a természethez, ahogy meghatározzuk a referenciát”, és végül a hasonlóságok régi mintázatát el kell vetni, és azt újjal helyettesíteni.

A napjainkban oly divatos paradigma kifejezést is Kuhn vezette be. Erről a következőképpen írt: „A csillagászat, a fizika, a kémia vagy a biológia gyakorlata általában mégsem vált ki alaptételekig menő vitákat, míg például a pszichológusok vagy a szociológusok körében manapság szinte járványszerűek az ilyen viták. E különbség okát keresve jutottam el azoknak a tényezőkhöz a felismeréséhez, amelyeket azóta a tudományos kutatás *paradigmáinak* nevezek. Ezek *olyan, általánosan elismert tudományos eredményeket értek, amelyek egy bizonyos időszakban a tudományos kutatók közössége számára problémáik és problémamegoldásaik modelljeként szolgálnak.*”

Lakatos Imre szerint egy régi elmélet módszeres megcáfolása után az új elmélet nem csak új tényeket „jósol meg”, hanem *folytatása* a réginek [8]. Nem lehet egymást váltó elméletekről beszélni. Erre példák a Newton-féle mechanika, speciális relativitáselmélet, általános relativitáselmélet. Lakatos úgy gondolja, hogy ezek egymást tartalmazó elmélet sorok, amelyek kicsit hasonlatosak az orosz matrjoska babákhoz.

Lakatos Imre nem is csak elméletekről beszélt, hanem *kutatási programokról*. Ezek elméletek rendszerei és sajátos belső szerkezettel rendelkeznek. Minden kutatási programnak van egy „kemény magja”, amely nem változik, mert ha megváltozna, azzal maga a kutatási program alakulna át. Például a newtoni mozgásfelfogást kutatási programként tekintve a Newton I. II. III. és a gravitációs erőtvénye alkotja a kemény magot. A kemény mag körül épül ki a „rugalmas védőövezet”. A kutatások itt folynak, a kutatási programon belül felvetődő kérdéseket válaszoljuk meg, többek között megszüntetve a felmerülő anomáliákat. Anomáliák akkor keletkeznek, amikor a kemény mag alapján megfogalmazott előrejelzéseket nem igazolja a tapasztalat. Ilyen volt például az Uránusz bolygó helyének Newton-törvények alapján történő kiszámítása, aminek eredményei nem egyeztek meg a mérésekkel. Az Uránusszal kapcsolatos anomáliát a Neptunusz bolygó hatása okozza, így az anomália valójában nem a Newton-törvények cáfolatát, hanem éppen hogy a megerősítésüket szolgálta. A Newton-törvények alapján a Halley-üstökös visszatérését is nagyon pontosan meg lehetett jósolni. A „rugalmas védőövezet”-ben folyó kutatásoknak ezt a jellegzetességét nevezte Lakatos *heurisztikus erőnek*.

Az egymást követő kutatási programokat heurisztikus erejük szerint kell megítélni „mennyi új tényt produkált, mekkora magyarázó kapacitást teremtett a növekedése során felmerülő cáfolatokra”.

Sokak számára megdöbbentőek *Paul Feyerabend* [1] gondolatai és a posztmodern kifejezés alatt sokan az általa írt elképzeléseket értik, amely azonban hasonló leegyszerűsítés, mint azt bevezetőnkben a tanárképzéssel kapcsolatban tettük. Feyerabend fő gondolatait összefoglalva mintegy felrótta a tudománynak, hogy minden „hagyományos elméletet” kiszorított, például a gyógynövények alkalmazását, az akupunktúrát stb. Véleménye szerint „manapság a tudomány a demokrácia alapszövege, éppúgy, ahogy korábban a társadalom alapszövege az egyház volt”. Megkérdőjelezte, hogy szükséges-e az iskolában kötelezően tanulni a tudományos tárgyakat, nem lehetne-e ezek helyett mágiát vagy asztrológiát tanulni, vagy legendákat megismerni? Meglehetősen szkeptikus álláspontot képviselt a szakértői véleményekkel kapcsolatban is, mondván, sok esetben különböző eredményekre jutnak alapvető elvi és gyakorlati kérdésekben egyaránt. A szakértői vélemények problematikussá válták Feyerabend példaként említette az atomiparral kapcsolatos biztonsági kérdések megítélését, a különböző rovarirtók, az aerosolos sprayk hatását, az oktatási módszerek eredményességét. A vélemények egyeztetése, majd az egységes álláspont kialakítása rendszerint politikai döntés eredménye, a hivatalostól eltérő vélemények képviselői pedig a legtöbbször háttérbe szorulnak. Sok esetben tekintélyelv alapján fogadnak el egy-egy véleményt. Feyerabend rámutatott arra is, hogy a tudományt nem egy esetben szakmán kívüliek és olyan tudósok vitték előre, akik a hagyományostól eltérő háttérrel rendelkeztek.

Sajnos a tudományt, különösen a magyar iskolákban, sokan úgy tanítják, mint „dogmák gyűjteményét”, nem pedig úgy, mint egy fejlődő, változó, az újdonságokra választ kereső, nyitott rendszert. Helyette a megismerés, a problémamegoldás módszertanára kellene hangsúlyt fektetni, amelyhez természetesen felhasználjuk a már tudományosan elfogadott ismereteket. Cikkünk második részében néhány egyszerű oktatási módszert mutatunk be, amelyekkel ez a hiányosság orvosolható.

Barry Barnes és *David Bloor* [1] írásaikban rendkívül eredeti példával mutatták meg *Joseph Priestley* (1733–1804) és *Antonie Laurent Lavoisier* (1743–1794) példáját felhasználva (az oxigén felfedezése), hogy azonos kísérleti tényeket miként lehet teljesen más elmélet alapján magyarázni. Felhívták a figyelmet arra, hogy *ami egy bizonyos kontextusban bizonyítékként szolgál egy adott nézet mellett, az egy másfajta kontextusból nézve esetleg egy egészen más állítás bizonyítékának minősül. A különböző elméletek alapján dolgozó tudósok egészen másként értelmezhetnek azonos tényeket, eltérő következtetéseket vonhatnak le. Minden tény előfeltevések összefüggésébe van ágyazva.*

Polányi Mihály ezt úgy fogalmazta meg, hogy a természetben lévő dolgok nem „viselnek” magukon bizonyíték feliratot. Ezek csak annyiban bizonyítékok, amennyiben a megfigyelő annak fogadja el őket [5].

Az oktatás számára ez azt jelenti, hogy egy-egy új téma feldolgozása előtt feltétlenül fontos megtudni azt, hogy a gyerekek miként vélekednek azzal kapcsolatban. Például a mozgások esetében valószínűleg az arisztotelészi gondolkodás elemeinek meglétére számíthatunk. A tanórán bemutatott, vagy a sajátmaguk által elvégzett kísérleteket ebben az elméleti keretben fogják értelmezni. A tanárra vár az a nem könnyű feladat, hogy a newtoni fizika szélesebb magyarázó erejének belátására készítse tanítványait [9].

Irodalom

1. B. Barnes, D. Bloor, R. Boyd, R. Carnap, P. K. Feyerabend, C. J. Hempel, T. S. Kuhn, K. R. Popper, V. O. Quine, H. Reichenbach, Laki János (szerk.): *Tudományfilozófia*. Osiris Kiadó, Budapest, 1998.

2. Galileo Galilei: *Matematikai érvelések és bizonyítások két új tudományág, a mechanika és a mozgások köréből*. Európa Könyvkiadó, Budapest, 1986. Fordította: Dávid Gábor.
3. Vekardi László: *Így él Galilei*. Typotex Kiadó, Budapest, 1997.
4. K. R. Popper: *A tudományos kutatás logikája*. Európa Kiadó, Budapest, 1997.
5. Polányi Mihály: *Személyes tudás, I-II*. Atlantisz Kiadó, Budapest, 1994.
6. Fehér Márta: A fizika és a filozófia kapcsolatáról. In: Csákány Antalné (szerk.): *A fizika és a társtudományok*. Tankönyvkiadó, Budapest, 1977, 5–30. old.
7. Thomas S. Kuhn: *A tudományos forradalmak szerkezete*. Osiris Kiadó, Budapest, 2002.
8. Imre Lakatos: *The methodology of scientific research programmes*. (szerk.: John Worrall, Gregory Currie) Cambridge University Press, 1978.
9. Radnóti Katalin, Nahalka István (szerk.): *A fizikatanítás pedagógiája*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2002.

KÍSÉRLETEZZÜNK OTTHON!

Härtlein Károly
BME Fizikai Intézet

14. Ha leöntöm hideg vízzel, felforr...

Ha a fizikaórán megkérdezzük, hány fokon forr a víz, még a bukásra álló diák is hibátlanul mondja: „A víz 100 Celsius-fokon forr.” Azt azonban, hogy a mondat végére nem pontot, hanem vesszőt kell tenni és folytatni, csak kevesen tudják. Ha bemutatjuk vagy elvégeztetjük a következő kísérletet, akkor minden diákunk tudni fogja: a víz forrásának hőmérséklete nyomásfüggő. Erre a tapasztalatra építve könnyen megtaníthatjuk a halmazállapot-változások nyomásfüggőségét.

Eszközök:

1. mikrohullámú sütő,
2. üvegedény, fémkupakkal,
3. tálca,
4. mérőkancsó,
5. edényfogó kesztyű.

Töltsük meg kétharmadáig vízzel az üvegedényt, és melegítsük forrásig mikrohullámú sütőben. Amikor már forr a víz, akkor nyissuk ki a mikro ajtaját és edényfogó kesztyűben gyorsan csavarjuk rá a kupakot. Helyezzük a tálcára az üvegedényt, és figyeljük meg, hogy egy darabig még forr a víz. Ezután óvatosan öntsünk a ku-

1. ábra. Hideg vizet öntve a meleg palackra a benne lévő víz újra forni kezd, ahogy a palackban lévő buborékok tanúsítják.

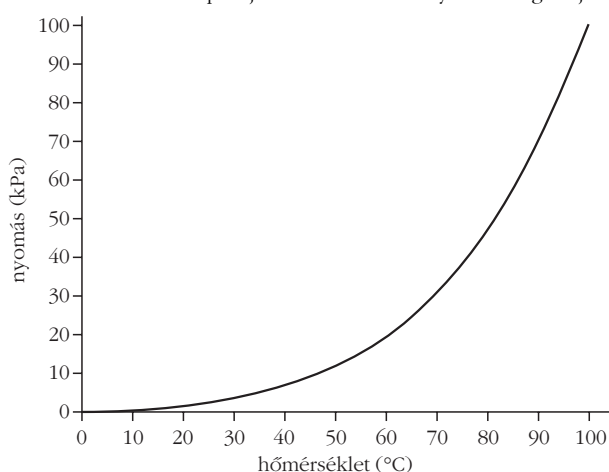


pakra egy kis vizet. Rövidesen ismét forni kezd a víz (1. ábra). Ha ismét abbamarad a forrás, csak annyi tennivalónk van, hogy megint egy kis vizet öntünk a kupakra. Tehetjük ezt körülbelül 50 °C-ig.

A jelenség magyarázata egyszerű. A lezáráskor az üvegedényben víz és fölötte túltelített vízgőz található. Ha hideg vízzel leöntjük, akkor a kupakra és az edény falára lecsapódik a vízgőz, ennek hatására az üvegben csökken a nyomás, a víz forrásba jön. Forralni addig tudjuk, amíg az edényben kisebb nyomást tudunk elérni, mint az adott hőmérsékleten a forrásponthoz tartozó gőznyomás (2. ábra). A kísérlet bemutatásakor ugratni szoktam a közönséget. A kezembe fogom az üvegedényt, majd leöntöm a hideg vízzel, és láthatják amint a kezemben forr a víz. Ezt csak parafenoménen bírhatja ki – vagy tényleg csökkent a víz forráspontja!

Ha a víz már nem forralható, akkor egy másik érdekes jelenséget mutathatunk be. Rázzuk meg a vizet és hallgassuk meg a hangját. Hasonlítsuk össze a csak egyszerűen lezárt edényben lévő víz hangjával, a kü-

2. ábra. A víz forráspontjának hőmérséklet-nyomás diagramja.



lönbség mindenkinek fel fog tűnni. Még meglepőbb, ha az edény tetejére ökölrel rácsapunk úgy, hogy az edényt a másik kezünkben tartjuk, és az elmozdulhat. A lefelé meginduló edényben valószínűtlenül nagyot fog kattanni a víz, mintha kövek lennének benne. Többször ismételve az ütögetést előfordulhat, hogy az üveg eltörik. Ha tudatosan nagyot ütünk az üvegre, akár az első ütésre is eltörhet az edény.

A jelenség magyarázata nem túl bonyolult. Az edényben alacsony a nyomás; amikor rásuhintunk, akkor az edény hirtelen megindul, a benne lévő víz jelentős gyorsulásra kényszerül, ami nyomásváltozással jár. Azokon a helyeken, ahol nyomáscsökkenés alakul ki, a víz felforr és buborékok keletkeznek, majd

nyomásnövekedés hatására a buborékok összeomlanak és ez egy lökéshullámot indít el a vízben. Ennek hangját hallhatjuk, mint egy koppanást, és ez törí, törheti össze edényünket. Pontosabban mindig az edény alja fog leszakadni, hiszen itt lesz a buborék összeomlása keltette hullám hatása a legnagyobb. Az edényben speciális módon kavítációt állítottunk elő.

Ajánlott oldalak

<http://web.mit.edu/hml/ncfmf/16CAV.pdf>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Cavitation>

<http://www.kfki.hu/fszemle/archivum/fsz0503/hartlein0503.html>

http://www.engineeringtoolbox.com/boiling-point-water-d_926.html

<http://www-jmg.ch.cam.ac.uk/tools/magnus/boil.html>

<http://www.chem.purdue.edu/gchelp/liquids/boil.html>

VÉLEMÉNYEK

AZ ENTRÓPIAPROBLÉMA ÉS A FIZIKAI SZEMLE KÖZLÉSI GYAKORLATA

A *Fizikai Szemle* 2012. július-augusztusi és szeptemberi számának Vélemény rovatában jelent meg Oláh Károly *Az entrópiaprobléma* című két részes¹ írása.

Tagadhatatlan, hogy az entrópia didaktikailag nehéz fogalom. Nem irigylésre méltók például azok a vegyész hallgatók, akiknek a termodinamika mindennapi kenyerük kell legyen, ugyanakkor az integráló osztó fogalmával nincsenek tisztában. Oláh Károly írásában összekeverednek a dolgok. Elegyednek a megértéshez komoly erőfeszítést igénylő kérdések a triviálisakkal. Például hosszasan elidőzik azon a problémán, hogy az entrópia (mint dimenziós mennyiség) értéke függ a hőmérsékleti skála (egy kapcsolódó mértékegység) megválasztásától!

Ennél nagyobb baj, hogy elkeni a különbséget a didaktikai nehézségek és a koncepcionális problémák között. Ráadásul hibás állítások bukkannak fel: „Maxwell ismerte fel, hogy azok (tudniillik a gázok molekuláinak) sebessége, kinetikus energiája nem mind ugyanakkora, és nem is teljesen rendezetlen, hanem szabályos, exponenciális eloszlású.” A sebesség, vagy a kinetikus energiáé? (Egyik sem.) A szerző diagonálisan átszalad a Boltzmann-féle kinetikus elméleten, közben számos pontatlanságot, hibát követ el. Az x_i mennyiségeket először mint „additív mennyiséget” definiálja, majd kiderül, hogy egy eloszlást jelölnek. Félreértés a részletes egyensúly elvét Diracnak tulajdonítani, aki felhasználta azt. Még egy idézet: „amikor egyensúly áll be, az energiaeeloszlás logaritmusjellegű alakul”.

¹ Kertész János hozzászólását az első rész ismeretében, a második rész nyomdába kerülése után juttatta el a szerkesztőségnek.

Nem szándékom részleteiben elemezni a cikket. A hibáktól eltekintve, talán az a triviális üzenete, hogy az entrópiafogalom igazi megértéséhez a kinetikus elméleten (és hozzáteszem: a statisztikus fizikán) keresztül vezet az út. Ezt ma minden harmadéves fizikus hallgató így gondolja.

A számos nyilvánvaló hiba, a szerkesztetlenség arra vall, hogy a cikk elemi szakmai szűrőn sem ment keresztül. Felmerül a kérdés, hogy mi volt a szerkesztőség célja ezzel a közleménnyel? Erős a gyanúm, hogy a helykitöltésen kívül nem marad érv. Ez viszont ropant veszélyes. Ne felejtjük el, hogy a *Fizikai Szemle* jelentős mértékben a fizikatanárok lapja. Egy ilyen cikk félreinformál, elbizonytalanít. Mi lesz, ha áltudósok akarják „véleményüket” a *Fizikai Szemlében* közzélni?

Írással nem Oláh Károlyt támadom, aki információim szerint tiszteletben álló kolléga. Arra kívántam rámutatni, hogy a *Fizikai Szemle* Vélemény rovatának közlési gyakorlata rossz és sürgős változtatásra szorul.

Kertész János
egyetemi tanár, BME



A *Vélemények* rovat lábjegyzeteként mindig megjelenik az alábbi szöveg: „A szerkesztőbizottság 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.”

Kertész Jánostól kapott fenti levél vitára ösztönöz az entrópiafogalommal kapcsolatban kifejtettek mellett a Vélemény rovat kiválasztási gyakorlatáról is. Érintettként ehhez egyelőre csupán néhány mondatot teszünk hozzá:

Az entrópia-kézirat beküldője és a szakmai lektor között februártól májusig folyt a vita és nem alakult ki egyetértés. A bíráló szerint: *a szerző jelentősen újraírta a kéziratát az előző bírálat fontos javaslatait, észrevételeit beépítette és elfogadta. Azonban az új kéziratban ezáltal újabb kérdések kerülnek inkább a*

fókuszba, ezért további átalakításokat javaslok. Megjegyzem, hogy az új változat véleményem szerint határozottan jobb, elkerüli az előző verzió kapcsán említett főbb problematikus kérdéseket.

A szerkesztő felelőssége, hogy ezen a ponton megjelentette a kéziratot.

Ami az áltudósokat illeti, azok bizony szinte havonta kísérelnek meg kéziratokat elhelyezni a *Fizikai Szemle*ben. Talán a legközelebbi április elsején érdemes lenne szemelvényeket megjelentetni az archívumból.

Szerkesztők

HÍREK – ESEMÉNYEK

FIZIKAI NOBEL-DÍJ 2012

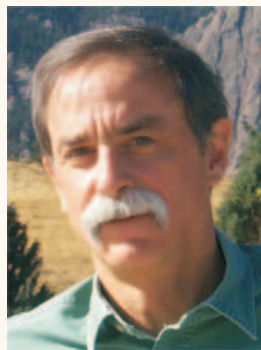
Megosztva, a francia *Serge Haroche*-nak és az amerikai *David J. Wineland*-nek ítéltek oda az idei fizikai Nobel-díjat – jelentették be a Svéd Királyi Tudományos Akadémián Stockholmban. Az indoklás szerint a két tudós azzal, hogy az egyedi kvantumrészecskék közvetlen megfigyelhetőségét tönkretételük nélkül demonstrálta, új fejezetet nyitott a kvantumfizikai kísérletek terén.



Serge Haroche

A fény, illetve az anyag különálló részecskéire a klasszikus fizika törvényei helyett a kvantummechanika szabályai érvényesek. „A két fizikusnak nagy szerepe van abban, hogy egyre pontosabb képet alkoshatunk a kvantummechanika törvényszerűségeinek engedelmeskedő egyedi objektumok viselkedéséről” – mondta az mta.hu-nak *Domokos Péter*, az MTA doktora, az Akadémia *Lendület* programjának egyik tavalnyi nyertese. Mint fogalmazott, a kutatók korábban mindig csak egy sokaságot, például gázban, folyadékban vagy szilárdtestben található atomokat vizsgálhattak. Ezekben az esetekben azonban a kvantumjelenségek nem figyelhetők meg, így a tudósoknak csak közvetett bizonyítékaik voltak rájuk.

A 68 éves *Serge Haroche*, a Collège de France professzora, valamint a szintén 68 esztendőes *David J. Wineland*, az amerikai Országos Szabványügyi és Technológiai Intézet (NIST) fizikusa által évtizedek alatt kifejlesztett módszereknek, technikai és elméleti megoldásoknak köszönhetően azonban immár közvetlen tapasztalatokat is szerezhetnek a kutatók. „A fény és anyag közötti kölcsönhatást a létező legelemibb rendszeren, egyetlen atom vagy ion és egyetlen foton össze-



David J. Wineland

csatolásán keresztül ragadták meg. Ezen a mikroszkopikus skálán a fény és anyag kölcsönhatása a makroszkopikus világban tapasztaltaktól lényegesen eltérő jelenségeket mutat” – magyarázta *Domokos Péter*. A francia és az amerikai tudós eredményeiről szólva kiemelte: az ő kísérleteik vezettek el ahhoz, hogy egy „zajos” halmazból kiemelve egyetlen kvantumobjektumot tudjanak tárolni

és manipulálni a tudósok. Az elemi objektumokból aztán egyre nagyobb, de még a kvantummechanika törvényeinek engedelmeskedő rendszereket lehet építeni. A klasszikus világban megszokottól eltérő működésüknek köszönhetően ezekkel a „gépekkel” eddig megoldhatatlan feladatokat lehet elvégezni.

„Ilyen generikus példa a kvantumszámítógép, amelyen a klasszikus számítógéppel elvégezhetetlen műveletekre is léteznek algoritmusok” – mondta *Domokos Péter*, aki személyesen is jól ismeri *Serge Haroche*-t, hiszen 1994 és 1998 között doktori témavezetője volt a párizsi *Ecole Normale Supérieure*-ön. A fiatal magyar fizikus kapcsolata azóta sem szakadt meg az immár Nobel-díjas tudóssal. „Az általam vezetett »Kvantummérés Lendület csoportban« kicsit más rendszereken, de hasonló filozófia alapján dolgozunk: mi is rezonátorba zárt fotonokat vizsgálunk, csak nem a mikrohullámú, hanem az optikai hullámhossztartományban. Munkánk során az Európai Unió hetedik keretprogramján belül, a »Circuit and Cavity Quantum Electrodynamics« című projektben együttműködünk *Serge Haroche* laboratóriumával is.”

www.mta.hu

Jöjjön látogatóba Magyarország
egyetlen atomerőművébe és
ismerje meg annak biztonságos
működését!



Jövönk energiája



paksi atomerőmű

Tájékoztató és Látogatóközpont
7031 Paks, Pf. 71
Telefon: (75) 508 833
www.atomeromu.hu



Várjuk vendégségbe Magyarországot!