

# fizikai szemle

A close-up photograph of a metal rod, possibly a rebar, showing significant rust and corrosion. The rod is positioned vertically in the center of the frame. It is surrounded by a dark, textured material, likely a concrete or a similar composite material, which is also showing signs of wear and discoloration. Two wires are visible: a red one on the left and a blue one at the bottom. The overall scene suggests a physical inspection of a structural component.

2004/10



**A Magyar Tudományos Akadémia  
Fizikai Tudományok Osztálya,  
az Eötvös Loránd Fizikai Társulat,  
a Magyar Biofizikai Társaság és  
az Oktatási Minisztérium  
folyóirata**

Főszerkesztő:

**Berényi Dénes**

Szerkesztőbizottság:

**Barlai Katalin (Csillagászat),  
Faigel Gyula,  
Gnädig Péter (Négyszögletes kerék),  
Horváth Dezső (Mag- és részecskefizika)  
Jéki László, Kanyár Béla (Sugárvédelem),  
Németh Judit, Ormos Pál (Biofizika),  
Pál Lénárd, Papp Katalin,  
Sükösd Csaba (Vélemények),  
Szőkefalvi-Nagy Zoltán (Biofizika),  
Tóth Eszter,  
Turiné Frank Zsuzsa (Megemlékezések),  
Ujvári Sándor (A fizika tanítása)**

Szerkesztő:

**Hock Gábor**

Műszaki szerkesztő:

**Kármán Tamás**

A lap e-postacíme:

**fizszem.elft@mtesz.hu**

A folyóiratba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A címlapon:

**Sorbakapcsolt réz- (alul) és szupravezető  
szalag (felül). Jól látszik, hogy  
a rézszalagon keletkező hőveszteség  
miatt a folyékony nitrogén erősen forr,  
szinte teljesen elhomályosítja a rézet,  
míg a szupravezető huzal élesen látszik.  
Részletek a szupravezetésről szóló  
cikkünkben a 354. oldalon.  
Fotó: Kármán Tamás**

## TARTALOM

<i>Bodnár Andrea, Damjanovich Sándor, Vámosi György:</i> Nanotechnológia a biofizikában	325
<i>Korpa Csaba:</i> Mezonok és barionok a maganyagban	328
<i>Bölcsföldi József:</i> Technikai civilizációk kapcsolatának valószínűségi korlátjai	332
<i>Tar Domokos:</i> A gömbvillám keletkezésének, lefolyásának és eltűnésének megfigyelése	334
<i>Jáki Szaniszló:</i> Egy megkésett ébredés: Gödel a fizikában	338
<b>MEGEMLÉKEZÉSEK</b> Neugebauer Tibor, 1904–1977 ( <i>Nagy Károly</i> )	343
<b>A FIZIKA TANÍTÁSA</b> <i>Farkas Zsuzsa:</i> A vektorszkóprendszer alkalmazása a kinematikában	345
Beszámoló a Hatvani István-fizikaversenyéről ( <i>Kopcsa József</i> )	351
Jedlik Ányos Országos Általános Iskolai Fizikaverseny, Nyíregyháza ( <i>Jármezei Tamás</i> )	353
<b>HÍREK – ESEMÉNYEK</b> <i>Vajda István, Szalay András, Porjesz Tamás:</i> Szupravezetők a mindennapokban: a XXI. század technológiája	354
50 éves a CERN – ünnepi ülés az Akadémián ( <i>Horváth Dezső</i> )	356
Kitüntetés	360
2004. évi fizikai Nobel-díj	360
Már nem csak a csillagokból tekint le rájuk! ( <i>Láng Ágota</i> )	360
<i>A. Bodnár, S. Damjanovich, G. Vámosi:</i> Nano-engineering methods in biophysical research <i>Cs. Korpa:</i> Mesons and baryons in nuclear matter <i>J. Bölcshöldi:</i> Probability limits for the contacting of technical civilizations in space <i>D. Tar:</i> Observations on the coming about, persistence and disappearance of globular lightnings <i>Jáki Szaniszló:</i> A late awakening: Goedel in physics	
<b>COMMEMORATIONS</b> T. Neugebauer, 1904–1977 ( <i>K. Nagy</i> )	
<b>TEACHING PHYSICS</b> <i>Z. Farkas:</i> The Vectorscope system applied in kinematics The Hatvani István competition in physics ( <i>J. Kopcsa</i> ) The Jedlik Ányos competition in physics for primary schools ( <i>T. Jármezei</i> )	
<b>EVENTS</b> <i>I. Vajda, A. Szalay, T. Porjesz:</i> XXI. century technology: superconducting devices in everyday use Celebrating 50 years of CERN – The Hungarian Academy's Session ( <i>D. Horváth</i> ) Award The 2004 Nobel prize in physics The Károly Simonyi secondary school in Egyházaskölyk ( <i>Á. Láng</i> )	
<i>A. Bodnár, S. Damjanovich, G. Vámosi:</i> Anwendungen der Nanotechnologie in der biophysikalischen Forschung <i>Cs. Korpa:</i> Mesonen und Baryonen in der Kernmaterie <i>J. Bölcshöldi:</i> Wahrscheinlichkeits-Grenzwerte für die Kontaktaufnahme technischer Zivilisationen im All <i>D. Tar:</i> Beobachtungen am Zustandekommen, Fortbestehen und Verschwinden von Kugelblitzen <i>Jáki Szaniszló:</i> Ein spätes Erwachen: Gödel in der Physik	
<b>ZUR ERINNERUNG</b> T. Neugebauer, 1904–1977 ( <i>K. Nagy</i> )	
<b>PHYSIKUNTERRICHT</b> <i>Z. Farkas:</i> Anwendungen des Vectorscope-Systems in der Kinematik Der Hatvani-István-Wettbewerb in Physik ( <i>J. Kopcsa</i> ) Der Jedlik-Ányos-Wettbewerb in Physik für Grundschulen ( <i>T. Jármezei</i> )	
<b>EREIGNISSE</b> <i>I. Vajda, A. Szalay, T. Porjesz:</i> Technologie des XXI Jh: Supraleiter im Alltag 50 Jahre CERN: Feier an der Ungarischen Akademie der Wissenschaften ( <i>D. Horváth</i> ) Auszeichnung Nobelpreis 2004 in Physik Die Károly-Simonyi-Grundschule in Egyházaskölyk ( <i>Á. Láng</i> )	
<i>A. Bodnár, Sz. Damjanovich, D. Vámosi:</i> Методы нанотехнологии в биофизике <i>Ц. Корпа:</i> Мезоны и барионы в ядерном веществе <i>Й. Бёлчфёлди:</i> Вероятностные пределы установлению связи технических цивилизаций в космосе <i>Д. Тар:</i> Возникновение, существование и исчезновение шаровых молний <i>С. Яки:</i> Позднее пробуждение: Гёдель в физике	
<b>НА ПАМЯТЬ</b> T. Neugebauer 1904–1977 ( <i>K. Nagy</i> )	
<b>ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ</b> <i>Ж. Фаркаш:</i> Применение системы Векторскоп в кинематике Конкурс по физике им. И. Хатвани ( <i>Й. Колча</i> ) Конкурс по физике им. А. Едлика для начальных школ ( <i>Т. Ярмезеи</i> )	
<b>ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ</b> <i>И. Вайда, А. Салай, Т. Порьес:</i> Технология XXI. века: сверхпроводники в быту 50 лет Институту CERN – торжественная сессия Академии Наук ( <i>Д. Хорват</i> ) Награда Нобелевская премия по физике 2004 г. Школа им. Кароя Шимони на месте рождения ( <i>А. Ланг</i> )	

# Fizikai Szemle

## MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

A Fizikai Szemle az Akadémia által 1862-ben elindított Matematikai és Természettudományi Értesítő és az 1891-ben Eötvös Loránd által alapított Matematikai és Physikai Lapok utóda és folytatása

LIV. évfolyam

10. szám

2004. október

## NANOTECHNOLÓGIA A BIOFIZIKÁBAN

Bodnár Andrea, MTA–DE Sejtbiophysikai Kutatócsoport

Damjanovich Sándor, MTA–DE Sejtbiophysikai Kutatócsoport és DE Orvos- és  
Egészségtudományi Centrum, Biofizikai és Sejtbiológiai Intézet

Vámosi György, MTA–DE Sejtbiophysikai Kutatócsoport

### A nanotechnológiáról általában

A nanotechnológia manapság gyakran használt bővös szó, amelyet csodálattal hallgatnak azok, akik nem nagyon tudják megfejtetni a szó igazi jelentését. Pedig a dolog – mint az rendszerint lenni szokott – igen egyszerű, ugyanakkor nagyon hasznos fogalmak, módszerek és technikai eljárások gyűjtőnevét takarja, amelyek megértése érdekünkben áll, ha a természetet mélyebben meg akarjuk ismerni.

A legegyszerűbb és legérthetőbb meghatározás a szó jelentésére vonatkozik. A „nano” a nanométerre utal, tehát távolságot jelent: a méternek – amiről mindenkinek van fogalma – az egymilliárdod részét. Erről a hosszúságról ugyanakkor tapasztalati ismereteink természetesen nincsenek, így a valóságban elképzelni sem tudjuk, akkor sem, ha világosan értjük a szó jelentését. Azonban ha azt mondjuk, hogy az élővilág sejteinek alkatrészei ebbe a nagyságrendbe sorolhatóak, akkor valahogy közelebb érezzük magunkat ehhez a fogalomhoz. A csak mikroszkóppal látható baktériumok (pl. a bélcsatornáinkban állandóan jelenlévő, velünk együtt élő és csak mikroszkóppal látható *Escherichia coli* baktérium) hossza körülbelül 1 nanométer ezerszeresének felel meg. Már ebből is látható, hogy a nanométer valóban igen kis távolság. A jelenleg legmodernebb elektron- és más mikroszkópos eljárások képesek a nanométert is „láthatóvá” tenni [1]. *Gerd Binnig* és *Heinrich Rohrer* a 80-as évek elején közölt, később Nobel-díjjal elismert képe – melyet nagyon sokan megcsodálhattak – képes volt alagúteffektuson alapuló pásztázó elektronmikroszkóp segítségével az atomok – a konkrét esetben grafitkristály atomjainak – bemutatására is. Négy egymás mellé helyezett szénatom átmérője nagyjából egy nanométer távolságot jelent. Akkor miért foglalkozunk vele egyáltalán, ha

ezek a kis távolságok a mi fogalmi világunkban oly keveset jelentenek?

A modern technológiák arra törekednek, hogy minél több elektronikai elemet zsúfoljanak össze a lehető legkisebb helyen. Ennek az az oka, hogy az elektronoknak a fény sebességét közelítő mozgási sebessége ellenére a mikroelektronika, a számítástechnika világában elvégzendő műveletek száma csillagászati méreteket ölt, így a legkisebb út-idő nyereség is számít. Az elektronikai egységek alapterülete évente körülbelül 1,8-szer több elemet képes befogadni. Tehát valóban létezik a műszaki fizika oldaláról közelítve olyan nanotechnológia, amelynek a szinte minden határon túli miniatürizálás, illetve azon a skálán történő technikai manipulálás a célja.

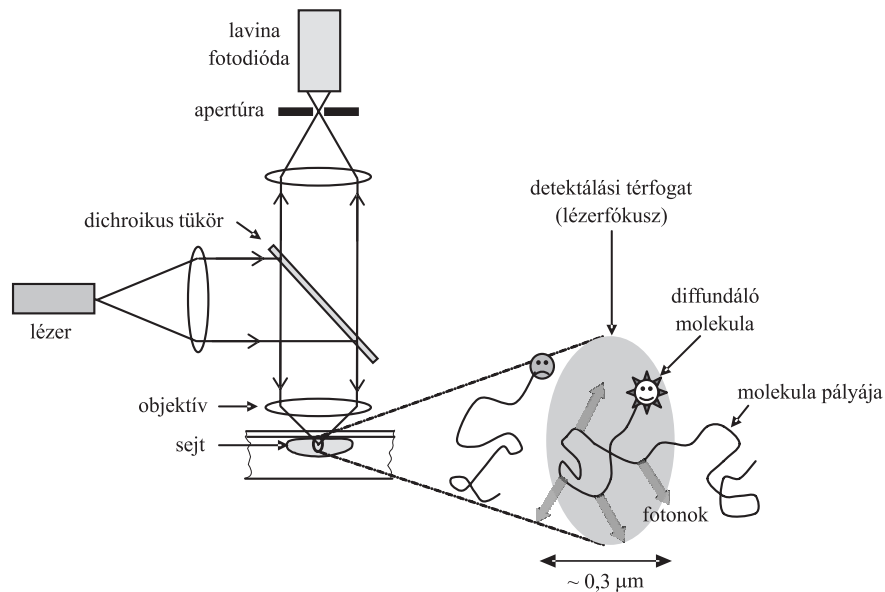
### Nanotechnológia az életfolyamatok vizsgálatában

Ezek eléggé közismert tények, de mi köze van ennek a biofizikához? A nanotechnológiát a biológia „hasznosította” leghamarabb. A molekulák világában a nanométeres nagyságrend, a nanométeres világ az a természetes lépték, amelyben az életfolyamataink lejátszódnak. A molekuláris méretek biokémiai megközelítése és tanulmányozása viszonylag egyszerűnek tűnik, hiszen csak tisztán kell izolálni a biokémiailag azonosított anyagokat, és akkor a csillagászati számú, de nagyjából azonos tulajdonságú, homogén molekulapreparátum a kémia, fizika és biokémia módszereivel azonosítható és viszonylag könnyen vizsgálható. A nehézségek akkor kezdődnek, amikor a molekulák kölcsönhatásait élő sejtekben és nem összetört sejtekből kivont preparátumban kívánjuk megismerni. Az egyedi molekulák vizsgálata szinte semmi gondot nem jelent a pásztázó elektronmikroszkó-

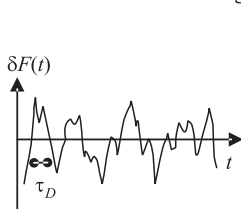
pia, az ugyancsak pásztázó atomerő-mikroszkópia (AFM, SFM [2]) vagy a fluoreszcenciát felhasználó pásztázó közelimező-optikai mikroszkópia (*Scanning Near-Field Optical Microscopy*, SNOM [3]) számára. Csomót lehet kötni a hosszú molekulákra, meg lehet próbálni eltörni a molekulát a csomók meghúzásával, és mindezt a képképző eljárások valamelyikével „látni” lehet. Azonban ha élő sejtek belsejében – vagy akár csak azok oly fontos külső felszínén – kívánunk a molekulák világával ismerkedni, akkor nehézségek sorával állunk szemben. A rendszert nemcsak szétszedni nem szabad, de a beavatkozás hatását is a lehető legkisebbre kell csökkenteni, ha a molekulák működését valóban háborítatlanul akarjuk megismerni. Ez az előfeltétele annak, hogy a sejtek működését a lehető legjobban megértsük és – amennyiben ennek szüksége felmerül (orvostudomány, agrártechnológiák stb.) – azt célzottan befolyásoljuk.

A nanométer nagyságrendjéhez képest a molekulák és a sejtek viszonylag nagyok. A sejtbiológiában meghatározó szerepet játszó fehérjék és nukleinsavak legtöbbször sok nm hosszúak, és természetes háromdimenziós állapotukban ugyancsak sok nm átmérőjűek. A sejtek – első közelítésben gömbök – nagyjából 5–70 mikrométer átmérője azonnal jelzi, hogy azokban nagyon sok és nagyon sokféle molekula fér el. A nanotechnológia megkísérli a fontosnak, érdekesnek ítélt molekulák egyedi tulajdonságainak, sejten belüli leőhelyeinek, mozgásának, környezetével való kölcsönhatásainak vizsgálatát. A nanovilág és az életfolyamatok vizsgálatának célszerű összekapcsolása – például vírusok áthaladási mechanizmusának vizsgálata a sejtek membránján keresztül – teljesen új irányt indított el nemcsak a virológiában, de magában a sejtbiológiában is. Lehetővé tette, hogy megismerjük, hogyan jutnak el a molekulák a sejtek belsejében szintézisük helyéről a végső rendeltetési helyükre.

Ezekhez a vizsgálatokhoz jelentős fizikai műszerezettségre és felkészültségre van szükség. A rendelkezésre álló fizikai módszerek hatékonysága lenyűgöző. Optikai csipesszel [4, 5] – ami egy kellően fókuszált, rendszerint infravörös lézernyáláb – nemcsak egyes sejteket tudunk megragadni, felemelni és például áthelyezni vizsgálat vagy kísérlet céljából valamilyen más sejt mellé, de műanyag gömböcskék segítségével például a sejtek felszínén gyakorlatilag egyenként lehet megadott molekulafajtákat „megránigálni”, és ezzel a sejtet valamilyen működésre, válaszra készíteni, vagy éppen a molekulák közötti erőhatások nagyságát megmérni.



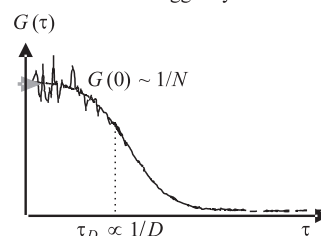
a fluoreszcencia időbeli ingadozása



$$G(\tau) = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T \delta F(t) \delta F(t+\tau) dt}{\langle F \rangle^2}$$



autokorrelációs függvény



Ábra. Fluoreszcencia-korrelációs spektroszkópia (FCS);  $F(t)$ ,  $\langle F \rangle$ : pillanatnyi, illetve átlagos fluoreszcenciaintenzitás,  $\delta F(t) = F(t) - \langle F \rangle$ ;  $\tau_D$ : diffúziós idő (egy részecske által átlagosan a detektálási térfogatban eltöltött idő);  $D$ : diffúziós állandó;  $G(0)$ : amplitúdó;  $N$ : átlagos molekulaszám a detektálási térfogatban

Az optikai spektroszkópiák a sejtek integritásának megbontása nélkül is lehetővé teszik egyedi vagy legalábbis igen kis darabszámú molekula vizsgálatát. A fluoreszcencia-korrelációs spektroszkópiában egy fókuszált lézernyáláb a sejt valamely alkotórészének 0,1 köbmikrométernél is kisebb térfogatelemét világítja meg. Az ott gerjesztett fluoreszcencia időbeli ingadozásának sebessége az egyedi molekuláknak a megvilágított térfogatba történő be- és kidiffundálásától függ, így az intenzitásgörbe időfüggésének –, illetve célszerűbben az abból képzett autokorrelációs függvénynek – a kiértékelése a fluoreszkáló molekula mozgékonyágáról, lokális diffúziós állandójáról ad információt (ábra). A mozgékonyágából pedig a környező molekulákkal, sejtalkotókkal – például a sejt vázát alkotó citoskelettonnal – kialakított kölcsönhatásokra vagy a több makromolekulából kialakult együtt mozgó molekulakomplex méretére következtethetünk. A keresztkorrelációs függvény alkalmazásával és különböző színűre jelölt molekulákkal pedig nem csupán azt lehet megmondani, hogy melyik molekula mellett milyen más molekulafajta található nanométeres távolságon belül, de azt is, hogy „ki kivel”, melyik molekula melyik más molekulával mozog együtt [6]. Ezt a módszert még a hetvenes évek elején fejlesztették ki kémiai reakciók vizsgálatára, és folyadék közegben vizsgálták különböző molekulák koncentrációját és diffúziós mozgását [7, 8]. A mai értelemben vett nano-

technológiai módszerré a biofizika alakította azáltal, hogy a konfokális mikroszkópiával párosítva septszintű vizsgálatokra is alkalmassá tette, nagy szolgálatot téve ezzel a sejtbiológiának [9, 10].

A megfelelően megválasztott, különböző színű fluoreszkáló molekulák a rezonancia-energiatranszfer [11] segítségével molekulapárok közötti távolságmérésre alkalmazhatók nanométeres pontossággal. Ezt az teszi lehetővé, hogy a fluoreszkáló festékmolekulák között fellépő, dipól–dipól kölcsönhatáson alapuló sugárzásmentes energiaátadás – rezonancia-energiatranszfer – hatásfoka távolságfüggő. Ha ezt a mérő módszert a jobb statisztika kedvéért azonos típusú sejtek nagy sokaságán akarjuk kiválasztott molekulapárok között elvégezni, akkor az áramlási citometriával kombinálva másodpercenként akár több száz sejtről gyűjthetünk pontos adatokat a bennük található molekulák fajtáiról, távolsági paramétereiről [12–15], vagy – kihasználva az optikai anizotrópia lehetőségeit – azok mozgékonyaságáról is [16]. Ezek a módszerek ma már alkalmazhatók a klinikai laboratóriumi diagnosztikában is, bár az érdeklődés az ilyen irányú vizsgálatok iránt még sajnálatosan kicsi.

Az atomerő-mikroszkópiát már említettük mint olyan módszert, amely a molekulák méreteire, eloszlására szolgálhat adatokat az élettanihoz közeli, „nedves” állapotban, az életfolyamatokhoz szükséges vizes pufferoldatban is (tehát nem az elektronmikroszkópia által megkövetelt nagyvákuumban!) [17, 18]. Ha a nanoméretű túmechanikai letapogatása nem biztosít elégséges felbontást a molekulafajta felismeréséhez, a fluoreszcencia is segítségül hívható a közelmező-optikai mikroszkópiában (SNOM). Ennek a felbontása nem olyan jó, mint az előbb említett atomerő-mikroszkópiáé, de a vizsgált anyagok azonosítását a fluoreszkáló jelzőanyagok (pl. az immunológiából ismert specifikusan kötődő ellenanyagok) lehetővé teszik. A SNOM – amelyet több helyen szinte egyszerre vezettek be 1987 körül – azon az elven alapszik, hogy ha a hullámhossznál kisebb átmérőjű, hegyes optikai szálon lép ki például látható fény, akkor a tőtől néhány nanométerre lévő mintából a hullámhossznál kisebb felületet világít csak meg. A megvilágított felületen elhelyezkedő, fluoreszkáló jelzőanyagokkal ellátott molekulák eloszlásáról, topográfiájáról az Abbe-elvből következő „hagyományos” optikai felbontóképeségnél sokkal jobb felbontással kapunk információt [19, 20]. Két- vagy többfotonos gerjesztéssel – megfelelő impulzuslézerek alkalmazásával – még tovább javítható a feloldás.

## Új utak – új lehetőségek

Új fejezet nyílik napjainkban a nanotechnológiában a kvantum- vagy mikropontok bevezetésével. A fizikai nanotechnológia ma már minden nehézség nélkül elő tud állítani adott, néhány (5–10–20) nm átmérőjű felvezető elemeket. Ezek a például CdSe és ZnS alapanyagból készült chippek megvilágítás hatására fényt bocsátanak ki. Ez eddig nem sok újat mond, mivel a fluoreszcencia segítségével ezt már régen meg tudjuk tenni. A mikropontok óriási előnye a festékekkel vagy akár a

természetes fluoreszkáló anyagokkal szemben az, hogy igen széles abszorpciós spektrummal, ugyanakkor a mikropont méretétől függő hullámhossz maximumú, igen keskeny sávú emissziós spektrummal rendelkeznek. Ez lehetővé teszi olyan megoldások alkalmazását a gyakorlatban, hogy különböző átmérőjű mikropontokkal specifikusan jelzett molekulafajták egyetlen gerjesztő fénysugár hatására az emissziós hullámok különböző színével jelzik a különböző molekulák együttes jelenlétét [21]. További előnye még ennek az optikai rendszernek, hogy a többszöri gerjesztés nem teszi tönkre, nem „égeti ki” az emittáló egységeket, így a megfigyelés időtartamának, illetve a gerjesztő fény intenzitásának nincs olyan szigorú korlátja, mint a hagyományos festékmolekulák alkalmazásakor. Ez olyan korábban kivitelezhetetlennek tűnő vizsgálatok elvégzését is lehetővé teszi, mint például egyetlen „hírvivő” (pl. hormon) molekula útjának nyomon követését a sejtbe történő belépéstől kezdve a felhasználás helyéig [22]. Természetesen ennek a már minden szempontból nanotechnológiai rendszernek is vannak hátrányai és alkalmazási problémái. A különböző átmérőjű mikropontokat el kell juttatni a megfelelő célmolekulákhoz és oda kell erősíteni azokhoz (és csak azokhoz). Ez nem mindig egyszerű folyamat, de végső fokon ez a nehézség a sokkal előnytelebbséggel rendelkező egyéb fluoreszcenciás rendszerek esetében is jelentkezik.

A biofizikai–biológiai nanotechnológia ismer olyan megoldást is, amely kiválasztott fehérjék génjeinek manipulálása révén egy, a tengeri élővilágban felfedezett, úgynevezett zöld fluoreszkáló fehérjét köt az adott fehérjéhez, és azok anyagcsereútjait a sejtekben láthatóvá teszi a fluoreszkáló zöld szín. Mivel ennek a zölden fluoreszkáló proteinnek (*Green Fluorescent Protein*, GFP) a színe a benne előforduló aminosavak kicsiny hányadának a kölcsönhatásától függ, ugyancsak genetikai manipuláció segítségével az eredetileg zöld színt szinte tetszőlegesen lehet más színre változtatni. Ezeknek a jelöléseknek az a hátránya, hogy a genetikai manipuláció önmagában is okozhat olyan változásokat, amelyek a megfigyelendő folyamatokat torzítják.

Széles körben ismert, hogy úgynevezett DNS-chipek segítségével nukleinsavakat, vagy hasonló elven más molekulákat, például fehérjéket lehet specifikusan azonosítani. Ennek alapja a makromolekulák komplementer felszínei közötti nagy specifitású felismerési folyamat. Egy néhány milliméter átmérőjű lapkára több tízezer különféle molekula templátja vihető fel, lehetővé téve ennyiféle molekula egyidejű kimutatását és mennyiségi analizisét. Ezeknek a módszereknek a humán genom (az emberi génállomány) analizisében, betegségek genetikai hátterének feltárásában [23], a gyógyszerhatóanyagok kifejlesztésében és kipróbálásában [24] stb. igen nagy szerepe volt és van.

A biológia és társtudományainak vizsgálómódszerei a mikroszkóp feltalálásától kezdve sokat profitáltak a fizika és a technika fejlődéséből. A fenti példák azt szemléltetik, hogy a nanotechnológiai módszerek bevezetése már most új fejezeteket nyitott az élettudományok fejlődésében.

## Irodalom

1. G. BINNIG, H. ROHRER – *Helv. Phys. Acta* 55(1982) 726
2. A. ASHKIN – *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 94(1997) 4853
3. P. GALAJDA, P. ORMOS – *Appl. Phys. Lett.* 80(2002) 4653
4. P. SCHWILLE, F.J. MEYER-ALMES, R. RIGLER – *Biophys. J.* 72(1997) 1878
5. E.L. ELSON, D. MAGDE – *Biopolymers* 13(1974) 1
6. D. MAGDE, E.L. ELSON, W.W. WEBB – *Biopolymers* 13(1974) 29
7. M. EIGEN, R. RIGLER – *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 91(1994) 5740
8. R. BROCK, G. VAMOSI, G. VEREB et al. – *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96(1999) 10123
9. T. FÖRSTER – *Ann. Phys.* 2(1948) 55
10. L. TRÓN, J. SZÖLLÖSI, S. DAMJANOVICH et al. – *Biophys. J.* 45(1984) 939
11. S. DAMJANOVICH, R. GÁSPÁR JR., C. PIERI – *Q. Rev. Biophys.* 30(1997) 67
12. S. DAMJANOVICH, L. BENE, J. MATKÓ et al. – *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 94(1997) 13134
13. Z. SEBESTYEN, P. NAGY, G. HORVATH et al. – *Cytometry* 48(2002) 124
14. L. BENE, M.J. FULWYLER, S. DAMJANOVICH – *Cytometry* 40(2000) 292
15. G. BINNIG, C.F. QUATE, C. GERBER – *Phys. Rev. Lett.* 56(1986) 930
16. S. DAMJANOVICH, G. VEREB, A. SCHAPER et al. – *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 92(1995) 1122
17. A. JENEI, S. VARGA, L. BENE et al. – *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 94(1997) 7269
18. E. BETZIG, J.K. TRAUTMAN – *Science* 257(1992) 189
19. P. NAGY, A. JENEI, A.K. KIRSCH et al. – *J. Cell. Sci.* 112(Pt 11)(1999) 1733
20. P. NAGY, L. MATYUS, A. JENEI et al. – *J. Cell. Sci.* 114(2001) 4063
21. T.D. LACOSTE, X. MICHALET, F. PINAUD et al. – *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 97(2000) 9461
22. D.S. LIDKE, P. NAGY, R. HEINTZMANN et al. – *Nat. Biotechnol.* 2004.
23. P. LIANG, A.B. PARDEE – *Nat. Rev. Cancer* 3(2003) 869
24. G. SAUTER, R. SIMON, K. HILLAN – *Nat. Rev. Drug Discov.* 2(2003) 962

# MEZONOK ÉS BARIONOK A MAGANYAGBAN

Korpa Csaba

Pécsi Tudományegyetem, Elméleti Fizika Tanszék

Az erősen kölcsönható szubnukleáris részecskék (hadronok) tulajdonságainak vizsgálata leginkább hadron-hadron ütközések megfigyelésével történik. A feles spinű hadronok (barionok) közül a legfontosabbak az atommag alkotóelemei, a proton és a neutron (nukleonok). Ezek szórásáról nagy pontosságú adatok állnak rendelkezésre, hiszen a proton elektromágneses mezőben jól gyorsítható és protonokkal, illetve könnyű magokban (pl. nehézhidrogén) kötött neutronokkal ütköztethető. Az egész spinű hadronok (mezonok) instabilak, és ez nehezíti kölcsönhatásuk vizsgálatát, de a könnyű mezonok (pionok, kaonok) nukleonokon történő szórásáról is nagy mennyiségű adat gyűlt össze.

A hadronok kölcsönhatását hadronok cseréjével lehet leírni, hasonlóan, mint ahogyan az elektromágneses kölcsönhatást fotonok cseréje jellemzi. A hadronok kölcsönhatása azonban mintegy két nagyságrenddel erősebb, mint az elektromágneses. Ezért általában nem alkalmazható a Born-közelítés, amely egyszeri kölcsönhatást, azaz egy hadron cseréjét feltételezi. Az egy hadron közvetítésével létrejövő *potenciált* kell a Schrödinger-egyenletben felhasználni a szórt hullám kiszámítására. Ilyen módon csak nemrelativisztikus részecskék szórása számítható, ami a könnyű mezonok esetében az impulzust legfeljebb pár száz MeV/c-re ( $c$  a fény sebessége vákuumban) korlátozza, a nukleonokra pedig mintegy 300 MeV/c határt ró.

Relativisztikus tárgyalást a kvantumtérelmélet tesz lehetővé, de ennek megoldási módszerei korlátozottan alkalmazhatók. A leginkább kifejlesztett eljárás a perturbációszámítás, amely a kölcsönhatás erősségét jellemző csatolási állandó hatványai szerinti kifejtést jelent. A hadronok esetében ez az eljárás nem célravezető, mert a csatolási állandók nagy értéke miatt a sor nem konvergál. Egy lehetséges nemperturbatív eljárás a téridő diszkretizálását és numerikus számolást használó *kvantumtérelmélet rácson*. Ez a módszer szórás tárgyalását egyelőre nem teszi lehetővé.

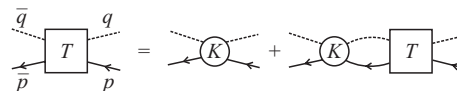
Egy nemperturbatív, mind szélesebb körben alkalmazott módszer az önkonzisztens Green-függvényeken alapuló számolás. A Green-függvények írják le a részecskék terjedését és szórását is. Egy részecske terjedését a két-pontos Green-függvénye jellemzi, ahol az egyik pont a részecske kezdeti térbeli és időbeli koordinátáját adja meg, a másik pont pedig a végállapot koordinátáit. A kétrészecskés rendszer evolúcióját, azaz a kétrészecskés szórását, a négyponos Green-függvény írja le az előbbihez hasonlóan. A részecskék tér- és időbeli koordinátái helyett a szórásnál célszerű az impulzust és az energiát használni a kezdeti és a végső állapotban jelen levő szabad részecskék jellemzésére. Ezt a négyponos Green-függvényt még  $T$ -mátrix és szórásamplitúdó néven is használják. Az önkonzisztens jelző arra utal, hogy a kiszámolandó (ismeretlen) Green-függvény nemcsak az egyenlet bal oldalán, hanem annak a jobb oldalán lévő összefüggésekben is megjelenik. Egy példa erre a kétrészecskés szórását leíró  $T$ -mátrix kiszámítása a Bethe-Salpeter (BS) egyenlet alapján (1. ábra).

A BS-egyenlet kompakt jelölésben:

$$T = K + K G T, \quad (1)$$

ahol  $K$  a kölcsönhatási potenciál (a rendszernek megfelelő Lagrange-sűrűségből ismert),  $G$  pedig a két részecske szórás nélküli, azaz egymástól független terjedését jellemző Green-függvény. A  $K$  és  $T$  négy „lába” a két (különböző vonalakkal jelölt) részecske kezdeti és végső 4-impulzusát (energiáját és impulzusát) jelzi. Az egyenlet az ismétlődő kölcsönhatások gráfjait összegzi, és az önkonzisztens megoldásig iterációkkal (pl.  $T$ -re a  $K$ -ból kiindulva) lehet eljutni.

1. ábra. A Bethe-Salpeter-egyenlet szemléltetése gráfokkal.





A BS-egyenlet iteratív, numerikus megoldása nem egyszerű feladat; a két részecske propagátorát tartalmazó (az 1. ábrán hurokként megjelenő) hurokintegrál végtelen, ami érték levonását, azaz *renormálást* igényel. Nemrég új eljárást dolgoztak ki egy zérus spinű és egy 1/2 spinű részecske szórását leíró BS-egyenlet megoldására [1]. A módszer a  $K$  kölcsönhatási potenciál és a  $T$  szórásamplitúdó parciális hullámok szerinti kifejtésén alapul. Ez utóbbi az ütköző részecskék relatív perdületét veszi a kifejtés alapjául, és a kis hatótávolságú hadron-hadron kölcsönhatásra jól alkalmazható. Ugyanis, ha a tömegközépponti rendszerben a részecskék impulzusa nem haladja meg a néhány száz MeV/c-t, az erős kölcsönhatás mintegy 1 fm hatótávolsága miatt a pályaperdület sem több, mint  $1-2\hbar$ , azaz elegendő az s-, p- és d-hullámok figyelembevétele. Az [1]-ben bevezetett és zérus spinű mezon nukleonon történő szórására alkalmazott módszer relativisztikusan kovariáns mennyiségeket használ a parciális hullámok szerinti kifejtés realizálására. Az ütköző részecskék öltöztetésére vákuumban általában nincs szükség, azaz szabad propagátorok (kétpontos Green-függvények) használhatók a hurokintegrálok kiszámítására. Ez egyszer s mindenkorra megtehető, hiszen csak a kifejtésben használt mennyiségek alakja játszik szerepet (ami az ütköző részecskék spinjétől függ), a parciális hullámok szerinti szórásamplitúdók nem. A BS-egyenlet ezután már algebrai egyenletrendszerre egyszerűsödik a  $T$ -mátrix parciális hullámok szerinti kifejtési amplitúdóknak megfelelően. A fenti módszerrel megoldott (s-, p- és d-hullámokat figyelembe vevő) BS-egyenlet  $T$ -mátrixa jól írja le a könnyű mezonok (pion, kaon) szórását nukleonokon 500 MeV/c laboratóriumi impulzusig [1].

## Kvark-gluon plazma vagy hadronikus anyag?

Mintegy harminc évvel ezelőtt a Berkeley-ben működő gyorsító részecskefizikai szempontból hasznos élettartama végéhez közeledett. A gyorsítót üzemeltető fizikusok rájöttek, protonok helyett (a berendezésen kis változásokat végezve) atommagokat is tudnának gyorsítani, így a program befejezése helyett annak más irányba tereléséről döntöttek. Atommagok ütköztetésével a maganyag tulajdonságainak (állapotegyenletének) vizsgálatát tűzték ki célul. Az így megszületett *nehézionfizika* a magfizika és a részecskefizika határán helyezkedik el, bár általában a magfizikához sorolják. Az (egy nukleonra vonatkoztatott) ütközési energia változtatásával különböző energia- és barionsűrűségű rendszerek állíthatók elő, ami a maganyag változatosabb vizsgálatát teszi lehetővé, mint az elektron-atommag és hadron-atommag szórások.

Egy másik deklarált cél lett a kvark-gluon plazma előállítása. A hadronok kísérletekben mutatkozó, nem zérus mérete összetettségre utal, amit nagyenergiájú elektronok (mélyen rugalmatlan) szórása protonokon igazolt is. Ez utóbbi kísérlet a protonban pontszerű alkotóelemek jelenlétét mutatta ki, amelyek alkalmanként keményen ütköznek az elektronnal. Ezek az elektromos

töltéssel rendelkező *kvarkok*, amelyek létezését *Gell-Mann*, *Zweig* és *Fritzsch* vetette fel. A múlt század 70-es éveinek elején bevezetett *kvantumszindinamika* szerint a kvarkok kölcsönhatását *gluonok* közvetítik, amelyek zérus spinű, az erős kölcsönhatást kiváltó töltéssel („színnel”) rendelkező bozonok. A szabad kvarkok és gluonok detektálásának sikertelensége szülte a *bezárási hipotézist*, amely szerint „színes” objektum nem létezhet szabad (a detektorba jutható) állapotban. A kvarkokból, antikvarkokból és gluonokból összetevődő hadronok mind „színtelenek”.

Mi történik, ha a hadronokból álló anyagot melegítjük? A mindennapi, atomokból összetevődő anyaghoz hasonlóan, amely mobilis elektronokból és ionokból álló plazmává alakul elég magas hőmérsékleten, a hadronikus anyag várhatóan kvarkokból, antikvarkokból és gluonokból alkotott *kvark-gluon plazmát* hoz létre. Ez azonban nem úgy történik, mint az atomok fokozatos, elektronok kibocsátásával járó ionizációja. Ha protonokból és neutronokból álló atommagot melegítünk, a nukleonok nem fogják az őket alkotó kvarkokat és gluonokat kibocsátani. Ehelyett szín kvantumszámmal nem rendelkező mezonokat és barion-antibarion párokat hoznak létre. A hőmérséklet emelkedésével ezek sűrűsége egyre növekszik, és a hadronok nem zérus mérete miatt átfedésük mind jelentősebb mértékű lesz, mígnem egy összefüggő kvark-gluon plazmacseppet hoznak létre, amelyben a kvarkok, antikvarkok és gluonok szabadon mozoghatnak. A színes objektumokat jellemző bezárás így – rövid időre és a tér kis tartományában – megszűnik. A számítások szerint a bezárás megszűnéséhez szükséges hőmérséklet  $10^{12}$  K körül van.

Az említett hőmérséklettel járó hatalmas energiasűrűséget ultrarelativisztikus, azaz majdnem a fény sebességével mozgó, nehéz atommagok ütközésével lehet létrehozni. Ha az ütközés folyamán a kvark-gluon plazma létre is jön, nagyon rövid idő ( $10^{-21}$ – $10^{-20}$  s) után a tágulással járó lehűlés miatt hadronokból és sokkal kisebb számú, leptonból és fotonból alkotott rendszerbe megy át [2]. Ez nagyon megnehezíti a kvark-gluon plazma létrejöttének vizsgálatát, és megköveteli, hogy minden, a kvark-gluon plazma létezésére utaló jelre ellenőrizzük, nem jöhet-e létre a hadronikus anyag tulajdonságai, azaz a hadronok közegbeli terjedése következtében.

A kvark-gluon plazma tranziens létrejöttének egyik jeleként ajánlották a ritka kvarkot (vagy antikvarkot) tartalmazó hadronok megnövekedett hozamát a csak hadronfázist létrehozó nehézion-ütközéshez képest. Ennek egyik oka, hogy két gluon fúziójával kvark-antikvark (közöttük ritka kvark – ritka antikvark) párok jöhetnek létre. A kísérletek valóban a ritkaság keltésének erősödését mutatták az atommag-atommag ütközésekben a proton-atommaghoz képest, egy nukleonra végezve az összehasonlítást. Ez még nem kötelezően utal a kvark-gluon plazma létrejöttére, hiszen a ritkasággal rendelkező hadronok a maganyagban is megváltozott tulajdonságokkal rendelkezhetnek. Az utóbbiak ismerete is szükséges a kísérleti eredmények analíziséhez.

## Parciális hullámok a közegben

Szabadon mozgó,  $m$  tömegű és  $\vec{p}$  impulzusú, stabil részecske energiája a speciális relativitáselmélet szerint

$$E = c \sqrt{m^2 c^2 + \vec{p}^2}. \quad (2)$$

Ha a részecske instabil, az energiája bizonytalanságra tesz szert, amely fordítottan arányos az élettartammal. Az energia és az impulzus kapcsolatát a *spektrálfüggvény* határozza meg, amelynek szélessége (és alakja) mutatja az energia bizonytalanságát. A közegben mozgó stabil részecske is az elszenvedett ütközések következtében energiabizonytalanságra tesz szert, amit éppúgy a spektrálfüggvény szélesedése mutat. A spektrálfüggvény kiszámításához ismerni kell a részecske *sajátenergiáját*, amely nem más, mint az amputált kétpontos Green-függvény. Az amputáció azt jelenti, hogy levágtuk a diagram két lábát, amelyek közül az egyik a kölcsönhatást nem tartalmazó propagátort, a másik a kölcsönhatásokat is figyelembe vevő terjedést jelöli.

A sajátenergia számításánál az amputált négyponos Green-függvényből ( $T$ -vel jelölt mennyiség a BS-egyenletben) indulhatunk ki, amelyben két, nem a vizsgált részecskét jelölő, lábból zárt hurkot alkotunk. A hurok jelenléte 4-dimenziós integrálást jelent, ahol az integrandusz a négyponos Green-függvény mellett a (hurkot alkotó) propagátort is tartalmazza. Ez az eljárás mind vákuumban, mind a nukleáris közegben alkalmazható, a különbség csak a használt Green-függvényekben van.

A közegben is az első lépés a BS-egyenlet megoldása. Ha feltételezzük, hogy a kölcsönhatási potenciál azonos a vákuumbelivel, a BS-egyenlet:

$$\hat{T} = K + K \hat{G} \hat{T}, \quad (3)$$

ahol  $\hat{G}$  a közegebeni kétrészecskés (kölcsönhatás nélküli) propagátor (amely nem más, mint a két kétpontos Green-függvény szorzata),  $\hat{T}$  a négyponos Green-függvény. Kifejezve a  $K$ -t az (1)-es egyenletből a  $G$ -n és  $T$ -n keresztül, a fenti egyenlet a

$$\hat{T} = T + T(\hat{G} - G) \hat{T} \quad (4)$$

alakban írható. Ez utóbbinak az előnye a (3)-mal szemben, hogy már nem tartalmazza a modellfüggő kölcsönhatási potenciált, hanem csak a szórási kísérletekből meghatározható  $T$  szórásamplitúdót. Meg kell jegyezni, a mérések a  $T$  Green-függvényt csak a tömeghéjon határozzák meg. A (4)-ben a hurokintegrál kiszámításához ismerni kell  $T$ -t a tömeghéjon kívül eső, nemfizikai tartományban is. A fizikai tartományon kívüli extrapolációhoz a Green-függvény általános elvek (pl. kauzalitás, keresztelési szimmetria, unitaritás) alapján megállapított tulajdonságait használhatjuk.

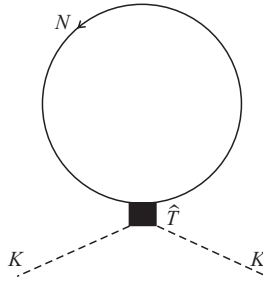
A  $\hat{T}$  olyan nagyszámú impulzuskomponens és energia függvénye, hogy a (4)-es egyenlet iterációs numerikus megoldása a leggyorsabb számítógéppel sem lehetséges. Az egyszerűsítést a vákuumban használt parciális hullámok szerinti kifejtés eredményezi. Az első megválaszo-

landó kérdés: alkalmazható-e a parciális hullámok szerinti kifejtés a  $\hat{T}$  közegebeni szórásamplitúdóra? A válasz, még forgásszimmetrikus közegben is, hogy nem. Ezt könnyen meg lehet érteni a következő gondolatmenettel. Képzeljük el, hogy a közegben ütköző két részecske egy rezonanciát (ez csak a szemléletességet szolgálja) alkot. Ha a részecskék impulzusának összege a közeg nyugalmi rendszerében zérus, a rezonancia a közeghez képest nyugodalomban van. Ha a nukleáris közeg forgásszimmetrikus (azaz spin-telített), a forgatás tetszőleges tengely körül szimmetria, és a perdület jó kvantumszám. Ebben az esetben a vákuumban használt parciális hullámok szerinti kifejtés alkalmazható, azaz nincs keveredés a parciális hullámok között.

Más a helyzet, ha a maganyag nyugalmi rendszerében a két részecske impulzusának összege nem zérus. Ekkor a keletkező rezonancia mozgásban van a közegben, és az impulzusa kiválasztott irányt definiál. Ennek következtében a forgatás tetszőleges tengely körül nem szimmetria, csak akkor, ha a forgástengely megegyezik az impulzus irányával. Így a rezonancia perdülete nem jó kvantumszám, ám az impulzusra vett vetület, azaz a *helicitás* igen. A parciális hullámok keverednek, még hozzá különböző különböző helicitások.

A fenti képet tükrözi a nemrég kifejlesztett, közegebeni szórásamplitúdót a parciális hullámokat általánosító tagok szerinti kifejtés egy zérus spinű és egy 1/2 spinű részecske ütközésének esetére [3]. A  $J = 3/2$  perdületig terjedő, azaz s-, p- és d-hullámokat tartalmazó kifejtés összesen 68 tagot tartalmaz. A kifejtési együtthatók, amelyek a kifejtés alapjául szolgáló 68 függvényt szorozzák, csak az ütköző részecskék teljes energiájától és teljes impulzusának nagyságától függenek. A közegebeni szórási tulajdonságai teljes egészében a kifejtési együtthatók (*redukált amplitúdók*) energia- és impulzusfüggésében vannak kódolva, mivel a kifejtés alapjául szolgáló 68 függvény univerzális. Ezek a beeső és szórt részecskék energiájától és impulzusától függő függvények szorzásra zárt rendszert alkotnak. Ez a rendszer tulajdonképpen két alrendszerre esik szét, melyek elemei szorzásra külön-külön zárt rendszert képeznek. Az egyik alrendszernek négy, a másiknak 64 eleme van, amelyek egy  $2 \times 2$ -es és egy  $8 \times 8$ -as mátrixba rendezhetők. Ily módon a függvények szorzási táblája mátrixszorzással realizálódik. A vákuumban alkalmazott, parciális hullámok szerinti kifejtésnek megfelelő tagok a mátrixok átlóján helyezkednek el. A  $2 \times 2$ -es mátrix átlóján a  $J = 3/2$ -del jellemzett p- és d-hullám kifejtési függvénye van, míg a  $8 \times 8$ -as mátrix átlóján mind a négy (két  $J = 1/2$  és két  $J = 3/2$ ) parciális hullámnak megfelelő függvény megtalálható. (A  $J = 1/2$  perdületű parciális hullám s- vagy p-hullám lehet.) Az átlón megmaradt négy helyet olyan kifejtési függvények foglalják el, amelyek a vákuumbeli kifejtésben nem szerepelnek. Ez a tömeghéjon kívüli szórásamplitúdót jellemző választási lehetőséget tükrözi, ami a mérések eredményét nem befolyásolja. Mivel  $3/2$  helicitása csak a  $J = 3/2$  kvantumszámú parciális hullámoknak van,  $1/2$  helicitása pedig mind a  $J = 1/2$ , mind a  $J = 3/2$  hullámoknak, a két alrendszer létezése összhangban van a különböző helicitások (nem) keveredésével, azaz a négy tagból álló alrendszer a  $3/2$  helicitású állapotokat tükrözi,





2. ábra. Az önkonzisztens sajátenergia, amely impliciten jelen van a  $\hat{T}$  közegbeli négypontos Green-függvényben is.

a másik alrendszer pedig az 1/2 helicitású állapotokat, és ezek nem keverednek egymással.

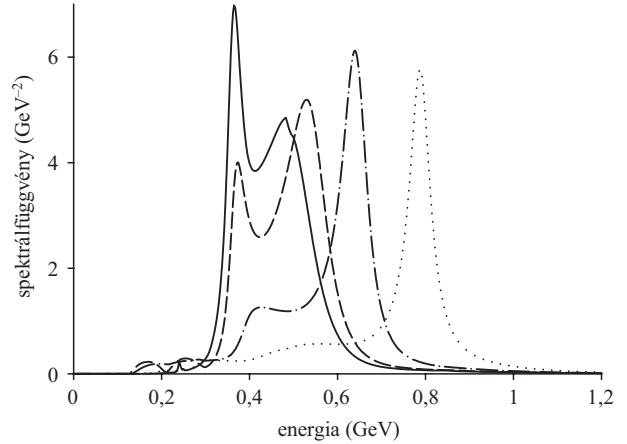
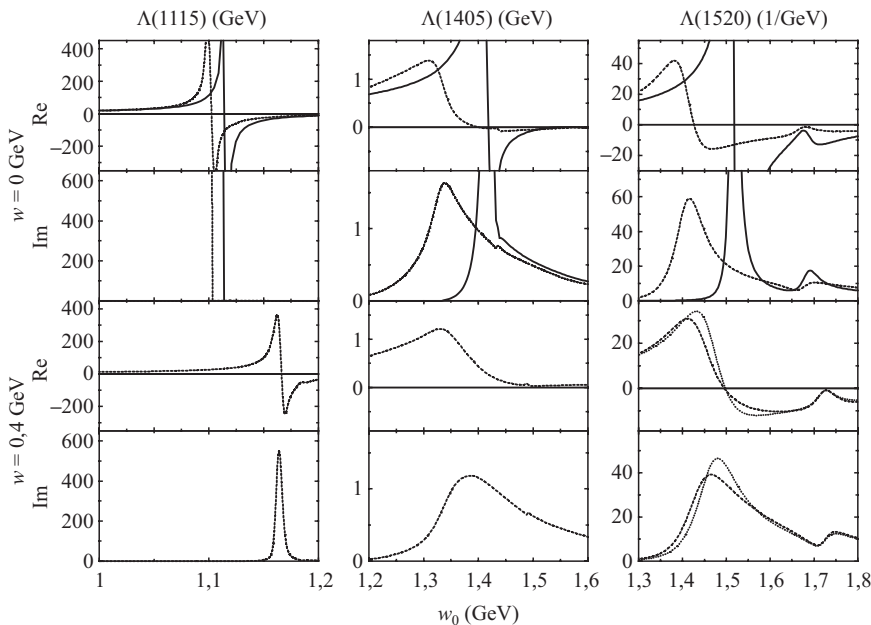
A közegben szerepet játszó nagyobb számú kifejtési függvény jelenlétét azzal magyarázhatjuk, hogy a vákuumban is jelen levő, függvény szerkesztéshez használható 4-vektorok mellett megjelenik a közeg 4-sebessége is, melynek definíciója:

$$u^\mu = \frac{1}{\sqrt{1 - \vec{v}^2/c^2}} (1, \vec{v}/c),$$

ahol  $\vec{v}$  a közeg sebességének vektora. A mátrixok nem-diagonális elemei (amelyek csak közegben nem zérusok) a parciális hullámok keveredését írják le.

Nagyobb perdületű parciális hullámok figyelembevételével, az a megfelelő kifejtési függvények szerkesztése a [3]-ban bevezetett elemek alapján nem okoz különösebb gondot, de a függvények száma gyorsan növekszik. Egy más irányú általánosítás a zérus spinű részecske 1/2-es vagy 1-es spinű részecskével történő helyettesítése. Ez lehetővé tenné a nukleon–nukleon kölcsönhatás, valamint a nukleonok 1-es spinű mezonon való szórásának vizsgálatát a közegben, azaz a nukleonok és az 1-es spinű mezonok (vektormezonok) sajátenergiájának önkonzisztens kiszámítását a maganyagban. Ez a munka folyamatban van.

4. ábra. A lambda-hiperonok tulajdonságait tükröző redukált amplitúdók.



3. ábra. Az antikaon spektrálfüggvénye normálsűrűségű maganyagban, különböző  $q$  impulzusértékekre. Folytonos vonal:  $q = 0$ , szaggatott vonal:  $q = 0,2$  GeV/c, pontozott-szaggatott vonal:  $q = 0,4$  GeV/c, pontozott vonal:  $q = 0,6$  GeV/c.

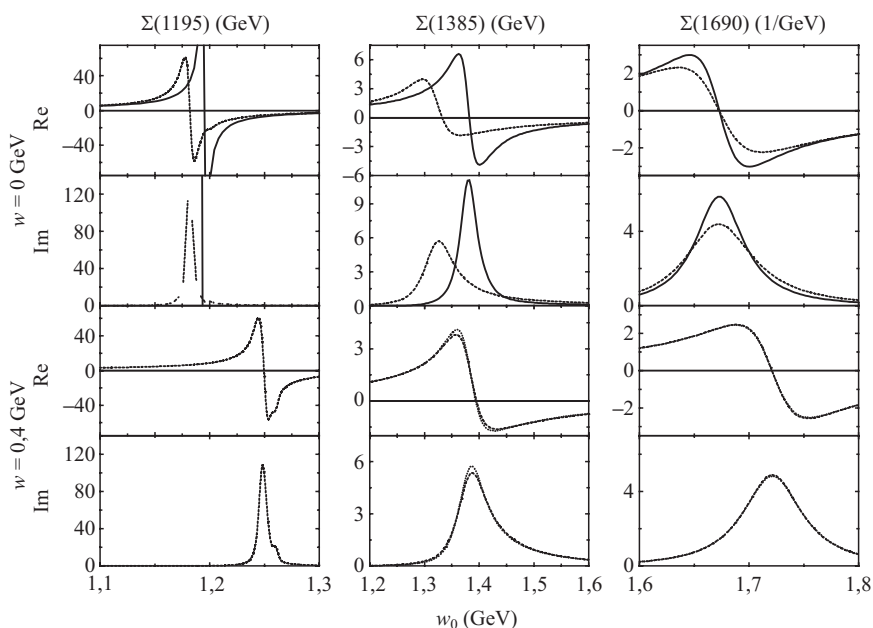
## Antikaonok és hiperonok a maganyagban

Az előbbieken vázolt módszer első alkalmazásai az antikaonok [3] és a pion [4] önkonzisztens sajátenergia-számításai voltak. A sajátenergiát a közegbeli szórásamplitúdó alapján lehet kiszámítani, figyelembe véve a maganyagot alkotó nukleonok propagátorát (2. ábra). Az így meghatározott sajátenergia összhangban kell legyen a (4)-ben jelen levő  $\hat{G}$  közegbeli propagátorral (amely tartalmazza a részecskék sajátenergiáját). Az önkonzisztens megoldáshoz iterálással lehet eljutni, amelyet  $\hat{T}$ -ra például a  $T$  vákuum szórásamplitúdóval lehet kezdeni.

Az antikaonok, mivel ritka kvarkot tartalmaznak, a nukleonokkal hiperonrezonanciákat alkothatnak, amelyek így fontos szerepet játszanak az antikaon–nukleon szórásban. A vonzó antikaon–nukleon kölcsönhatás miatt

az antikaonok energiája a maganyagban csökken a vákuumbeli energiához képest, ami elegendően nagy nukleonsűrűségeken oda vezethet, hogy antikaonok jelennek meg az anyag alapállapotában, azaz *antikaonok kondenzálódnak*. Kihunytt csillagokban – amelyek nagyrészt neutronokból állnak – valósulhat meg az antikaon-kondenzáció, aminek egyik megfigyelhető következménye az ilyen *neutroncsillagok* maximális tömegének csökkenése.

A kaonok tömege  $0,5$  GeV/c<sup>2</sup> körül van, ami azt jelenti, hogy a spektrálfüggvényük vákuumban zérus ez alatt az érték alatt. A 3. ábrán látható az antikaon-spektrálfüggvény normálsűrűségű, azonos számú protont és neutronot tartalmazó maganyagban, zérus hőmérsékleten. A normálsűrűség a nagy atommagok központi részét



5. ábra. A szigma-hiperonok tulajdonságait tükröző redukált amplitúdók.

jellemzi. A különböző vonaltípusok az antikaon más-más  $q$  impulzusának felelnek meg. A növekvő impulzussal a spektrálfüggvény maximuma a nagyobb energia felé tolódik.

A spektrálfüggvény jelentős szélesedést és nemtriviális struktúrát mutat. Észrevehető még az antikaonspektrum puhulása, azaz nem zérus spektrálfüggvény a vákuumbeli energiánál ( $c[m^2 c^2 + q^2]^{1/2}$ -nál) kisebb értékre. Nagyobb sűrűségen ez még inkább kifejezett.

A  $\hat{T}$  közegbeli antikaon–nukleon szórásamplitúdó is lényegesen eltér a  $T$  vákuumbeli amplitúdó viselkedésétől. A kifejtési függvények együtthatói, a redukált amplitúdók mutatják a szórást befolyásoló hiperonrezonanciák közegbeli viselkedését. A 4. és 5. ábrán láthatók a lambda- és szigma-hiperonokat jellemző redukált amplitúdók valós és képzetes részei. A  $\Lambda$  vagy  $\Sigma$  betű után zárójelben következő szám a hiperon tömegét jelzi,  $\text{MeV}/c^2$ -ben.

A redukált amplitúdók az energia ( $w_0$ ) függvényében vannak ábrázolva,  $w = 0$  és  $w = 0,4 \text{ GeV}/c$  impulzusra. A folytonos vonalak a  $w = 0$  panelekben mutatják a vákuumbeli amplitúdót, amely a szabad hiperonrezonancia alakjának felel meg. A  $\Lambda(1115)$  és a  $\Sigma(1195)$  vákuumban nagyon keskenyek, így az amplitúdó képzetes része nagyon hegyes függvény, amelyet egy vonal jelez.

A nukleáris közeg hatását a hiperonrezonanciákra legjobban a 4. és 5. ábrán látható redukált amplitúdók képzetes része illusztrálja. A  $w = 0$  panelekben a rezonanciagörbék maximuma mutatja a közegbeli tömeget, a görbék szélessége pedig az impulzusfüggő energiabizonytalanságot (élettartamot), azaz a részecske spektrálfüggvénye jellemzésének tekinthetjük az említett görbét.

A vákuumbeli görbékkel történő összehasonlítás a hiperonok közegbeli szélesedését és alacsonyabb energia felé tolódását mutatja (kivéve a  $\Sigma(1690)$ -et), ami az antikaonok szélesedésének és puhulásának (energia-csökkenésének) a következménye.

Hasonlóan markáns közegbeli változásokra utal a pion- és a nukleonrezonanciák vizsgálata [4]. Általános következtetésként elmondható, hogy a könnyű mezonok a maganyagban jelentős szélességre tesznek szert, ami megkérdőjelezi a kvázirészecske-közelítés alkalmazását. A barionrezonanciák is kiszélesednek, néhány esetben ez a maganyagban a feloszlásukhoz vezet.

#### Irodalom

1. M.F.M. LUTZ, E.E. KOLOMEITSEV – Nucl. Phys. A 700 (2002) 193
2. U.W. HEINZ – Nucl. Phys. A 721 (2003) 30
3. M.F.M. LUTZ, C.L. KORPA – Nucl. Phys. A 700 (2002) 309; C.L. KORPA, M.F.M. LUTZ – Heavy Ion Phys. 17 (2003) 341
4. C.L. KORPA, M.F.M. LUTZ – nucl-th/0306063

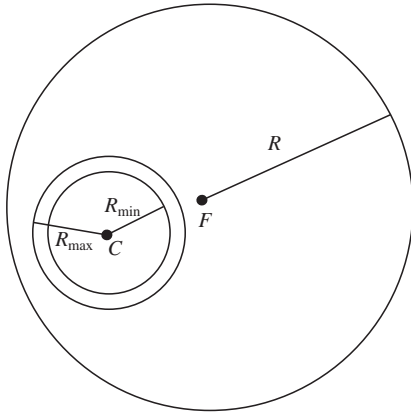
## TECHNIKAI CIVILIZÁCIÓK KAPCSOLATAINAK VALÓSZÍNŰSÉGI KORLÁTJAI

Bölcsföldi József  
Gábor Dénes Főiskola, Budapest

A Világegyetem általunk ismert részének mintegy 4%-át alkotja a technikai civilizáció létrejöttéhez szükséges bariónos anyag (Németh Judit – Fizikai Szemle, 2004/1). Tekintve továbbá, hogy az eddig megvizsgált csillagok mintegy 6%-nál találtunk exobolygókat, egy naprendszernek nem minden bolygóján létezik civilizáció, és egy adott technikai civilizáció élettartama rövidebb, mint az anyabolygóé, a technikai civilizáció pusztaságának valószínűsége  $10^{-4}$  alatti értéknek tűnik. Jelen dolgozat a lehetséges technikai civilizációk kapcsolatainak vizsgálatával foglalkozik.

### A technikai civilizáció életjel-gömbhéja

Valamely technikai civilizáció élete folyamán rádiókészülékeket, radarberendezéseket, mikrohullámú eszközöket stb. használva akaratlanul is életjeleket sugároz a világűrbe. A civilizáció kipusztulásával ezek a sugárforrások megszűnnek. Így a technikai civilizáció egy életjel-gömbhéjat hagy maga után, mely fénysebességgel távolodik a kibocsátás helyétől, eközben vastagsága állandó (ábra).



Ábra. A C, korábban létezett technikai civilizáció életjel-gömbhéja. F a Föld, R a világuír általunk ismert részének sugara,  $R = 15 \cdot 10^9$  fényév,  $R_{\max}$  illetve  $R_{\min}$  a C technikai civilizáció életjel-gömbhéjának maximális, illetve minimális sugara.

## Az egyirányú kapcsolat valószínűsége

Legyenek A és B tetszőleges technikai civilizációk a Világegyetem általunk ismert részében. A B technikai civilizáció akkor veheti az A technikai civilizáció adását, ha éppen akkor él, amikor benne van A életjel-gömbhéjában. Annak valószínűsége, hogy a B technikai civilizáció éppen az A civilizáció életjel-gömbhéjában él, azaz venni tudja A adását, a geometriai valószínűség ismert törvényei alapján

$$p < \frac{V_{\text{gömbhéj}}}{V_{\text{világuír}}}, \quad (1)$$

ahol  $V_{\text{világuír}}$  az Univerzum általunk ismert részének térfogatát jelenti.  $V_{\text{világuír}}$  elvileg – a geometriai valószínűség definíciója alapján – a teljes Világegyetem térfogatát jelentené, de a Világegyetem általunk nem ismert részére nem tehetünk kijelentéseket. Az (1) kifejezés felső korlát voltát egyrészt az indokolja, hogy a technikai civilizáció csillaghoz kötött, viszont az életjel-gömbhéjnek nincs minden pontjában csillag, másrészt nem biztos, hogy a B civilizáció éppen akkor él, amikor az A civilizáció életjel-gömbhéjében van, lehet, hogy már holtan kerül bele.

$$V_{\text{gömbhéj}} = 4\pi \frac{R_{\max}^3}{3} - 4\pi \frac{R_{\min}^3}{3}, \text{ illetve } V_{\text{világuír}} = 4\pi \frac{R^3}{3}$$

alapján

$$p < \frac{R_{\max}^3 - R_{\min}^3}{R^3}, \quad (2a)$$

ahol  $R_{\max}$ , illetve  $R_{\min}$  az A civilizáció életjel-gömbhéjának maximális, illetve minimális sugara, R a Világuír általunk ismert részének sugara, azaz  $R = 15 \cdot 10^9$  fényév.

Például  $R_{\max} = 9 \cdot 10^6$  fényév,  $R_{\min} = 4 \cdot 10^6$  fényév esetén annak valószínűsége, hogy B civilizáció veszi A civilizáció adását (2a) szerint  $p < 1,97 \cdot 10^{-10}$ . Ennek alapján elképzelhetjük, hogy milyen nagy esemény lenne a Földön, ha venni tudnánk egy korábban létezett technikai civilizáció elektromágneses jeleit.

Mivel  $R_{\max} = cT_{\max}$ ,  $R_{\min} = cT_{\min}$  és  $R = cT$ , ahol T az ősrobbanástól,  $T_{\max}$  illetve  $T_{\min}$  az A technikai civilizáció megszületésétől, illetve kipusztulásától eltelt idő, c a fénysebesség, az egyirányú kapcsolat valószínűségét a

$$p < \frac{T_{\max}^3 - T_{\min}^3}{T^3} \quad (2b)$$

összefüggés alapján is megkaphatjuk.

## Két technikai civilizáció interaktív kapcsolatának (párbeszédének) valószínűsége

Annak a feltétele, hogy párbeszéd létrejöhhessen, egyfelől az, hogy mindkét civilizáció létezzon, azaz életjel-gömbhéjuk minimális sugara nulla legyen ( $R_{\min 1} = R_{\min 2} = 0$ ), másfelől pedig, hogy hosszú életűek és közeliak – gyakorlatilag azonos galaxisbeliek – legyenek. Tétélezzük fel ezeket. Ekkor R annak a galaxisnak a sugarát jelenti, amelyre a vizsgálatot éppen végezzük, és az  $R_{\max 1} < 2R$ ,  $R_{\max 2} < 2R$  feltételekkel korlátozódunk a vizsgált galaxisra.

Legyen annak valószínűsége, hogy A adását B veszi,  $p_1$ . Hasonlóképpen annak valószínűsége, hogy B adását A veszi, legyen  $p_2$ . Mivel ezek a valószínűségek egymástól függetlenek, a párbeszéd valószínűsége

$$p = p_1 p_2. \quad (3)$$

Így két tetszőleges, de azonos galaxisbeli technikai civilizáció közötti párbeszéd valószínűségére (2a) és (3) alapján a

$$p < \frac{k R_{\max 1}^3 R_{\max 2}^3}{R^6} \quad (4a)$$

összefüggés adódik, ahol  $k = 1/64$ ,  $R_{\max 1}$ , illetve  $R_{\max 2}$  az A, illetve B civilizáció életjel-gömbhéjának (gömbjének) maximális sugara, R a vizsgált galaxis sugara, valamint  $R_{\max 1} < 2R$ ,  $R_{\max 2} < 2R$ .

Tekintve, hogy  $R_{\max 1} = cT_1$ ,  $R_{\max 2} = cT_2$ ,  $R = cT$ , ahol  $T_1$  az A,  $T_2$  a B létező civilizációk életkora, T az az idő, amely alatt a fény a vizsgált galaxis sugarát befutja, c pedig a fénysebesség, az A és B civilizációk párbeszédének valószínűségét

$$p < \frac{k T_1^3 T_2^3}{T^6} \quad (4b)$$

révén is kifejezhetjük. Itt  $k = 1/64$  és  $T_1 < 2T$ ,  $T_2 < 2T$  feltételekkel korlátozódunk a vizsgált galaxisra. Például, ha  $T_1 = 10^4$  év,  $T_2 = 2 \cdot 10^4$  év és  $T = 10^5$  év, akkor (4b) szerint a párbeszéd valószínűségére  $p < 1,25 \cdot 10^{-7}$  korlát adódik.

Logikailag az emberiség a) első, b) köztes, c) utolsó, illetve d) egyedüli lehet a lehetséges technikai civilizációk közül. Az a) és d) esetben a vételnek, a c) és d) esetben az adásnak semmi gyakorlati jelentősége sincs. Azonban b) és c) esetben a folyamatos vételnek, a) és b) esetben a folyamatos adásnak nagy jelentősége van.

S mivel nem tudjuk, hogy az emberiségre nézve melyik eset áll fenn, folyamatos adásra és folyamatos vételre célszerű berendezkednünk.

Mindez azt is jelenti egyfelől, hogy a földi emberi intelligencia és technikai civilizáció felértékelődik, mert lehetséges, hogy egyedüli a Világmindenségben. Másfelől a valószínűségi felső korlátok kicsiny volta nemes és rendkívül izgalmas feladattá teszi az exocivilizációk kutatását.

Irodalom:

ALMÁR IVÁN: *A SETI szépsége. Kutatás Földön kívüli civilizációk után* – Vince Kiadó, Budapest, 1999

STEPHEN HAWKING: *Az idő rövid története* – Talentum, Budapest, 1998

STEPHEN HAWKING: *A világegyetem dióhéjban* – Akkord Kiadó, Budapest, 2002

SOLT GYÖRGY: *Valószínűségi számítás*, 10. kiadás – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1999

NÉMETH JUDIT: *Mi az a sötét energia?* – Fizikai Szemle, 2004/1

## A GÖMBVILLÁM KELETKEZÉSÉNEK, LEFOLYÁSÁNAK ÉS ELTŰNÉSÉNEK MEGFIGYELÉSE

A jelenség egy teljesen új, fenomenologikus leírása

Tar Domokos

Eidgenössische Technische Hochschule,  
Zürich, Svájc

*Az irodalomban keresik azt a szemtanút, aki nemcsak látott gömbvillámot, hanem fizikus is. A szerző, aki fizikus, pontosan és részleteiben megfigyelte 1954-ben a Margitszigeten egy gömbvillám keletkezését, a jelenség lefolyását és eltűnését. Azóta se felejtette el ezt a különös, gyönyörű és egyúttal félelmetes tüneményt. A szerző, amíg aktívan dolgozott, nem ért rá a megfigyeltek értelmezésével foglalkozni. Nyugdíjazása után azonban közel egy éves szakirodalmi búvárkodással áttanulmányozta a téma legfontosabb közleményeit, aminek során kiderültek a mai gömbvillám-modellek biányosságai. A megfigyelés mozaikdarabjait összerakva sikerült egy új elméletet fölláttatni, amely teljesen megfelel a megfigyeléseknek. E cikkben ezen új elmélet kerül bemutatásra, és egy új elnevezést is javasolunk a „gömbvillámnak” a „villámgómbtól” való megkülönböztetésére.*

### A szemtanú megfigyelése

1954-ben a budapesti Eötvös Egyetem másodéves fizikus-hallgatója voltam, a negyedik félévet végeztem. Egy meleg nyári délelőtt a Margit-szigeten haladtam az uszoda irányába. A sziget, amely a Duna két ága között helyezkedik el, egy természetes, gyepes terület, kevés fával, körülbelül 120 m tengerföldről magasságban. Az eget már sötét felhők borították, a hőmérséklet 25–27 °C volt. Vihar közeledett, és a távolban már több villám is lecsapott. Erős szél kerekedett esővel. A front gyorsan közeledett felém. A közelben semmilyen menedékhely sem volt. Elhatároztam, hogy gyorsan elérem az uszoda bejáratát, még mielőtt egy villám esetleg agyoncsapna. Nem

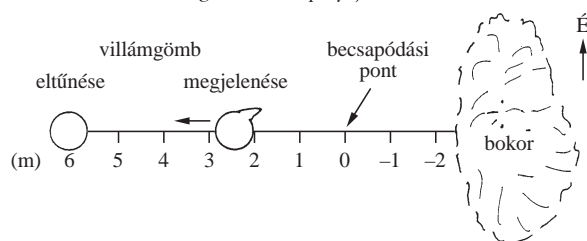
A *Physica Infiltrans* című Magyar-Osztrák Fizikus Vándorgyűlésen, Szombathelyen, 2004. augusztus 24-én elhangzott előadás szerkesztett változata. Abstracts ed. *A. Horváth*, p. 11, Eötvös Loránd Fizikai Társulat, Budapest, 2004. A kézirat közjegyző által hitelesítve 2004. március 18-án, Stäfa, Svájc. A szerző címei: CH-8712 Stäfa, Eichlenstrasse 16, Svájc, e-mail: d.tar@bluewin.ch, telefon: +41 44-796-17-63.

szaladtam, mert gondoltam, hogy az veszélyes lenne. A levegő nedvességtartalma az eső miatt közel 100% volt.

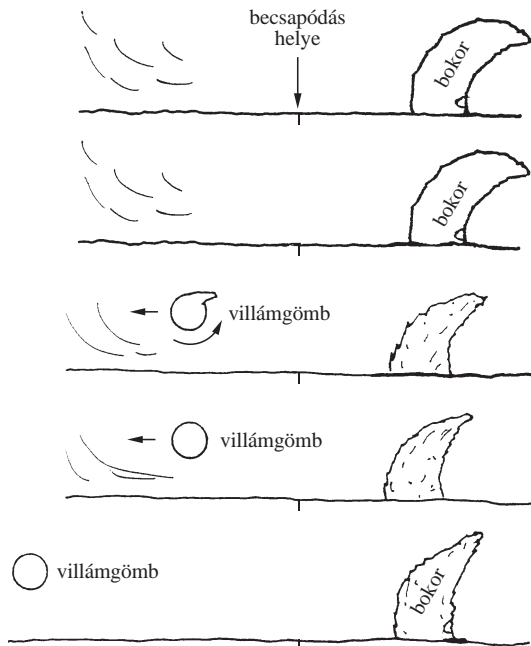
Hirtelen éppen előttem, körülbelül 50 m távolságra egy borzalmasan erős villám csapott a fűbe. Azóta sem hallottam ilyen hatalmas dörrenést. A villámcsatornát láttam anélkül, hogy a fejem elfordítottam volna. Ezért a jelenség minden részletét azonnal meg tudtam figyelni. A csatorna átmérője körülbelül 25–30 cm és nagyon fényes volt. Egyenes vonalban ütött le a fűbe. A magassága több mint 7 m volt. A villám fénye megvilágított egy bokrot körülbelül 2–3 kis fával a közepén, ami körülbelül 2,5 m távolságra volt a becsapódási ponttól (1. ábra). A bokor körülbelül 2 m magas volt.

Azonnal egy nagyon erős forgószél keletkezett. A szél erősen meghajlította a bokrot tölem jobbra (2. ábra). A villám eltűnése után aránylag sötét lett a vastag felhők és a sötét épület miatt a háttérben. Még mindig láttam az erős szélről meghajlított bokrot, és a faleveleket, fűvet és a port örvényleni a levegőben. Közel 2 másodperc sötétség után (3. ábra) egy szép fényes gömb jelent meg körülbelül 1,2 m magasságban a föld felett. Az átmérője 25–35 cm volt. A megjelenési hely pontosan akkora távolságra volt a becsapódási ponttól, mint a bokor ugyanattól, de az ellenkező irányban (1. ábra). A gömb nagyon fényes volt, mint egy kis Nap. Volt egy vagy két „tolla”, amiből meg lehetett állapítani, hogy a gömb az óramutatóval ellenkező irányban forgott a megfigyelőhöz képest, ahol a becsapódási pont jobb felől volt. A forgási tenge-

1. ábra. A gömbvillám pályája fölülről nézve



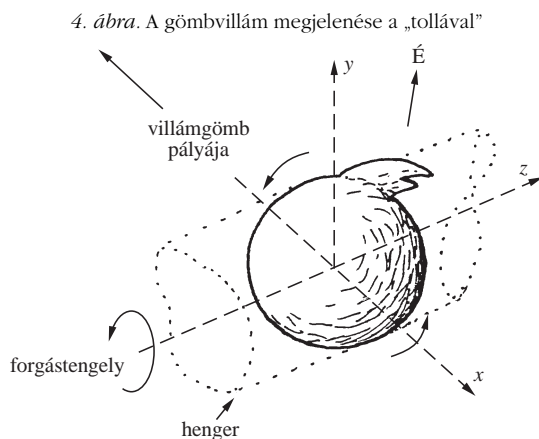




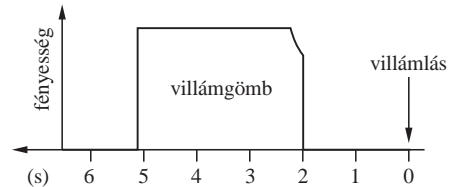
2. ábra. A gömbvillám megfigyelése

lye párhuzamos volt a földdel és merőleges az út irányára (2. és 4. ábra), ami azon az egyenesen volt, amely a bokor közepét és a becsapódási pontot összeköti (1. ábra). A tolla nem volt olyan fényes, mint a gömb (vörös). Ami nagyon különös volt, hogy a toll nem az  $x$ - $y$  síkban volt, hanem az  $x$ - $y$ - $z$  tégelyedben, azaz északi irányban (4. ábra). Ez azt jelentette, hogy a tollának mindhárom irányban volt komponense. Nagyon rövid idő múlva (kb. 0,3 s) a toll eltűnt a gömbben.

Ekkor jelent meg a „villámgömb” teljes szépségében. Ez különbözik a később megemlítendő, nagyenergiájú gömbvillámtól, amely még ritkábban jelenik meg. Az erős örvényszelek ellenére stabilan vándorolt egyenes sebességgel az említett egyenes mentén balra. A fényessége konstans volt az egész felületén, és a gömb teljesen éles határokat mutatott. Most már nem láttam semmiféle forgást. Az első gondolatom az volt, hogy „Ilyen különös jelenség létezik a Természetben!”. A gömb nagysága is ugyanaz maradt. Közel 3 s múltán a gömb hirtelen eltűnt, mint egy szappanbuborék (3. ábra). Nem hallottam semmi zajt, lehet, az eső és a szél miatt.



4. ábra. A gömbvillám megjelenése a „tollával”

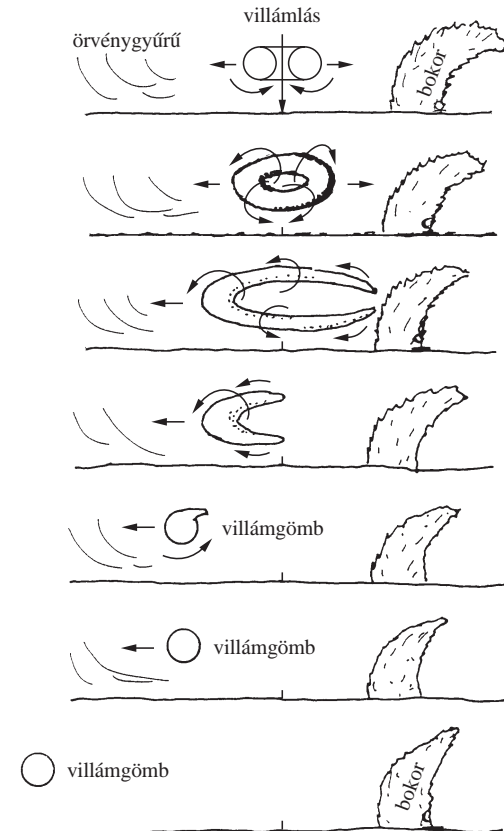


3. ábra. A gömbvillám szubjektív fényessége az idő függvényében

## A villámcsatorna leírása

Spektroszkópiai mérésekből tudjuk, hogy a villámcsatorna hőmérséklete 20 000–30 000 °C. A csatorna átmérője 15–30 cm. A hőmérséklet nagyon gyorsan csökken a sugárirányú távolsággal és az idővel [17]. A felhőknek 20–50 MV feszültsége van a földhöz képest. A csatorna árama 10–100 kA. Az első kisülés körülbelül 10–20  $\mu$ s-ig tart, de általában további kisülések vannak a földtől a felhőig és visszafelé. Így a közepes villámlási idő akár 0,1 s-ig is eltarthat. Közel 7 cm távolságban a levegő hőmérséklete csak 100 °C-os [17]. A mágneses mező a csatorna körül körülbelül 40 ms alatt eltűnik. Tudjuk, hogy a villám nagyfrekvenciás sugárzást is kibocsát, de ez körülbelül 50  $\mu$ s alatt megszűnik [20]. *Rakov* és *Umann* [17] közöl adatokat a villámok energiájára, ami 1 MJ-t is elérhet. Az eredeti kisülés energiájából körülbelül 99,99% a dörgés (hang)energiájába megy át. Az első lökéshullám a hangsebesség tízszeresét is elérheti. A nagysebességű lökéshullám csak a csatorna közelében keletkezik, távolabb a dörgés normális hangsebességgel terjed. A villámcsatornánál felül van egy expanzió, alul pedig egy implózió (5. ábra).

5. ábra. A gömbvillám keletkezése hidrodinamikai örvénygyűrűből



## Az örvénygyűrű keletkezésének leírása

Az örvénygyűrűt a villám lökeshulláma okozza és az örvényszelek állítják elő. Ez egy alacsony nyomású gyűrű, amely egy fölfújt autógumi belsejéhez hasonlít. A gyűrű forog a saját belső tengelye körül (5. ábra). Egyáltalán nem azonos a Hill-féle örvénygyűrűvel [5, 14]. A gyűrű belső oldala egy eléggé instabil tóruszfelület. A hidrodinamikai örvénygyűrű különböző formája látható *Kopiev* munkájában [10]. Örvénygyűrű akkor keletkezik könnyen, ha a villám egy vízszintes felületre merőlegesen csap le. Ha nincs semmiféle akadály a közelben, akkor az örvénygyűrű kiterjed az átmérője irányában, míg a vastagságát megtartja, és közben energiáját lassan elveszíti. Hasonló örvénygyűrű ismeretes a vesekövek szétporlasztásánál, amikor egy nagyfeszültségű erősáramú elektromos kisülés erős ultrahanghullámot okoz, amely szétrobbantja a veseköveket. Erről fényképek láthatók [11]-ben és [23]-ban.

## Föltételezések a villám utáni örvénygyűrűről

- Az örvénygyűrűt nem lehetett megfigyelni, mert ez még túl hideg volt. A gyűrű ugyanis nem a csatorna anyagából származott, és így még a spektrum látható tartományában sem sugárzott. Ez csak később következett be, amikor a bezárt gázok erősebb gerjesztése során a gömb megjelent a tollával.

- Az örvénygyűrű további kiterjedését a bokor akadályozta. A fa kétfelé szakította a gyűrűt (5. ábra) az idő- és távolságadatokból következően (1. és 3. ábra). A gyűrűnek ugyanis ugyanakkora a kiterjedési sebessége, mint a gömb vándorlási sebessége. Ezután a szétszakadt gyűrű egy sarló alakú formából igen gyorsan egy gömbbé zsugorodott össze. Ez a zsugorodás még inkább hozzájárult a gömbben lévő gázok elektromos gerjesztéséhez. A hengermozgásból egy központi centrális mozgás állt elő a centrális erő következtében, miáltal megszületett a villám-gömb. A gömb keletkezéséhez a gömb közepéből kiinduló centrális erő szükséges a lassú mozgású pozitív ionok és a gömb felületén gyors mozgású elektronok között. Ez a centrális erő aztán gyorsan megszüntette a hengermozgást.

## A villám-gömb keletkezésének leírása

Most visszatérek a megfigyelésemhez, amelynek lényeges pontjai a következők:

1) A villámcsatorna merőleges egy nagy vízszintes, sík felületre. A forró villámcsatorna sebességének hirtelen lecsökkenése ideális az örvénygyűrű keletkezéséhez.

2) A közelben lévő bokor középpontja, a villám becsapódási pontja, a gömb megjelenése és eltűnése mind ugyanazon az egyenesen fekszenek (1. ábra).

3) Az örvénygyűrű egy részének forgási tengelye párhuzamos a földdel és merőleges a gömb haladási irányára (1. és 4. ábra).

4) A gömb forgástengelye és az örvénygyűrű megmaradó hengerének tengelye ugyanaz (4. ábra).

5) A gömb forgásiránya az óramutató járásával ellenkező irányú a megfigyelőhöz és a csatornához viszonyítva. Ennek következtében a gyűrű forgása a csatorna mellett is ugyanaz. Ez annak a fizikai ténynek felel meg, hogy a forró levegő a csatorna mellett fölfelé, ugyanakkor a hideg levegő a föld felszínén kívülről a csatorna felé áramlik (5. ábra).

6) A gömb forgási irányából levont fontos következtetés az, hogy az örvénygyűrű nem a csatorna anyagából képződött, különben fordított irányban, vagyis az óramutatóval megegyező irányban kellett volna forognia [5]. A gyűrű nem keveredik a csatornával, éli a saját életét, és hideg, mert nem kap energiát a csatornától.

7) A gömb tolla nemcsak az  $x$ - $y$  irányba mutat, hanem az  $y$ - $z$  irányba is (4. ábra). Ez arra mutat, hogy a fark a gyűrű összezsugorodott kis részéből származik.

8) A gömb haladási sebessége éppen akkora, mint a gyűrű koncentrikus terjedési sebessége, mint az az 1. és a 3. ábrából következik: a gömb vándorlási sebessége  $3,5 \text{ m} / 3 \text{ s} = 1,17 \text{ m/s}$ , és ez egyenlő a láthatatlan örvénygyűrű kiterjedési sebességével,  $2,5 \text{ m} / 2 \text{ s} = 1,25 \text{ m/s}$ -mal. Ez arra utal, hogy a gömb a gyűrűből keletkezik (4. és 5. ábra).

## A központi erő keletkezése

*Lenard* szerint [6, 12] a vízeseleknél óriási mennyiségű töltések – elektronok és pozitív ionok – keletkeznek. Minél hirtelenebb a változás és a turbulencia, annál nagyobb a sűrűlási elektromosság (triboelektromosság). Az örvénygyűrűben nagy mennyiségű mozgékony elektronok és nehéz, pozitív töltésű ionok keletkeznek. A negatív elektronok valószínűleg a gömb felületén helyezkednek el. Külső töltések kettős réteget okozhatnak [6, 18]. A keletkezés után a gömb csak rövid ideig forog, utána lebeg.

## A villám-gömb stabil pályája

Az örvénygyűrű koncentrikusan, radiálisan szétterjed (5. ábra). Körülötte gyors örvényszelek vannak, de a gyűrű maga nagyon stabil. A gömb a gyűrű pályájának a folytatásaként jön létre. A gömb öröklí a gyűrű stabilitását, legalább az első időben. Gyakran említik, hogy a gömb nemritkán vízszintesen vándorol. Ennek oka a következő lehet. Villámcsapás után az elektrosztatikus mezők hamar stabilizálódnak a föld felszínéhez képest körülbelül  $120 \text{ V/cm}$ -rel. A gömb átveszi ezt a potenciált [13].

## A villám-gömb sugárzása, spektruma, élettartama és felületi feszültsége

A megfigyelt villám-gömb fényessége egy 200–800 W-os fehér fényű elektromos lámpához volt hasonló. A felületi fényessége körülbelül  $1100 \text{ °C}$ -os feketetest-sugárzásának felelt meg. A spektruma valószínűleg egyenletes, kis csúccsal fölötté. A fehér fény és a csillogás megjelenése

származhat a magas víz- és  $N_2$ -tartalom glimmkisüléséből. Magasan gerjesztett elektrolumineszcencia az  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$  és  $H_2O$  molekulák következménye. A gömb sűrűsége megfelel a levegő sűrűségének. Az teljes gömb valószínűleg elektromosan semleges, de ez nem jelenti, hogy az emberre ne lenne veszélyes (elektromos ütés). Az élettartama pár másodperctől pár percig tarthat. Különböző külső körülmények megrövidíthetik az élettartamát. Ha összehasonlítást akarunk tenni, különbség van a szappanbuborék és a villámgómb között. A szappanbuborék fészesebb. A villámgómb tudja változtatni az alakját. Egy-kétszer repülőben is látták. A szerző nagyfrekvenciás mezők terén szerzett tapasztalatai szerint nagyon nehéz 100%-osan leárnyékolni valamit. A villámgómbban egyaránt van glimmkisülés, koronakisülés és Szent Elmo-féle tűz. Ezeknek helyi nagyfrekvenciás hatásuk van, és így kis lyukakon is bejuthatnak a repülőgéphez.

## Miért látunk olyan kevés villámgómböt?

Berger svájci meteorológus 30 éven keresztül sok villámot fényképezett le a hegyekben, de sohase látott villámgómböt [2]. Erre egyszerű magyarázat adható:

- A villám mindig a csúcsokat keresi a koronakisülésnél fellépő térerősség miatt. Hegyekben ez mindig teljesül, és így az örvénygyűrű nem tud kialakulni a domborzati viszonyok miatt.
- Vízzintes felületre való merőleges beesés szükséges, de nem elégséges feltétel. Egy aszimmetrikusan elhelyezett szigetelő anyagú akadály közbejötté kell, hogy az kettévágva a gyűrűt, a gömb kialakulhasson.
- A megfelelő nedvesség, hőmérséklet és nyomás további szükséges feltételek.

Úgy gondolom, Stenhoff [20 (149–151. és 154. o.)] és Barry [1 (104., 108., 109. és 111. o.)] munkáiban látható fényképek villámgómböket ábrázolnak.

## Nagyfrekvenciás sugárzásból származó energia

Közel 400 szemtanú leírása olvasható Singer [19], Barry [1], Stenhoff [20], Egely [4], valamint Rakov és Umann [17] munkáiban. A villámgómbök a legtöbb esetben ártalmatlanok, csak egyes esetekben okoznak nagy kárt. Kapica javaslata [7] szerint a nagy energiák nagyfrekvenciájú állóhullámok révén állhatnak elő. A mérések azonban megmutatták, hogy ha vannak is ilyen mezők, azok sok nagyságrenddel túl gyengék lennének ehhez.

## A szerző hidrodinamikai elmélete a gömbvillám keletkezéséről

Az felvázolt villámgómb-modell teljesen különbözik az eddig ismert modellektől [7, 14, 15, 24]:

- A jelen modellben a villámgómbban semmiféle örvénygyűrű nincs, ellentétben Nickel, Koloc és Vlasov modelljével. Habár a villámgómb egy örvénygyűrűből fejlődik ki, maga azonban nem örvénygyűrű.

- A jelen modellben a villámgómb a villámcsatornán kívül keletkezik, és nem kap energiát a csatornából. A többi modell szerint a gömbvillám az energiáját a csatornából nyeri.

- A megfigyelt gömb ellenkező irányban forog, mint a Nickel-féle modellben. Ennek az oka, hogy a meleg levegő fölfelé áramlik a csatorna mellett, míg a hideg levegő a földön áramlik kívülről a csatorna felé.

A további fejlemények a villámgómb keletkezésében a következők. A hideg hidrodinamikai örvénygyűrű megszakad, sarlóformát ölt, és utána rögtön összehúzódik egy forgó, rövid hengerformába (4. és 5. ábra). Ez az összehúzódás még több gerjesztett molekulát termel. Központi erők keletkeznek, ami dominálni fog a hengeres forgás fölött, és megjelenik a gömb. Ez teljesen meggyezik a megfigyeléssel.

## Külső energia nagy mennyiségű töltések által

Stepanovtól származó statisztika [21] szerint nagy károkat okozó gömbvillámokat csak épületeken kívül figyeltek meg. Az épületek ugyanis le vannak árnyékolva a statikus mezőkkel szemben. Ebből az következik, hogy a ritka előfordulású nagy károk normális villámokra vezethetők vissza. A ritkán megfigyelt nagyenergiájú gömb nem magyarázható a gömb belső energiájával. Egyszerű számítás szerint: a gömbkondenzátor energiája  $W = C \cdot U^2/2$ , ahol  $C = 4\pi\epsilon_0 R$  a kapacitás,  $R = 0,15$  m a gömb sugara,  $U = 1,2 \cdot 10^6$  V/m az átütési térerősség,  $\epsilon_0 = 9 \cdot 10^{-12}$  As/Vm. Innen kapjuk, hogy  $W = 12$  J (csak).

Ez a kívülről jövő nagy energia látható kisülés nélkül a következőképpen magyarázható. Az utóbbi években több kutató bebizonyította, hogy minden villám előtt körülbelül 3 ezredmásodperccel egy kis impulzuscsoport jelenik meg a felhőkben (*preliminary breakdown impulses*, PBP) [17]. Ezek nagy töltéseltolódásokat váltanak ki a felhők között az elővillámok pályái mentén. Ezek a pályákon az elektromos vezetőképesség jóval nagyobb, mint másutt. Már szép időben is  $2 \cdot 10^{-6}$  A/m<sup>2</sup> nagyságú az áramsűrűség a levegőben. Vihar alatt ezek az elővillámok akár 20 km távolságra is elnyúlnak [17]. Tehát ezek a rövid impulzusok aktiválják a csatornákat, és így nagy mennyiségű töltés halmozódik fel a villámgómbban, végül okozva annak nagyenergiájú szétrobbanását. A megfigyelők ezt a nagy energiát magának a gömbnek tulajdonítják, mert az emberi szem ezt nem veszi észre, hiszen az egész folyamat 50 ms-on belül történik. Ezt nevezzük *gömbvillámnak*.

## Triboelektromosság következtében fellépő belső energia

A megfigyelésben a gömb csak 2 másodperccel később jelent meg a villám becsapódása után (3. ábra). Ez a bizonyítéka annak, hogy a gyűrű keletkezésekor még hideg volt. Az atmoszféra elektromossága a felhők között akár 500 Coulomb töltést is meghaladhat [17]. A villám energiájának csak százazred része marad a gömbben.

## Javaslatok a villámgömb megfigyelésére vagy előállítására

Mindenekelőtt meg kell figyelni vagy elő kell állítani a hidrodinamikai örvénygyűrűt. Ehhez a következő kísérleteket kell elvégezni:

1. Az elektromos kisülést hirtelen kell lefékezni, ami egy nagy csattanással jár. A villám merőlegesen csap le egy kiterjedt sík felületre, ahol a földben nagy fémrács van elhelyezve.

2. Az örvénygyűrűt fel kell szakítani az egyik irányban egy nem vezető (szigetelő) akadály elhelyezésével.

3. Az örvénygyűrű megfigyeléséhez közel 2 másodperc áll rendelkezésre. A megfigyelés végezhető infravörös kamerával, a Schlieren-féle optikai módszerrel vagy lézer-anemometriával. Így később a villámgömb megfigyelése is lehetővé válik.

A fenti kísérletek – kisebb méretekben – valószínűleg laboratóriumban is elvégezhetők.

## Zárszó

A Természet féltve őrzi az ő gyönyörű villámgömbjét. Csak akkor mutatja azt meg nekünk, ha már más kiutat nem talál.

## Irodalom

1. J.D. BARRY: *Ball Lightning and Bead Lightning: Extreme Forms of Atmospheric Electricity* – Plenum Press, 1980
2. K. BERGER: *Kugelblitz und Blitzforschung* – Naturwissenschaften 60 (1973) 485
3. G. DIJKHUIS, J. PIJPELINK: *Performance of high voltage test facility. Science of Ball Lightning* – First Intern. Symp. on Ball Lightning, Tokyo, 1988, Word Scientific Publ. 1989, p. 337
4. GY. EGELY: *Hungarian Ball Lightning Observations* – Hungarian Academy of Science, KFKI, 1987

5. M.S. HOWE: *Theory of Vortex Sound* – Cambridge Univ. Press, 2003, p. 91
6. K. KAHLER: *Die Elektrizität der Gewitter* – Sammlung Borntraege, Band 3 (1924)
7. P. KAPITZA – Dokl. Acad. Nauk, USSR, 101 (1955) 245–248
8. H. KIKUCHI: *Ball Lightning, Handbook of Atmospheric Electrodynamics, Vol. 1* – ed. Volland, H., CRC Press, 1995, p. 167–187
9. P. KOLOC: *The Plasma Configuration and Ball Lightning* – In: *Science of Ball Lightning*, ed. Y. Ohtsuki, Japan, Word Scientific Publ., 1989, p. 289–309
10. V. KOPIEV: *Theory of Vortex Ring Noise* – In: *Advances in Aeroacoustics*, ed. J. Anthoine, C. Schram, Karman Institute for Fluid Dynamics, 2001, p. 10, Fig. 8
11. J. LINGEMANN, G. PREMINGER: *New Developments in the Management of Urolithiasis* – Igaku-Shoin Press, 1996, p. 29
12. L. LOEB: *Static electrification* – Berlin, Springer, 1958
13. R. MUHLEISEN, H. FISCHER: *Elektrische Aufladung von Hubschraubern* – Bonn, 1978, Forschungsbericht aus der Wehrtechnik: BMWg-FBWT 78-7
14. K. NICKEL: *A fluid dynamical model for ball lightning* – ed. Y. Ohtsuki, 1988, p. 156; *The Lifetime of Hill's Vortex* – Word Scientific Publ. Press, 1988, p. 177
15. Proc. of First Intern. Symp. on Ball Lightning, ed. Y. Ohtsuki, in: *Science of Ball Lightning*, Tokyo, 1988, Word Scientific Publ., 1989
16. Proc. of 5th Intern. Symp. on Ball Lightning, 1997, ed. Y. Ohtsuki, Tsugawa, Japan, 1997
17. V. RAKOV, M. UMANN: *Lightning Physics and Effects* – Cambridge Univ. Press, 2003
18. M. SANDULOVICIU, ET AL.: *Ball lightning like structures formed under controllable laboratory conditions* – Proc. of 5th Intern. Symp. on Ball Lightning, Tsugawa, Japan, (1997) p. 170–75
19. S. SINGER: *The Nature of Ball Lightning* – Plenum Press, New York, 1971
20. M. STENHOFF: *Ball Lightning. An unsolved problem in atmospheric physics* – Kluwer Acad. Plenum Publ., 1999
21. S. STEPANOV: *On the Energy of Ball Lightning* – Proc. of 5th Intern. Symp. on Ball Lightning, Tsugawa, Japan, 1997, p. 61–62
22. S. STEPANOV, ET AL.: *Electric Machine in Ball Lightning* – Proc. of 5th Symp. on Ball Lightning, Tsugawa, Japan, 1997, p. 183–187
23. K. SUSLICK: *Die chemischen Wirkungen von Ultraschall* – Spektrum der Wissenschaft, Apr. 1989, p. 60–66
24. A. VLASOV: *A ball lightning is a natural nuclear reactor?* – Proc. of 5th Symp. on Ball Lightning, 1997, p. 75–79
25. H. VOLLAND (ed.): *Handbook of Atmospheric Electrodynamics, Vol. 1.* – CRC Press, London, 1995

# EGY MEGKÉSETT ÉBREDÉS: GÖDEL A FIZIKÁBAN

Jáki Szaniszló

Seton Hall University, South Orange, New Jersey

Ha valaki későn ébred fel reggel, általában nem alszik el újra, vagy nem kezd el szundikálni. Úgy tűnik, ennek az

Jáki Szaniszló bencés pap 1924-ben született Győrben. A győri bencés gimnázium elvégzése után 1942-ben lett a rend tagja. Teológiai tanulmányokra a rend Rómába küldte, ahol 1950-ben doktorált teológiából. Mivel politikai okokból nem térhetett haza, az Egyesült Államokba ment, ahol különböző egyetemeken teológiát tanított. Egy gégeműtét, amely évekig megakadályozta abban, hogy tanítson, alkalmat kínált számára, hogy fizikával foglalkozzék. Victor Hessnek, a kozmikus sugárzás felfedezőjének vezetése alatt 1957-ben New Yorkban fizikából is doktorált. Jelenleg a Seton Hall Egyetem (South Orange, New Jersey) tanára. Az elmúlt harmincöt évben tudománytörténettel és tudományfilozófiával foglalkozott. Vendégprofesszor volt Amerika, Európa és Ausztrália számos egyetemén. 1970-ben a Lecomte du Nouy-díjjal, 1987-ben pedig a Templeton-díjjal tüntették ki műveiért. 1990-ben a Pápai Tudományos Akadémia tagjává választották. Az írást angolból fordította: *Hetesi Zsolt*.

ellenkezője valósult meg egy nagyon késői ráébredésben, nevezetesen hogy mi jelentősége van a fizikában Gödel matematikai nemteljességi tételének. Mégis, ennek a ráébredésnek több szempontból is nagy fontossággal kellett volna bírni. Először is *Hawking* professzor kimagasló státusa miatt, aki mindig nagy hallgatóságot vonz, bármikor is beszéljen nyilvános fórumon. Aztán pedig, egy beszéd, mely a *Gödel és a fizika vége* címet viseli, elég provokatívnak kellene, hogy tűnjön. Valamint a találkozó, ahol a beszéd elhangzott, szintén elég rangos volt. *Dirac* születésének századik évfordulójáról van szó, melyet a Cambridge-i Egyetem Matematikai Tudományok Központjában tartottak 2002. július 23-án.

Mindezeknek meg kellett volna zsongítani a fizikusok világát, de ez nem történt meg, habár Hawking előadásá-



nak szövege letölthető az internetről.<sup>1</sup> A fizikusok reakciójának hiánya részben azzal magyarázható, hogy legtöbbjük nagyon speciális problémákon dolgozik. Ezek a problémák megoldhatók bármilyen utalás nélkül azokra az elméletekre, melyek a mindent felölelő elmélet igényével lépnek fel, vagy legalábbis nagy lépést tesznek e cél felé. De még ha a legtöbb fizikus közömbös is marad, a tudományos újságírók vagy legalább néhányan közülük, akik gyakran megemlítik, ami említésre méltó, biztosan úgy találnák, hogy legalább a vezető fizikusok szava tele van a legváratlanabb újdonságokkal.

De ilyen utalás nem található abban a cikkben, amely a *The New Scientist*, egy a tudomány legfrissebb eredményeit tartalmazó folyóirat 2003. április 5-i számában jelent meg. Biztos, hogy ha valami említésre méltó történt volna abban a hét hónapban, mely Hawking beszéde óta eltelt, azt megemlégették volna ebben a számban, melynek címlapján a következő két felirat utalt a cikkre: ISTEN ELMÉJE ÉS HAWKING EPIFÁNIÁJA. Sokkal helyénvalóbb lett volna a következőt kiírni: HAWKING KÉSEI ÉBREDÉSE, vagy MÉRT SZUNDIKÁLT HAWKING ILYEN SOKÁIG?, vagy HAWKING VÉGRE FELÉBREDT!. Vagy az igen pozitív jelentésű „epifánia” szó helyett ezt a kijózanító kifejezést írni: KIJÓZANODÁS.

Kétségtelenül szükség volt valamiféle kijózanodásra. A *The New Scientist*-beli cikk, melynek *M. Brooks* a szerzője, és *The Impossible Puzzle* (A lehetetlen talány) a valódi címe, egy komoly emlékeztetővel kezdődött: „Tizenöt évvel korábban Hawking, *Az idő rövid története* című könyvében igényt tartott arra annak lehetőségére, hogy kidolgozható egy végső elmélet a fizikában, mely elérhetővé tenné számunkra »Isten elméjének« ismeretét.” Brooks nem tette fel a kérdést, hogy vajon Hawkingnak valóban tizenöt évre volt szüksége ahhoz, hogy észrevegye egy ilyen várakozás illuzórikus voltát. Még többször tizenöt év sem elegendő rendbe jönni egy elmének, melynek egy olyan primitív képe van csak Istenről, mely engedve az önhittségnek vallja, hogy Isten gondolatai valaha is olvashatók lesznek egy egyszerű halandó számára. De sokkal azelőtt, hogy az a tizenöt év kezdetét vette volna, Hawkingnak és a többi fizikusnak észre kellett volna venni, hogy nem szükséges specialistának lenni a fekete lyukak fizikájában ahhoz, hogy felfogják annak a tételnek a jelentőségét, melyet Gödel fogalmazott meg 1930-ban.

Mindenesetre forrását Hawking ébredésének a fekete lyukak fizikájáról folytatott megfontolásaiban jelöli meg. Az információt vagy számolható adatmennyiségét arányosnak találta a fekete lyuk határfelületével, mely eltűnik, amikor a fekete lyuk összehúzódik egy pontba, ahol az anyagsűrűség végtelenné válik. De, ahogy látható lesz ebben a cikkben, a fizikusnak nem kell elképzelnie fekete lyukakat, vagy bármi mást a fizika legújabb elméleteiből ahhoz, hogy felfogja: nincs fizikai elmélet, mégoly átfogó is, mely végső lehetne.

Az ilyen elméletekre törekvő fizikusoknak komoly intelmet kellett volna találni, attól kezdve, hogy Gödel felolvasta írását a Bécsi Matematikai Társaság ülésén 1930. november 24-én. Az írás fontosnak kellett, hogy

tűnjön, leginkább címe alapján: *Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I*, vagyis *A Principia Mathematica és a kapcsolódó I Rendszerek formálisan eldönthetetlen állításai*. A cím nem kevesebbet vetett fel, mint azt, hogy komoly hiányosság van a matematika főrangos három kötetes axiomatizálásában, melyet *Whitehead* és *Russel* publikált 1910 és 1931 között. De november 24-én Gödel írása már egy hete a *Monatshefte für Mathematik und Physik* szerkesztői előtt volt, akik gyorsan ki is adták azt, a következő számban: 38. kötet, 1931, 173–198. o. Mivel a *Monatshefte* havi kiadású matematikai és fizikai folyóirat volt, és matematikából és fizikából egyaránt közölt cikket, fizikusok és matematikusok egyaránt olvasták.

A cikk nem lehetett könnyű olvasmány a legtöbb fizikus, de még sok matematikus számára sem. Am az írás lényege hamarosan beszédtemává kezdett válni, legalábbis néhány vezető matematikus körében. Gödel cikkében az volt megadva, hogy nem lehetséges elérni a matematikának egy olyan axiomatizálását, mely magában foglalja saját következetességének bizonyosságát. Ebből kifolyólag bármely elmélet a fizikában, amely a matematika triviális formájánál többet tartalmazott, Gödel tételének megszorítása alá esett. Sokkal azelőtt, hogy a fekete lyukak feltűntek a fizikusok horizontján, a fizika már erősen matematikai jellegű volt. Valójában sok fizikus azt a – pozitivistá – nézetet vallotta a fizikáról, hogy a fizika csupán az adatok és mérések matematikai összerendezése.

Ezért amikor Hawking rámutatott a fizika pozitivistá nézőpontjára, mint annak a problémának a távoli eredetére, mellyel foglalkozott, valójában beleértette – bár akaratlanul –, hogy az így kapható probléma figyelmen kívül hagyható a fekete lyukak elképzelése szempontjából. Ezért, és ismételtén Hawking ellenében, a probléma nem származtatható a határozatlansági elvből, mely nem enged meg precíz méréseket a fizikában, és így kizár egy végső elméletet is. Hawking ezután felsorolta azokat a főbb modern törekvéseket, melyek a fizika főbb ágait egy végső elméletbe kívánják egyesíteni. Ezek pedig az elektromágneses kölcsönhatás, a szupergravitáció, az alapvető részecskék standard modellje, a QCD vagy kvantum-szindinamika, a húrelmélet, és végül a minden dolgok elmélete (Theory of Everything) együtt ennek sarjával, az M-teóriával. Az M-teória fogalmi ellentmondásossága Hawking szerint analóg azzal a problémával, melyet Gödel mutatott ki híres dolgozatában. Más szavakkal, Hawkingnak két elképzelése is van kezdőpontként bevezetni Gödel tételét, de világos, hogy egyikhez sem volt szüksége arra, hogy felfogja ennek a tételnek a jelentőségét a fizikában.

Tekintet nélkül arra, hogy milyen jelentést tulajdonítunk a „pozitivistá” szónak, nem nehéz észrevenni, hogy – Hawkingot idézve – „egy fizikai elmélet egy matematikai modell”. Az is nyilvánvaló kell legyen, hogy minél fejlettebb egy fizikai elmélet, annál több matematikát tartalmaz és annál előrehaladottabb matematikailag. Ebből már könnyen következik a Gödel-tétel és a fizika kapcsolatának alapja. Amennyiben Gödel tétele azt állítja, hogy nincsenek olyan nem triviális aritmetikus állításokat tartalmazó rendszerek, melyek saját konzisztenciá-

<sup>1</sup> Ogg orbis formátumban (\*.ogg)

jük bizonyosságát magukban hordják, minden matematikai rendszer e megszorítás alá esik, mert mind tartalmaz felsőbb matematikát, ami végül is egyszerű aritmetikán alapul. Ebből következik, hogy nem lehetséges végső fizikai elmélet, amely szükségszerűen igaz, legalábbis matematikai részében.

Ez eleminek és nyilvánvalónak látszik. Valakinek az az érzése támadhat, hogy pusztán arról van szó, hogy kettő meg kettő, az négy. Kellene volna bárkinek is várnia Hawking cikkére és annak hamis okfejtésére azért, hogy beláthassa és kikövetkeztesse a kapcsolatot? Hawking írása azt a benyomást kelti, hogy őelőtte senki sem következtette ki ezt a kapcsolatot. Pedig ezt már érthetően elvégezte valaki, 1966-ban és azóta többször is, nevezetesen ezen sorok írója. Feldolgozta ezt több oldalon keresztül *A fizika látóhatára* című könyvében, mely 1966-ban jelent meg a Chicago University Press kiadásában, *The Relevance of Physics* címen, majd 1970-ben újranyomták, noha több mint 600 oldal volt. Majd 1992-ben egy új kiadás látott napvilágot a Scottish Academic Press kiadásában. Magyarul először 1996-ban jelent meg, és ismét meg fog a 2004-es könyvnapon a Kairosz kiadásában.

Első publikációja után a *Látóhatárt* több mint száz különböző periodika ismertette. Egyik recenzió sem fűzött megjegyzést a 127–129. oldalakhoz a könyvben, ahol összeadtam azt a bizonyos kettőt meg kettőt, hogy úgy mondjam. Ez pusztán csak annyit mutat, hogy a legtöbb bíráló nem olvassa át figyelmesen a vizsgált könyvet, és némelyikük még csak végig sem olvassa, vagy csak azokat az oldalakat olvassa el, amelyek fontosnak tűnnek saját érdeklődése szempontjából.

Ennek egy tökéletes példája volt *Abdus Salam* áttekinthetése, aki tizenkét évvel később elnyerte a Nobel-díjat. Úgy tűnt, hogy csak a negyedik fejezet érdekelte, mely azoknak a reményeknek a hiábavalóságával foglalkozott, melyek szerint megtalálhatók az anyag végső rétegei, vagy a fundamentális részecskék valódi alapja. A könyvről általánosságban pusztán annyit jegyzett meg Abdus Salam, hogy szerzője szép stílusát olyanra pazarolta, amit mindenki tud, nevezetesen, hogy a fizika egy nyílt kutatási terület marad mindvégig.

Pedig én afelé érveltem a harmadik fejezet végén, hogy a fizika végső formáját célzó elvárások illuzórikusak, azaz egy olyan tény felé, amelyet a fizikusok, úgy látszik, nem ismernek. Érvem egy Gödel tételének egyfajta bemutatása, a matematika beépített nemteljességéről. Ezt az érvet soron következő könyveimben továbbfejlesztettem. Ezek közül az első a *The Road of Science and the Ways to God* cím alatt jelent meg, mely az Edinburgh Universityn 1975-ben és 1976-ban tartott Gifford-előadásaim szövege. A könyvet az University of Chicago Press adta ki az Egyesült Államokban, és a Scottish Academic Press Edinburgh-ben. Ismételtlen összefoglaltam Gödel tételét és a fizika kapcsolatát *Cosmos and Creator* című könyvemben (1980). Egy egész fejezetet szenteltem az érveknek *Gödel árnyéka* címmel egy előadássorozatban, melyet Oxfordban tartottam, 1988-ban. Az előadásokat a Scottish Academic Press adta ki *God and the Cosmologists* címmel, amely magyarul 1992-ben jelent meg, *Isten*

és a *kozmológusok* címmel. A Gödel-tétel ezen alkalmazását további két könyvemben is bemutattam. Az egyik filozófiai nézeteim szintézise, a *Means to Message* (1999), magyarul az *Eszközadta üzenet* (2002), a másik pedig szellemi önéletrajzom, az *A Mind's Matter: An Intellectual Autobiography* (2002), magyarul *Egy elme világa* (2003). Mindkettőt az Eerdmans adta ki, egy olyan kiadó, mely világszerte terjeszti könyveit.

Nem az itt a célo, hogy az elsőség kérdését eldöntsem, nem is szólva a „felfedezés” dicsőségéről. Valójában 1972 körül belebotlottam egy könyvbe, melyet az 1960-as évek elején adtak ki, és szerzője arra használta Gödel tételét, hogy egy végső fizikai elmélet ellen érveljen. Sajnos azóta sem jut eszembe, hogy mi volt a címe annak a könyvnek. Engedtessek meg, hogy folytassam tudománytörténeti feladatomat, akit különösen érdekel a prominens tudósok vaksága a nyilvánvalóra. Ez irányú érdeklődésem bizonyosságául szolgálnak monográfiáim a csillagászat történetével kapcsolatban, *The Paradox of Olbers' Paradox* (1969 és 2000), *The Milky Way: An Elusive Road for Science* (1976), és a *Planets and Planetarians: A History of Theories of the Origin of Planetary Systems* (1978). A vakság további bizonyítéka az, hogy a legkiemelkedőbb fizikusok – egyik a másik után – sem látták meg Gödel tételének fontosságát a fizikában.

Ezen fizikusok egyikének sem volt tudomása arról a hatásról, amelyet Gödel írása tett a matematikusokra. Ellentétben a klisével, a hatás nem olyan volt, mint egy hirtelen dráma. Ez könnyen kiolvasható *John W. Dawson Jr.* 1972-ben kiadott *Logical Dilemmas: The Life and Work of Kurt Gödel* könyvéből.<sup>2</sup> Mégis, a hatás mély volt, ha megvizsgáljuk a nagy matematikusok néhány fontos állítását. Egyikük, *David Hilbert* a Matematikusok Második Nemzetközi Kongresszusán, 1900-ban Párizsban feltette a költői kérdést: „*A minden probléma megoldhatóságának axiómája vajon egyedül a matematikai gondolkodás egy különleges jellemzője, vagy lehet, hogy egy általános törvény, mely az elme természetében rejlik, miszerint minden kérdés, amit feltesz, megválaszolhatatlan kell legyen?*”<sup>3</sup>

Nyilvánvalóan Hilbert remélte, hogy egy ilyen megoldás lehetséges. Ugyanazon a kongresszuson a nagy matematikus és elméleti fizikus *Henri Poincaré* kijelentette: „*Azt mondhatjuk, hogy az abszolút szigorúságot elérjük.*”<sup>4</sup> Évekkel később *Herman Weyl*, Hilbert egyik munkatársa felidézte az „*optimista várakozásokat*”,<sup>5</sup> ami Hilbert köreiben uralkodott. Weyl hangot adott valamiféle melodramatikus hangnemben annak is, hogy Gödel tételének elkezdett egy „*lelkesevést állandóan kimerítő*” szerepet játszani, azét a lelkesedését, mellyel ő is kezdte munkáját, és hogy ennek meglátása, annak a felismerésében

<sup>2</sup> Wellesley, MA: A.K. Peters. Dawson matematikaprofesszor a Pennsylvania State Universityn, New Yorkban. Lásd még *Gödel Remembered: Salzburg, 10–12 July 1983*, R. Gödel és mtsai, szerk. P. Weingartner, L. Schmetterer – Napoli, Bibliopolis, 1987

<sup>3</sup> DAWSON: *Logical Dilemmas* – 263. o.

<sup>4</sup> Uő. 47. o.

<sup>5</sup> H. WEYL: *Philosophy of Mathematics and Natural Sciences* – Princeton, Princeton University Press, 1949, 219. o.

részesítette, hogy „*más matematikusokkal együtt, akik nem közömbösebbek tudományos felfedezéseik jelentése iránt, ez kapcsolatban van az ember egész gondoskodásával, tudásával, szenvedéseivel és kreatív létezésével a világban.*”<sup>6</sup>

Hogy a vezető matematikusok és a matematikus világ miként fogadta Gödel tételét, az még további vizsgálatot igényelne. Nos, a matematikusok egy kis része meg lett fosztva legdédelgettebb álmaitól, és ez azért volt jelentős, mert a matematikus világnak ez a szelete jó néhány matematikust számlált, a legnagyobbak közül. Hogy miként reagált a matematikusok általános közössége, az egy eddig teljesen elhanyagolt történet. Éppúgy az elsőrangú fizikusok története is, akiknek ugyan kellett volna, de nem vették észre Gödel tételének következményeit legszebb álmaikra, és nem ébredtek rá erre a tényre, függetlenül attól, hogy találkoztak-e Gödellel személyesen, vagy sem. Némelyikük gyakran találkozott vele.

Az első ezek közül, akit meg kell említeni az *Einstein*, aki 1934-ben, Princetonban találkozott először Gödellel, ahol Gödel két évig vendégprofesszor volt. Ez akkor volt, amikor Einstein keményen dolgozott az Egyesített Térleméleten, ami még inkább szükségessé tette, hogy Einstein igénybe vegye egy matematikus szolgálatait. Ezzel az Egyesített Térlemélettel Einstein egy sokkal végsőbb elméletre gondolt, mint amilyen az általános relativitáselmélet volt. Ez utóbbiról egyszer később Einstein csipkelődve megjegyezte, hogy még maga az Úristen sem tudott volna jobbal előállni. 1954-ben Gödel állandó munkatárs lett a princetoni Institute for Advanced Studyban, és ott kollégája volt Einsteinnek. Ők ketten gyakran sétáltak együtt az Intézetbe és haza, és Einstein a legbuzgóbban „filozófiáról, fizikáról és politikáról” beszélt Gödellel e séták során. Ezt maga Einstein mondta *Ernst Strauss*-nak és *Carl Seelignek*, aki Einstein életrajzírója volt.<sup>7</sup> See-*lig* azt is állította, hogy Gödelnek nagyon negatív nézetei voltak Einstein végső céljairól. Ez mind nagyon sokatmondó.

Szemmel láthatóan azok a beszélgetések nem tartalmazták Gödel tételét és a fizika kapcsolatát. Mindenesetre Gödel tételét Einstein nem tárgyalja egyik jól ismert könyvében sem, mely a fizika és filozófia kapcsolatát tárgyalja, úgymint *Essays in Science, Ideas and Opinions of Albert Einstein*, és az *Out of My Later Years*. Az *Albert Einstein: Philosopher Scientist*hez való hozzájárulásában Gödel egyáltalán nem érinti, hogy Einstein egy végső elméletet keresett. Gödel maga nem kapcsolta össze nemteljességi tételét és a fizikát, annak ellenére, hogy 1951 körül jelentős kutatást végzett a kozmológiában. Ugyanez igaz Dawsonra is, aki beszámol Gödel kozmológiai munkájáról.<sup>8</sup>

Vagy vegyük *Schrödingert*, aki bár maga is bécsi volt, teljesen tudatlan tudott maradni Gödel tételével kapcsolatban. Ha Schrödinger gondolkodott volna róla, akkor talán nem minősítette volna a kvantumelméletet úgy,

hogy az „az Úr kvantummechanikája”. Lehet venni *Ed-dingtont* is, akinek posztumusz *Fundamental Theoryja* (1947) egyfajta foglalata volt annak a reménynek, hogy az valóban végső, fundamentális értelemben, ami nem más, mint matematikai. Akár itt, akár máshol nézzük, úgy tűnik, Eddington sem tudott Gödel tételéről.

Angliában a Gödel tételére való ráébredés egészen *Turingig* váratott magára, aki azt állította, hogy a mester-séges intelligencia gondolata nem ellentétes Gödel tételével. A kibontakozó viták szükségessé tették Gödel dolgozatának egy speciálisan gondos angol fordítását és kiadását, melyet *R. Meltzer* fordított, és *R.B. Braithwaite* előszavával jelent meg 1962-ben. Az előszóban Braithwaite röviden megemlíttette Gödel dolgozatának jelentőségét a matematika számára, felidézve, hogy a közönséges egész számok elmélete „*a matematika azon része, amely a legrégebbi a civilizáció történetében, és amelynek olyan gyakorlati fontossága van, hogy már a gyerekeket is jó sokat tanítjuk rá kicsi koruktól.*” Braithwaite így folytatja: „*Gödel volt az első, aki nem igazolt egyetlen korábban igazolatlan tételt sem az aritmetikában, mégis bizonyításának útja finomabb és mélyebb volt, mint az azelőtt alkalmazott matematikai eljárások. E tények mindegyike magasra kellene, hogy helyezze ezt a tanulmányt a matematika fejlődésében. De az volt a valóság, hogy az egész számokkal dolgozó aritmetika eme állítása, amelyről kimutatta, hogy eldönthetetlen, nagy botrányt okozott.*”<sup>9</sup> Nyilvánvalóan ez egy egészen más összefoglaló volt, mint Hawking nehézkes írása Gödel tanulmányáról. De ez az előszó nem tartalmazott ötletet a fizika számára.

Amint említettem, nem volt egyetlen figyelemre méltó reakció arra sem, amit Gödelről és a fizikáról írtam a *Látóbatárban*, mely először 1966-ban jelent meg. Tíz évvel a kiadás után tapasztaltam meg vezető fizikusok részéről felmutatott járatlanság egy megdöbbentő esetét Gödel dolgozatával kapcsolatban. Az alkalom a Gustav Adolphus College Minnesota Nobel-konferenciája volt 1976 októberében, ahol egy hatos panel tagja voltam. A másik öt ember *Fred Hoyle*, *Victor Weisskopf*, *Steven Weinberg*, *Murray Gell-Mann* és *Hilary Putnam* volt. Gell-Mann az alapvető részecskék standard elméletéről beszélt. Beszédében biztosította a kétezres hallgatóságot, hogy három hónapon belül – de három éven belül biztosan – elő tud állni az alapvető részecskék végső elméletével.

A beszéd után az első szó a panel tagjaié volt. Amikor én kerültem sorra, megemlítettem Gell-Mann-nak, hogy még ha formába is önt egy ilyen végső elméletet, nem lehet soha biztos benne, hogy az valóban a végső. Erre elég dühösen visszakiáltott: „*Miért nem?*” „*Gödel tétele miatt*” – feleltem. „*Kinek a tétele?*” – kérdezett újra. Megismételtem: „*Gödel tétele*”. Aztán betűznöm kellett Gödel nevét, akiről Gell-Mann, úgy látszik, előzőleg nem hallott.

Úgy tűnik, hogy Weinberg, Weisskopf és Hoyle is akkor hallott először Gödel tételéről. Egy hónappal később egy előadást tartottam *Olbers* paradoxonáról és kozmológiáról a Boston Universityn, és megemlítettem Gö-

<sup>6</sup> Uo. 219. o.

<sup>7</sup> *Logical Dilemmas* – 176. o.

<sup>8</sup> DAWSON: *Philosophy and Cosmology* – 9. fejezet, 173–192. o.

<sup>9</sup> KURT GÖDEL: *On Formally Undecidable Propositions of Principia Mathematica and Related Systems* – ford. B. Meltzer, R.B. Braithwaite előszavával, Edinburgh, Oliver & Boyd, 1962, 4. o.

del tételét. Az előadás után hozzám sétált valaki, és azt mondta, hogy én pusztán megismételtem, amit ő egy hete már hallott egy előadáson, amit Gell-Mann tartott Chicagóban. Ott, hivatkozva Gödel tételére, Gell-Mann figyelmeztetett, hogy az alapvető részecskék végső elméletét nem lehet formulákba önteni. Gell-Mann tévedett. Egy ilyen elméletet ki lehet éppen dolgozni, de ha kész, senki sem tudhatja pontosan, hogy vajon az-e a végső elmélet.

Majdnem húsz évvel később Gell-Mann kiadta a *The Quark and the Jaguar* című könyvét, melynek tárgya több lehetőséget kínált szerzőjének, hogy beszéljen Gödel tételéről, de nem tette. *The Final Theory* című könyvében Weinberg sem utal Gödelre. Pusztán csak azt állítja, hogy egy fizikus sosem lehet biztos abban, hogy az összes kísérleti adat rendelkezésére áll megoldásához. Weisskopf sosem érdeklődött filozófiai kérdések iránt, és biztosan nem a *The Privilege of Being a Physicist* című munkájában. Ami Hoyle-t illeti, ő marad a leghangosabb ateista a tudományos közösségben.

Említhetnék más neveket is. *Roger Penrose*-ét például, aki *A császár új elméje* szerzője, és több mint három oldalon foglalkozik Gödel tételével.<sup>10</sup> De nem említi meg annak jelentőségét a fizikában, habár végül is a kvantumelmélet egy még ismeretlen formájáról töpreng, azért, hogy kijelenthesse egy végső elmélet lehetségeségét. Aztán ott van a *The End of Science* című könyv, melyet *John Horgan* írt, a *Scientific American* stábjának egy idősebb tagja. A könyv annak deklarációjával kezdődik, hogy „Gödel tétele meggátol bennünket abban a lehetőségben, hogy felépítsük a fizikai valóság komplett, konzisztens leírását.”<sup>11</sup> Ez természetesen nem az, amit a tétel meggátol. Sokatmondó, hogy a könyv nem tartalmaz utalást a tételre, amikor a végső elmélet tárgyköre felbukkan. Horgan túl nyegle ahhoz, hogy észrevegyen valami szembeötlőt, amikor idézi *M. Feigenbaum*-ot, aki szerint sok fizikus „kedveli a végső elméletek ideáját, mert vallásos. És úgy használják, mint Isten helyettesítését, akiben nem hisznek. De épp most teremtettek egy pótléket.”<sup>12</sup> Nos, a pótléknak sem lesz más sorsa, mint a szobornak arany fejjel, ezüst mellkassal, vaslábakkal és agyagtalppal, ahogy *Nebukadnezár* egyszer látta. Ez alkalommal a követ, mely arra van rendelve, hogy elpusztítsa a szobrot, az emberi elme hajította el, lelkesedve az okság törvényeiért.

A hallgatás Gödelről és Hawkingról majdnem fültéppő abban a riportban, amely a *One Cosmic Question, Too Many Answers* (Egy kozmológiai kérdés, túl sok válasz) címmel jelent meg 2003. szeptember 2-án a *New York Times*-ban. A riportban egy tucat vezető kozmológust kérdezett meg *Dennis Overby*, a *Theory of Everything* (Minden Dolgok Elmélete) kapcsán. Nem ok nélkül, a riport az elméletet úgy vezeti be, mint egy választ Einstein csodálkozására, miszerint vajon „Istennek volt-e választása, amikor teremtette a világot?”. Aztán a riport

megjegyzi, hogy Einstein „kedvenc álma volt, hogy a válasz nem”. Amikor a tudósokat kérdezte, egyikük, *David Gross*, a Kavli Institute (Santa Barbara) igazgatója azt állította, hogy ő teljesen Einstein-párti a „tudomány végső céljára való tekintettel”. Ez a cél pedig egy elmélet, mely félreérthetetlenül előrejelzi a fizikai univerzum összes állandóját, úgy hogy az univerzum olyan entitásként jelenik meg, ami épp olyan, mint amilyennek lennie kell, és nem lehet más. *Gross* valójában amellet érvet, hogy a fizikai világ alapvető paramétereinek esetlegesek. Más szavakkal, egy ilyen elmélet kizárja annak a lehetőségét, hogy az univerzum esetleges, azaz létezése egy rajta kívül álló faktortól függ. Figyelembe véve az univerzum mindent felölelő természetét, egy ilyen faktor nem lehet egy másik univerzum, csak az a létező, akit hagyományosan Istennek vagy a Teremtőnek hívnak. A riport nem tett kivételt a stanfordi *Leonard Susskin* állításával sem, miszerint sem Isten, sem az Univerzum nem teremti a lehetőséget, csak az élet. De milyen az az élet, amely véletlenül teremti a világot?

A riport kiaknázatlanul hagyja *Max Tregmark* (University of Pennsylvania) véleményét, miszerint a Theory of Everything lassan haldoklik. Valójában soha még csak meg sem született volna 1984-ben, ha alkotói – *John Schwartz* a Caltechről és *Michael Green*, aki jelenleg Cambridge-ben dolgozik – gondoltak volna Gödel tételére. Arra a tételre, amely, ahogy *Hawking* megjegyzi, véget vet a fizika olyan művelésének, melynek legfőbb célja egy végső elmélet. Ahogy valaki megjegyezheti, ez a tétel teljesen nyitva hagyja azt a kérdést, hogy vajon Isten teremtette-e a világot vagy sem, és hogy vajon Isten szabadon teremtette-e vagy sem. Gödel tétele biztosan szembehelyezkedik bármilyen arra vonatkozó törekvés kialakulásával, ami tekintettel a fizikára, egy ellenvetés az univerzum esetlegességével szemben.

Gödel maga megőrzött valamit gyermekkorának istenhitéből. Erős megvetést érzett a materialista pozitívizmussal szemben, és látta, hogy tétele elsöprő fegyver ellene. Bizonyára, egy olyan Isten gondolata, aki szabadon képes teremteni egy univerzumot a végtelen sok lehetséges közül, nem állt távol Gödel gondolkodásától. Ezért belső ösztönzést kellett volna találnia, hogy összekapcsolja a fizikát tételével. Ezért van abban valami rejtélyes, hogy nem vette észre, hogy tétele a bizonyíték, miszerint senki sem fordíthatja a fizikát érvként az univerzum esetlegessége ellen.

Itt rejlik a fizikában Gödel tételének végső hozama. Nem jelenti a fizika végét. Csak a lélekharangot jelenti azon az erőfeszítések felett, amelyek egy végső elméletet céloznak meg, amely szerint a fizikai világ olyan, amilyen, és nem lehet más. Gödel tétele nem jelenti azt, hogy fizikusok nem képesek előállni a „Theory of Everything”-gel, vagy röviden, a TOE-vel. Rátalálhatnak egy elméletre, amelyik abban a pillanatban formulái segítségével magyarázatot ad minden ismert fizikai jelenségre. De Gödel tétele értelmében egy ilyen elmélet nem tartható olyasminek, ami szükségképpen igaz. Eltekintve Gödel tételétől, egy ilyen elmélet nem tudja garantálni, hogy a jövőben semmi alapvetően újat sem fedezhetnek fel a fizikai univerzumban, ami egy új végső elméletet igényel, és így

<sup>10</sup> New York, Oxford University Press, 1989, 105–108. o.

<sup>11</sup> Reading Mass, Helix Books, 1996, 6. o.

<sup>12</sup> Uo. 22. o.



tovább. A végtelenbe szaladás nem válasz egy kérdésre, amely állandóan újra kiváltja magát minden válasszal.

Gödel tétele többek között azt jelenti, hogy a fizikus, aki Isten gondolatainak olvasását tűzi ki célul, nem fog sikerrel járni, mert először is saját gondolataiban sem tud olvasni. Egy fizikus, aki könyvet ír *The Mind of God*<sup>13</sup>

<sup>13</sup> New York, Simon and Schuster, 1992. Lásd a 101–103. o., Davies beszámolóját Gödel tételével kapcsolatban, amelyben látszik, hogy Davies nem látta meg annak jelentőségét a fizika végső elméleteire, amikor elemzi őket (166–167. o.). Azt az értelmezést veszi, alátámasztandó egy nézetet, miszerint a fizikai világot felfogni képes emberi értelem eleve homályosságra van ítélve. A szerző, akit idéz ennek alátámasztására, egy evangélikus teológus, akinek a vallása alapján érzelmek dolga.

(Isten gondolatai) címmel, csak sajnálat tárgya lehet, és nem egy jelentőségteljes díj átvevője, amelyet a vallás előmozdításáért kapott. Gödel tétele komoly biztosíték marad minden fizikus számára, hogy elméjük mindig ki lesz téve új problémák kihívásának. A logikusok felelősségével azt is tudniuk kell tehát, hogy mit gondoljanak azokról a törekvésekről, melyek le akarják vezetni a fizika nagyon is specifikus állandóit nemspecifikus megfontolásokból. Ameddig a matematikusok számokkal dolgoznak, addig minden át marad itatva a specifikussággal, és minden felidézi a kérdést: Miért ilyen és miért nem más? Ez az a kérdés, amelyik ébren tartja az elmét, vagy inkább felrázza azt, és nem hagyja elszundítani.

## MEGEMLÉKEZÉSEK

### NEUGEBAUER TIBOR, 1904–1977

Az utóbbi néhány évben centenáriumi konferenciákon és tudománytörténeti tanulmányokban részletesen ismertettük a fizika bálmulatos fejlődését a huszadik század első három évtizedében. Csak felvillantásszerűen említtem meg a kvantumhipotézist, a fény részecskeszerű sajátosságát tükröző fényelektromos jelenséget a kvantumos magyarázatával, a hidrogénatom Bohr-elméletét, a speciális és az általános relativitás elméletét, és végül a mindezek betetőzését jelentő kvantummechanikát. A fizika egész huszadik századi fejlődése egy diadalmenet. Az első három évtized abban emelkedik ki mégis, hogy a radikálisan új fogalmak és elméletek ekkor még szinte istenkáromlónak hatottak a régi, klasszikus fogalomvilágon nevelkedett vezető fizikusok körében is. Általában jellemző, hogy a fiatalabbak merészebbek voltak az új fogalmak bevezetésével. A már tekintélyes, nemzetközileg is elismert tudósok körében nehezebben nyertek elfogadást az új nézetek. Elég ebben a vonatkozásban *Planck*ot említeni, aki az általa bevezetett kvantumhipotézist sokáig munkahipotézisnek gondolta, és az elektromágneses sugárzás energiáját a valóságban folytonosnak tekintette. Több évi próbálkozás után látta be, hogy a hatáskvantumban egy az eddigiektől merőben eltérő, valami új jelentkezik. A majdnem egy század távlatából visszatekintve, szerencsésnek tekinthetjük azt a fiatalot, aki ebben a korban kezdett ismerkedni a természet igen gazdag jelenségeit értelmezni, magyarázni tudó vagy éppen megpróbáló tudományokkal. *Neugebauer Tibor* ilyen szerencsés fiatal volt. Már egyetemi diákéveiben tapasztalhatta a fizika új fogalomvilágának az eddigiektől merőben eltérő alakulását. Ezt megelőzően, nemrég került a Budapesti Egyetem Elméleti Fizikai Tanszékének élére *Ortvay Rudolf*, aki fogékony volt a fizika akkor forrongó átalakulására. *Arnold Sommerfeld*nél tett hosszabb tanulmányútja során a kor egyik vezető fizikusától, magától Sommerfeldtől értesülhetett a legújabb fejleményekről. Ennek köszönhetően a kvantumelmélet a budapesti

egyetemen, sok európai egyetemet megelőzve, az egyetemi előadások sorába lépett. Ebben Ortvaynak elévülhetetlen érdemei vannak. Ezt azért illik itt is megemlíteni, mert előtte az elméleti fizika oktatása a budapesti egyetemen több évtizeddel elmaradt a nemzetközi élvonaltól. Kirívó példa erre, hogy elődje, *Fröblich Izidor* még az elektromágnesség Maxwell-elméletét sem tanította, pedig ekkor már a relativitáselmélet is elfogadott volt a kísérletek megerősítése révén.

A sors nagyszerű ajándéka, hogy Neugebauer Tibor Ortvay mellé kerülve, mindjárt az egyetem elvégzése után bekapcsolódhatott a fizika forradalmának minősített átalakulásába. Sőt, később alkotó részese lehetett az új fizika megerősítésének, az atom- és molekulafizikai alkalmazások egész sorának gondos elméleti számításaival. A bevezetésben már említett konferenciákra készülve, az erre a korra vonatkozó fizikai szakirodalmat és az akkori viták írásban rögzített anyagát tanulmányozva, valami egészen szenzációsnak éreztem a légkört, amelyben a korszak vezető fizikusai éltek. Megjegyzem, hogy nekünk, akik a paritássértés felfedezését követő években hasonló érzésben lehetett részünk, nem nehéz ezt elképzelnünk. Az érdeklődő olvasónak nagy élvezetet jelenthet a Solvay-konferenciákról szóló ismertetőik olvasása.

A kvantumelmélet új eredményei, a klasszikustól eltérő jóslatai, természetszerűen akkor váltak elfogadottakká, amikor azokat a tapasztalat is igazolta. Ehhez az elmélet alkalmazásainak a kidolgozására volt szükség. Neugebauer Tibor maradandó tudományos érdeme és alkotó nagysága ebben mutatkozott meg először. A kvantummechanika megszületése után néhány évvel, egészen fiatalon nemzetközi hírű tudósokkal egyenrangúan kezdett foglalkozni az elmélet konkrét alkalmazásaival. Sok tudományos közleményben elsőként adott a tapasztalattal egyező magyarázatot számos molekula kémiai sajátosságaira, kristályszerkezetére, polarizációs és mágneses tulajdonságaira. Dolgozataira a legtekintélyesebb szakmai lapokban

elismeréssel hivatkoztak. Ezeket a szép tudományos eredményeket Neugebauer Tibor saját kezdeményezéssel, munkatársak nélkül, önállóan érte el, olyan környezetben, ahol a tudományos eszmecserére nemigen volt lehetőség. (Professzorával nem volt felhőtlen a viszonya.) Össze gyűjtött munkáit átlapozva csak most utólag döbbsentem rá, hogy Neugebauer Tibor milyen gazdag munkásságot hagyott hátra a kvantummechanika alkalmazása terén. Érdeklődése igen széles körű: az atom- és molekulafizikai problémáktól a szilárd testek fizikáját is érintve a magfizikáig. Sőt, kiterjedt a biológia egy-egy izgalmasnak tekinthető aktuális kérdésére is. A biológia egyébként mindig érdekelt. Az egyetemen is először biológiát hallgatott, és csak később tért át a fizikára. Elég korán felismerte, hogy a fizika, különösen a kvantummechanika nélkül a biológia területén sem lehet átütő erejű felismerést tenni. Emlékszem, nagy visszhangot, sőt, azt mondhatom, hogy vitát váltott ki egyik előadása az ELTE-n, az ötvenes évek elején a fehérjeszintézis kvantumelméleti értelmezéséről. Ebben arról elmélkedett, hogy az élő anyag reprodukciójában a makromolekulák önmásoló kölcsönhatásainak fontos szerepük lehet. Ez még a DNS szerkezetének felfedezése előtt néhány évvel volt. Tudományos munkásságának jellemző vonása, hogy egy-egy megoldatlan problémára többször is visszatért. Az általa adott elméleti magyarázatot a későbbi fejlemények ismeretében képes volt felülvizsgálni, az újabb adatok birtokában továbbfejleszteni. Három ilyen problémát is megemlíthetek: a szupravezetést, a különféle anyagokon történő fényszórás dupla frekvenciával, és a gömbvillámra vonatkozó elméletét. Utóbbiról először 1937-ben írt egy dolgozatot a kvantummechanikai Schrödinger-egyenlet alapján. Az elmélet lényege az, hogy az elektronokból és ionokból álló izzó plazma egyensúlyban tartásában fontos szerepe van a kvantummechanikai kicserélődési kölcsönhatásnak. Elméletét arra az esetre is kiterjesztette, amikor a plazma tárgyalásánál a Schrödinger-egyenlet helyett a relativisztikus kvantummechanika Klein–Gordon-egyenletét, vagy a többrészcsekés Dirac-egyenletet vette alapul. A halálát megelőző hónapokban ismét visszatért ehhez a problémához. A posztumusként megjelent utolsó dolgozata a gömbvillámra vonatkozó elméletének kicsit módosított változatát tartalmazza. Ebben részletesen megvizsgálja, hogy a gázgömb hőmérséklete hogyan függ az elektronok és ionok számsűrűségétől, milyenek az ionok rekombinációjának a feltételei, és ez miképpen változtatja meg a gömbvillám fizikai állapotát.

A másik olyan probléma, amelyre finomító jelleggel még visszatért: a fényszórás kétszeres frekvenciával. Az ő nevéhez fűződik a felismerés, hogy a fénnel megvilágított anyag molekulái anharmonikus kényszerrezgést végezve a beeső fény frekvenciájának kétszeresével is sugároznak. Az 1959-ben megjelent első közleményének idején a jelenség annak kicsi volta miatt még nem volt kimutatható, de két évvel később, a lézer felfedezése után már sikerrel járt az általa korábban javasolt kísérlet is. A kétszeres frekvenciájú szórás Neugebauer-tól származó elmélete tulajdonképpen a mára széles alkalmazással rendelkező nemlineáris optikának egyik kiinduló tudományos felismerése volt. Nem túlozunk, ha itt az ő elsőbbségét

hangsúlyozzuk. Kár, hogy ezt a szép eredményt a hazai kortársak és az illetékesek nem honorálták méltóképpen. Az Akadémia két alkalommal is elutasította a tagságra vonatkozó előterjesztést.

Neugebauer Tibor élete szinte teljesen az Eötvös Egyetem Elméleti Fizikai Tanszékéhez kötődik. Az egyetemi tanulmányok után, 1930-ban tanársegéd lett a Tanszéken. A negyvenes évek elején átkerült a Budapesti Műszaki Egyetem Könyvtárába, ahonnan 1950-ben visszatért az ELTE-re, ahol haláláig lelkesen oktatott és kutatott. Rendkívül színes egyéniség volt. Kutatási módszerét tekintve megmaradt magányos kutatónak. Annak ellenére, hogy szívesen beszélgetett mindenkivel, kollegáival és hallgatóival egyaránt, nem volt sem tanítványa, sem munkatársa. A Könyvtárba minden nap bement, és átnézte a legújabb folyóiratokat. Kis jegyzetfüzetébe bejegyezte, hogy az általa rendszeresen olvasott folyóiratok mikor érkeztek meg, és ha kérését tapasztalt, ő kérte a reklamációt. Itt szívesen elüldögélt, mert ez volt az a hely, ahol társalgott. Erre intellektuálisan nagy szüksége volt, mert magányosan élt. Sokáig a hosszú kort megélt édesanyjával, majd az ő halála után egyedül. Volt egy barátnöje, akit azért nem vett feleségül, mert anyja arra kérte, hogy csak az ő halála után nőüljön meg, ne hagyja őt egyedül. Amikor magára maradt, akkor pedig az idősebb kora miatt nem látta értelmét.

Mivel a természettudományok minden ága érdekelt, a vele való beszélgetések igen vonzóak voltak mindenkinek számára. Nekem megadatott az a szerencse, hogy huszonhét évig voltunk munkatársak. Sőt, amikor én voltam a Tanszék vezetője, szomszédosak voltak a szobáink, és így nagyon sokat beszélgettünk fizikáról és az élet minden más dolgáról is. Sokat tanultam tőle. Az én számomra ő volt az utolsó polihisztor. Különösen az élő természet iránti érdeklődése volt erős a fizika mellett. Nem véletlen, hogy igen szép és gazdag lepkegyűjteménye volt, amelyet a legnagyobb szaktudással kezelt és tartott karban. Egyéniségéhez hozzátartozott, hogy szívesen tett csípős megjegyzéseket. Ezzel ő senkit nem akart megbántani, hanem a véleményét fejezte ki. Ez néha rosszul sült el, és ebből nemegyszer kellemetlensége is keletkezett. Az utolsó akadémiai tagjelölése is egy ilyen nem jól sikerült és nem jó helyen tett megjegyzésen hiúsult meg.

Érdekes volt a vizsgáztatási módszere. Miután feladta a kérdést a hallgatónak, szinte azonnal felelt is rá, valahogy ilyen formán: „*Ugye kedves kolléga úr, itt arról van szó, bogy...*”. És elmondta a témakör minden érdekes jellegzetességét. A hallgatónak csak helyeselni kellett. A vizsgáztatást is olyan beszélgetésnek fogta fel, amelyben lényegében ő szerepelt. Ekkor is tanított.

Összegezve ráemlékezésemet, meggyőződéssel állítom, hogy a múlt század harmincas éveitől kezdve mintegy másfél évtizeden át, ő volt a legeredményesebb magyar fizikus. A kvantummechanika elméleti alkalmazásait tekintve pedig mindmáig. Azt hiszem, szerénységével is összefügg, hogy nem volt reflektorfényben, és ezzel magyarázhatóan nem kapta meg a megérdemelt elismeréseket sem. Már csak az idősebb kollégák emlékeznek rá, de mi a legnagyobb tisztelettel és szeretettel.

Nagy Károly  
ELTE Elméleti Fizikai Tanszék

# A VEKTORSZKÓPRENDSZER ALKALMAZÁSA A KINEMATIKÁBAN

Farkas Zsuzsa

Szegedi Tudományegyetem,  
Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék

Ha a kinematika tanításánál kvantitatív kísérletet akarunk bemutatni, utat, sebességet, gyorsulást akarunk mérni, akkor lehetőségeink erősen korlátozottak és a módszerek nehézkesek. Ezért nagy segítség tanár és diák számára egyaránt egy olyan eszköz, amely egyszerűen teszi lehetővé a kvantitatív méréseket, megkönnyíti azok hosszadalmas és fáradságos kiértékelését, emellett azonnali reprezentációját adja a vizsgált mozgásnak. Ez az eszköz a V-scope (továbbiakban vektorszóp), amely az 1990-es Didaktikai Világkiállításon aranyérmert nyert (1. ábra). A vektorszóp egy mikroszámítógép alapú rendszer, amely több test (maximum négy) térbeli mozgását tudja mérni, rögzíteni, majd elemezni egy időben. A rendszer távolságméréseken alapul, infravörös/ultrahang adó-vevők segítségével határozza meg a vizsgált test(ek) pillanatnyi helyzetét. A távolságadatokból a mikroszámítógép határozza meg a távolság-idő függvényt, majd ebből a sebesség-idő, a gyorsulás-idő függvényeket, és van lehetőség további származtatott fizikai mennyiségek, így a lendület, a mozgási energia definiálására is. A rendszer nagy előnye, hogy a hozzá kapcsolt számítógép képernyőjén folyamatosan nyomon követhetjük a vizsgált test(ek) mozgását és a származtatott mennyiségek változását, a számítógéphez illesztett nyomtatón pedig természetesen ki is nyomtathatjuk a megfelelő grafikonokat. Lehetőség van a kísérlet visszajátszására, a mért adatok mentésére és azok exportálására Windows-os alkalmazásokba (táblázatkezelő és grafikonkészítő). Az eszköz lehetőséget biztosít nemcsak 1-dimenziós, hanem 2-, illetve 3-dimenziós mozgások követésére is.

Az SZTE Optikai és Kvantumelektronikai Tanszékén már több mint tíz éve lehetőségünk van a *Kísérleti mechanika* előadások keretében az egyenes vonalú egyenletes, az egyenes vonalú nem egyenletesen gyorsuló, az egyenes vonalú nem egyenletesen gyorsuló (pl. harmonikus rezgőmozgás) mozgások tárgyalásánál bemutatni ezt a rendszert a hallgatóknak. Az utóbbi években pedig egy hallgatói laboratóriumi gyakorlat kifejlesztése történt meg, amely a vektorszópot használja a csatolt rezgések mozgásának tanulmányozásánál. A rendszerrel kényelmes módon és azonnal felrajzoltathatók a kitérés-idő grafikonok (a kitérés időbeli változása), a lebegési görbék, s ennek alapján meghatározhatók a sajátfrekvenciák, illetve az ezekhez tartozó periódusidők és a lebegési idő.

Az alábbi cikkben, amely egyben a hallgatói laboratóriumi gyakorlat feladatlapja is, bemutatom a vektorszóp-rendszert, majd a csatolt ingák elméleti tárgyalása után ismertetem a mérési elrendezést és – egy adott elrendezésnél – a mérési eredményeket.

## Csatolt ingák vizsgálata vektorszóprendszerrel

### Célkitűzés

- Vektorszóprendszer megismerése
- Vektorszóprendszer használata egy mechanikai probléma, a csatolt ingák vizsgálatára
- Csatolt ingák sajátrezgéseinek és lebegésének tanulmányozása
- Csatolási állandó számítása

A vektorszóp számítógép által vezérelt rendszer, mellyel viszonylag kényelmes módon megmérhetők a csatolt rendszer normál- vagy sajátfrekvenciái (valójában az ehhez tartozó periódusidők) és a lebegési frekvencia (lebegési idő). Ezen mennyiségekből kiszámolható a csatoltinga-rendszer csatolási állandója. Mivel a csatolási állandót az inga geometriai paraméterei (rugóállandó, csatolási hossz, inga hossza, inga tömege) határozzák meg, ezért az azokból is kiszámítható.

A gyakorlat során megvizsgáljuk, hogyan kapható meg a lebegési idő és a csatolási állandó a sajátfrekvenciákhoz tartozó periódusidőkből, illetve hogyan függ a csatolási állandó a csatolás paramétereitől.

### Elméleti összefoglaló

#### A vektorszóprendszer

A vektorszóprendszer a térben mozgó testek mozgását követi nyomon, mérve a testek (maximum négy testet tud követni) koordinátáit 1, 2 vagy 3 dimenzióban. Mindezt az idő függvényében ábrázolva megkapjuk a mozgás

1. ábra. A vektorszóprendszer (mikroszámítógép, három torony, számítógép) egy inga mozgását figyeli, a mérógomb az ingára van rögzítve.



pályáját, azaz az  $R(t) = [x(t), y(t), z(t)]$  vektort. Innen származik az eszköz elnevezése is. Az eljárás azonnali reprezentációját adja a vizsgált mozgásnak, a rendszerhez tartozó számítógép monitorján a méréssel egy időben kirajzolódik a helyvektor, a sebességvektor, vagy a gyorsulásvektor az idő függvényében.

A vektorszóp egy mikroszámítógép alapú rendszer, amely a következő fő részekből áll: a gombok, a tornyok, a mikroszámítógép és a V-scope szoftver.

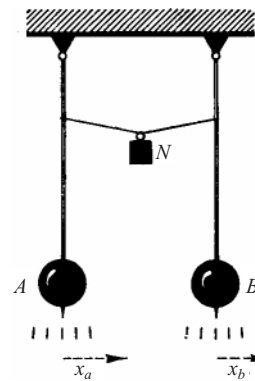
- **Gombok:** Elemmel működő adó-vevők, melyeket a mozgó tárgyhöz kell rögzíteni. Egy infravörös-vevő és egy vele szinkronizált ultrahang-adó található minden gombban. A rendszer valójában a gomb mozgását követi nyomon, a mérés pontos helye a gomb ultrahang-adójának mértani középpontja. (A gombok állandó működése mellett az elemek hamar lemerülnek, ezért a gombok alaphelyzetben inaktívak, a tornyok infravörös-jele aktiválja a működésüket.)

- **Tornyok:** A rendszerhez három torony tartozik, lehetővé téve a háromdimenziós mérést. Mivel a csatolt ingák mozgása egy dimenzióban történik, egy tornyot használunk. Minden torony egy infravörös-adóból és egy ultrahang-vevőből áll. A tornyok kódolt infravörös-jelet adnak ki, melyek aktiválják a kívánt gombot, és fogadják a válaszjelet. Az ultrahang vételét a kísérlet teljes ideje alatt biztosítani kell a gombok és a torony között. Ennek érdekében a gomboknak a torony sugárzási tengelyétől számított  $\pm 80^\circ$ -os szögön belül kell elhelyezkednie, ugyanígy a tornyoknak is  $\pm 80^\circ$ -os szögön belül kell lenniük a gombok sugárzási tengelyéhez képest. A legjobb kommunikáció érdekében érdemes mindkét szöget  $\pm 30^\circ$ -nál kisebbre választani. A torony és a gombok optimális távolsága 70–90 cm.

- **Mikroszámítógép:** A tornyok és a számítógép közötti kapcsolatot biztosítja. Ellenőrzi a tornyok működését, utasítja a tornyot az infravörös-jele kibocsátására, fogadja és feldolgozza a beérkező jeleket. Ezekből meghatározza a torony és a gombok távolságát, mindezt az idő függvényében, azaz az  $R(t) = [x(t), y(t), z(t)]$  függvényt, majd ezt továbbítja a számítógép felé. A további fizikai mennyiségeket, így a sebességet, a gyorsulást matematikai műveletekkel a számítógép származtatja a mért  $R(t)$  helyvektorértékekből.

#### A rendszer működési elve

A mérés kezdetén a mikroszámítógép elektromos jele aktiválja a tornyot, mely rövid szinkronizált infravörös-jelet bocsát ki. Ez a jel aktiválja a gomb vagy gombok ultrahang-adóját, melyek szelektív válaszzel reagálnak. A torony érzékeli a válaszjelet, és elektromos impulzussá átalakítva továbbítja a mikroszámítógépnek. A válaszjel a torony–gomb távolságtól függő időkésséssel érkezik meg a toronyba és így a mikroszámítógépbe is. A mikroszámítógép a megfelelő toronyhoz tartozóan a jelkibocsátás és a vétel között eltelt időt, azaz az „időkésést” megszorozza a levegőben mért hangsebességgel, így megkapja a gombok pillanatnyi távolságát a tornyoktól. Ezt az adatot továbbítja a számítógép memóriájába, majd a művelet periodikusan megismétlődik. Az így kapott távolságmenték határozzák meg a test moz-



2. ábra. Csatolt inga

gását leíró  $[x(t), y(t), z(t)]$  függvényt. A mintavételi periódust 10–100 ms között állíthatjuk be. A tornyokban elhelyezett hőmérsékletmérők lehetővé teszik a hangsebesség hőmérsékleti korrekcióját.

Több mozgó test esetén több gombot kell használnunk, melyet a kísérletező a színük (piros, sárga, kék, zöld), a mikroszámítógép a hozzájuk tartozó kód alapján különböztet meg. A rendszer sorra letapogatja a gombokat előre meghatározott periódus alapján. Több gomb esetén a hatékony mintavételi periódus az alap mintavételi periódus megszorozva a gombok számával.

#### Zavaró hatások

Mint minden kísérletben, a vektorszóp használata közben is előfordul, hogy a mért adatok zajosak. Ennek oka lehet:

- Az infravörös-jele érzékelését zavarja a napfény vagy más, a vektorszóp infravörös-jelel azonos jelet kibocsátó fényforrás.
- Az ultrahang-jele érzékelését zavarja bármely, a vektorszóp ultrahang-jelel azonos jelet kibocsátó hangforrás, például légpárnás asztal.

#### Zavaró hatások kiküszöbölése

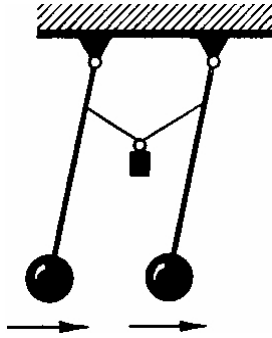
- A hang- és fényvisszaverő felületek eltávolítása a mérés környezetéből.
- A befolyásoló környezeti tényezők (hőmérséklet-, légnyomásváltozás) kiküszöbölése.
- Ne érje a gombokat közvetlen infravörös- és ultrahang-sugárzás.

#### A csatolt ingák mozgása

Csatolt ingán két egyenlő lengésidőjű fizikai ingát értünk, amelyek között valamilyen csatolóelem – könnyű csavarrugó vagy kis nehezék ( $N$ ) – összeköttetést biztosít az 2. ábrán látható módon.

Ha az  $A$  ingát lengésbe hozzuk, a kezdetben nyugvó  $B$  inga is lengésbe jön. Miközben az  $A$  inga amplitúdója csökken, a  $B$  ingaé növekszik, majd az  $A$  inga megáll. Ekkor a  $B$  inga amplitúdója maximális. A folyamat ezután a két inga szerepének felcserélődésével játszódik le. A lengés során a két inga között az energia periodikusan kicserélődik. Ezt a jelenséget lebegésnek nevezzük. Mindkét inga kitérés–idő görbéje úgynevezett lebegési görbe, azaz mindkét inga lebegést végez. Erősebb csato-





3. ábra. Csatolt inga azonos fázisban

lás esetén az energiaátadás gyorsabb, azaz kevesebb számú lengés alatt végbemegy. Ilyenkor a lebegés  $v_{leb}$  frekvenciája megnő, periódusideje lecsökken. A lebegés frekvenciája és a sajátrezgések frekvenciája között a  $v_{leb} = v - v_0$  kapcsolat áll fenn, ahol  $v$  és  $v_0$  az alább ismertetendő sajátrezgések frekvenciái.

### Sajátrezgések

#### 1. Azonos fázis

Ha a két ingát azonos nagyságú és irányú kitéréssel indítjuk, nem tapasztalunk lebegést, mindkét inga ugyanolyan  $v_0$  frekvenciájú rezgést végez.  $v_0$ -t a rendszer egyik sajátfrekvenciájának nevezzük, a rezgés periódusideje  $T_0$ ,  $v_0 = 1/T_0$ . A csatolásnak ebben az esetben nincs szerepe (3. ábra).

#### 2. Ellentétes fázis

Ha a két ingát azonos nagyságú, de ellentétes irányú kitéréssel indítjuk, lebegést ekkor sem tapasztalunk, a két inga azonos  $v$  frekvenciával harmonikus rezgést végez, ami nagyobb  $v_0$ -nál, mivel a csatolás az egyensúlyi helyzetbe visszatérítő erőt növeli.  $v$  a csatolt rendszer másik sajátfrekvenciája, a rezgés periódusideje  $T$ ,  $v = 1/T$  (4. ábra).

Az azonos és ellentétes fázisú sajátrezgések frekvenciái a rendszer normál- vagy sajátfrekvenciái. Az ingák rezgése csak a sajátrezgések esetén harmonikus rezgés. A csatoltinga-rendszer minden rezgése – így a lebegés is – előáll ezen sajátrezgések szuperpozíciójaként.

### A csatolt ingák mozgásának matematikai tárgyalása

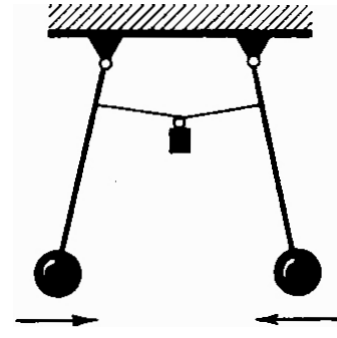
Az 5. ábrán látható fizikai ingák – melyek a  $P_1$  és  $P_2$  ponton átmenő, az ábra síkjára merőleges tengely körül, az ábra síkjában forgómozgást végeznek – mozgásegyenletei az alábbi összefüggéssel adhatók meg:

$$M = \Theta \beta = \Theta \ddot{\varphi},$$

ahol  $M$  a forgatónyomaték (vagy forgatónyomatékok eredője),  $\Theta$  az inga forgástengelyre vonatkozó tehetetlenségi nyomatéka,  $\varphi$  az egyensúlyi helyzettől való szögkitérés,  $\beta$  pedig a szöggyorsulás.

Az 5. ábra alapján a bal oldali inga  $P_1$  pontjára vonatkozó eredő forgatónyomaték  $\varphi_0 \sim 0$  feltételezésével:

$$\Theta \ddot{\varphi}_1 = M_1 = -m g L \sin \varphi_1 - D l^2 (\sin \varphi_1 - \sin \varphi_2), \quad (1)$$



4. ábra. Csatolt inga ellentétes fázisban

ahol az 1. inga egyensúlyi helyzetétől való tetszőleges  $\varphi_1$  szögű kitérése esetén  $-m g L \sin \varphi_1$  az ingára ható nehézségi erő forgatónyomatéka,  $-D l^2 (\sin \varphi_1 - \sin \varphi_2)$  a csatolásból származó forgatónyomaték.

Az 5. ábra alapján  $L$  az inga hossza,  $l$  a csatolási hossz,  $D$  a rugó állandója,  $m$  az inga tömege és  $\varphi_0$  a nyugalmi helyzet szögeltérése a függőlegestől, ami elhanyagolhatóan kicsi.

Ugyanígy felírható a 2. inga tetszőleges  $\varphi_2$  szögű kitérése esetén az alábbi egyenlet:

$$\Theta \ddot{\varphi}_2 = M_2 = -m g L \sin \varphi_2 - D l^2 (\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1), \quad (2)$$

Ha  $\varphi_1$ , illetve  $\varphi_2$  szögkitérések kicsik, akkor  $\sin \varphi_1 \approx \varphi_1$ ,  $\sin \varphi_2 \approx \varphi_2$ , így az (1) és (2) egyenletekből az alábbi egyenletek adódnak:

$$\Theta \ddot{\varphi}_1 = M_1 = -m g L \varphi_1 - D l^2 (\varphi_1 - \varphi_2),$$

$$\Theta \ddot{\varphi}_2 = M_2 = -m g L \varphi_2 - D l^2 (\varphi_2 - \varphi_1),$$

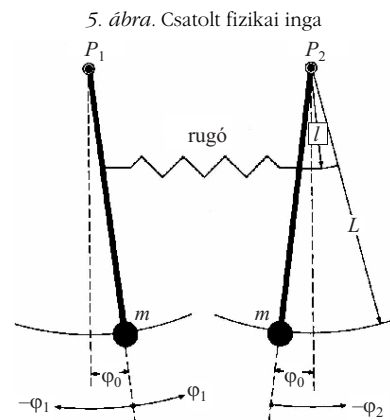
Bevezetve a következő jelöléseket:

$$\omega_0^2 = \frac{m g L}{\Theta}, \quad \Omega^2 = \frac{D l^2}{\Theta},$$

az alábbi egyenletek adódnak:

$$\ddot{\varphi}_1 = -\omega_0^2 \varphi_1 - \Omega^2 (\varphi_1 - \varphi_2) = -\omega_0^2 + \Omega^2 (\varphi_2 - \varphi_1),$$

$$\ddot{\varphi}_2 = -\omega_0^2 \varphi_2 - \Omega^2 (\varphi_2 - \varphi_1).$$



5. ábra. Csatolt fizikai inga

Új koordináták bevezetésével a csatolás megszűnik, így számolásunk egyszerűbbé válik:

$$x_1 = \varphi_1 - \varphi_2, \quad (3)$$

$$x_2 = \varphi_1 + \varphi_2, \quad (4)$$

ekkor:

$$\begin{aligned} \ddot{x}_1 &= \ddot{\varphi}_1 - \ddot{\varphi}_2 = -\omega_0^2(\varphi_1 - \varphi_2) + 2\Omega^2(\varphi_2 - \varphi_1) \\ &= -(\omega_0^2 + 2\Omega^2)x_1, \end{aligned}$$

$$\ddot{x}_2 = \ddot{\varphi}_1 + \ddot{\varphi}_2 = -\omega_0^2(\varphi_1 + \varphi_2) = -\omega_0^2 x_2.$$

Az így kapott egyenletekről felismerhető, hogy harmonikus rezgőmozgás differenciálegyenletei, ezért  $x_1$ -et, illetve  $x_2$ -t a következő alakban írhatjuk fel:

$$x_1 = a_1 \cos \omega t + b_1 \sin \omega t, \quad (5)$$

$$x_2 = a_2 \cos \omega_0 t + b_2 \sin \omega_0 t, \quad (6)$$

ahol

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 + 2\Omega^2}.$$

Az  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  konstansok a kezdeti feltételekből az alábbi módon határozhatók meg.

Külön vizsgáljuk az azonos, illetve ellentétes fázisban lengő és a lebegést végző ingák egyenleteit.

### 1. Azonos fázis

$t = 0$  időpillanatban mindkét ingát azonos nagyságú és irányú szögkitéréssel indítjuk, azaz  $\varphi_1 = \varphi_2$ . Jelöljük  $\varphi_A$ -val ezt a maximális szögkitérést:  $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_A$ . A kezdeti időpontban a szögsebességek nullák:

$$\dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi}_2 = \dot{\varphi}_A = 0.$$

Ezekből a kezdeti feltételekből a mozgásegyenletek megoldásai az alábbiak:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 &= \frac{2\varphi_A \cos \omega_0 t}{2} = \varphi_A \cos \omega_0 t \\ \varphi_2 &= \frac{2\varphi_A \cos \omega_0 t}{2} = \varphi_A \cos \omega_0 t \end{aligned} \right\} \Rightarrow \dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi}_2.$$

A  $\varphi_1$ -re és  $\varphi_2$ -re kapott összefüggésekből látható, hogy mindkét inga harmonikus rezgést végez  $\omega_0$  körfrekvenciával –  $\omega_0$  a rendszer egyik saját(kör)frekvenciája – a szögkitérések és sebességek iránya és nagysága minden időpillanatban megegyezik a lengés során.

### 2. Ellentétes fázis

$t = 0$  időpillanatban mindkét ingát azonos nagyságú és ellentétes irányú kitéréssel indítjuk, azaz  $\varphi_1 = -\varphi_2$ , a továbbiakban  $\varphi_1 = -\varphi_2 = \varphi_A$ . A kezdeti időpontban a szögsebességek nullák:

$$\dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi}_2 = \dot{\varphi}_A = 0.$$

A mozgásegyenlet megoldása:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 &= \frac{2\varphi_A \cos \omega t}{2} = \varphi_A \cos \omega t \\ \varphi_2 &= \frac{-2\varphi_A \cos \omega t}{2} = -\varphi_A \cos \omega t \end{aligned} \right\} \Rightarrow \dot{\varphi}_1 = -\dot{\varphi}_2,$$

ahol

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 + 2\Omega^2}.$$

Eredményeink azt mutatják, hogy mindkét inga harmonikus rezgést végez  $\omega$  körfrekvenciával –  $\omega$  a rendszer másik saját(kör)frekvenciája – a szögkitérések és sebességek nagysága minden időpillanatban megegyezik a lengés során, irányuk mindvégig ellentétes.

### 3. Lebegés

$t = 0$  időpillanatban úgy hozzuk lengésbe a rendszert, hogy az egyik ingát kitérítjük az egyensúlyi helyzethez képest  $\varphi_A$  szöggel, a másik nyugalomban van. Ekkor  $\varphi_1 = \varphi_A$ ,  $\varphi_2 = 0$ . A kezdeti időpontban a szögsebességek nullák:

$$\dot{\varphi}_1 = 0, \quad \dot{\varphi}_2 = 0.$$

Az új koordinátákra való áttéréssel, a konstansok kiszámolása után a mozgásegyenlet megoldása

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \varphi_A \cos\left(\frac{\omega + \omega_0}{2} t\right) \cos\left(\frac{\omega - \omega_0}{2} t\right), \\ \varphi_2 &= -\varphi_A \sin\left(\frac{\omega + \omega_0}{2} t\right) \sin\left(\frac{\omega - \omega_0}{2} t\right), \end{aligned}$$

ahol

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 + 2\Omega^2}.$$

A kapott  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  függvények alapján láthatjuk, hogy gyenge csatolás esetén (azaz, ha  $\omega - \omega_0 \ll \omega + \omega_0$ ) a rendszer valóban lebegést végez, mely során az amplitúdó  $\varphi_A$  és 0 között lassan változik  $(\omega - \omega_0)/2$  körfrekvenciával. A lebegés körfrekvenciája az ismert képlet alapján:  $\omega_{leb} = \omega - \omega_0$ .

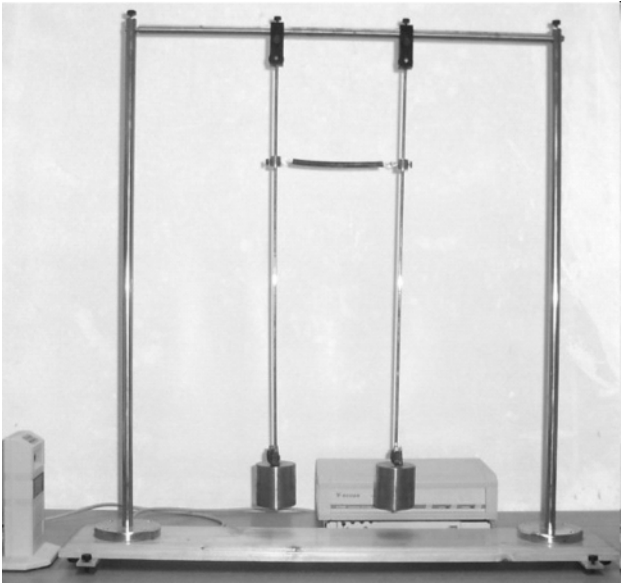
Mivel a sajátfrekvenciákat az alábbi mennyiségek adják meg:

$$\omega_0^2 = \frac{m g L}{\Theta}, \quad \Omega^2 = \frac{D L^2}{\Theta}, \quad (*)$$

valójában a csatolt rezgések minden típusában a geometriai adatok határozzák meg a rezgést, így az ingák tömege ( $m$ ), az ingák hossza ( $L$ ), a rugóállandó ( $D$ ) és a csatolási hossz ( $l$ ).

Az irodalomban definiálnak egy *csatolási állandót* az alábbi összefüggés szerint:

$$K = \frac{D l^2}{m g L + D l^2}.$$



6. ábra. Az alkalmazott csatoltinga-rendszer. Az inga hossza (tömegközéppontjának helye a felfüggesztéstől)  $L = 62,3$  cm. Az ingák tömege egyenként, a gombokkal együtt  $1,692$  kg, az ingát tartó rúd tömege  $0,139$  kg. A rugóállandó  $D = 53,3$  N/m, a csatolás helye  $l = 15$  cm.

A csatolási állandó a kölcsönhatás erősségét jellemzi. Minél nagyobb az értéke, (erősebb rugó, „mélyebb” csatolás) annál gyorsabban cserélődik az energia a két inga között, azaz annál nagyobb a lebegés frekvenciája és kisebb a lebegés periódusideje.

Azonos átalakítás, majd a fenti (\*)-gal jelölt összefüggéseket felhasználva:

$$K = \frac{\frac{Dl^2}{\Theta}}{\frac{mgl}{\Theta} + \frac{Dl^2}{\Theta}} = \frac{\Omega^2}{\omega_0^2 + \Omega^2}. \quad (7)$$

Átalakítás után a csatolási állandó a sajátfrekvenciákkal is kifejezhető:

$$K = \frac{\frac{\omega^2 - \omega_0^2}{2}}{\omega_0^2 + \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{2}} = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{\omega^2 + \omega_0^2}. \quad (8)$$

Tehát a (7) és (8) egyenletekből látható, hogy a csatolási állandó kiszámolható az inga geometriai adataiból is és meghatározható a saját(kör)frekvenciák megméréseivel is.

### Mérési eljárás

A mérés során „egydimenziós” vektorszópot használhatunk, mert az ingamozgás kis kitérések esetén harmonikus rezgésként vizsgálható, és a mozgás egy egyenes mentén történik. A kísérleti elrendezésben (lásd 6. ábra) változtatható a csatolási hossz, az ingák hossza, a rugóállandó (a két inga között rugó biztosította a csatolást) és az ingák tömege.

A mérésorozatban először a csatolási hosszt, majd az inga hosszát kell/lehet változtatni.

A rugóállandó ( $D$ ), az inga hossza ( $L$ ) és a csatolási hossz ( $l$ ) adott értékeinél határozzuk meg a sajátfrekvenciához tartozó periódusidőket (azonos fázisban:  $T_0$ , ellentétes fázisban:  $T$ ).

Azonos fázisban lengő ingák esetén  $T_0$  meghatározásához elegendő csak az egyik ingát lengésbe hozni, mivel a csatolás itt nem játszik szerepet. A vektorszópot által a számítógép képernyőjén megjelenített kitérés–idő grafikonról olvassunk le 30 lengésnek megfelelő időt (4 tizedesjegy pontossággal), majd ezekből átlagolással számítsuk ki az inga (ingák) periódusidejét.

Ellentétes fázisban azonos nagyságú, ellentétes irányú kitéréssel kell indítani az ingákat. A számítógép képernyőjén két, azonos periódusidejű harmonikus rezgés görbéje jelenik meg különböző színnel, az ingákhoz rögzített gomboknak megfelelően. Olvassunk le mindkét grafikonról 30 lengésnek megfelelő időt többször, különböző helyen, majd ezekből átlagolással számítsuk ki az ellentétes fázisú rezgéshez tartozó periódusidőt ( $T$ ).

$T$  és  $T_0$  ismeretében kiszámítható a lebegési idő:

$$v_{lebg} = v - v_0 \Rightarrow \frac{1}{T_{lebg.száml}} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \Rightarrow T_{lebg.száml} = \frac{T_0 T}{T_0 - T}$$

Ezek után állítsunk elő lebegést. Egyik ingát kis kitéréssel indítsuk el, miközben a másik inga nyugalomban van. A vektorszópot által kirajzolt lebegési görbéről olvassuk le a lebegés periódusidejét, (szintén több leolvasás átlagolásával), majd az így kapott értéket vessük össze a számolt lebegési idővel, ezután számoljunk relatív eltérést.

$T_0$  és  $T$  felhasználásával kiszámítható a csatolási állandó is az alábbi módon:

$$K_{mért} = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{\omega^2 + \omega_0^2} = \frac{\frac{4\pi^2}{T^2} - \frac{4\pi^2}{T_0^2}}{\frac{4\pi^2}{T^2} + \frac{4\pi^2}{T_0^2}} = \frac{T_0^2 - T^2}{T_0^2 + T^2}$$

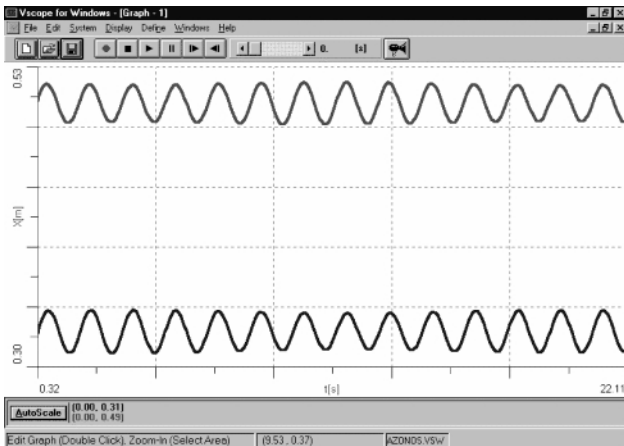
A kapott értékeket vessük össze a

$$K_{szám} = \frac{Dl^2}{mgl + Dl^2}$$

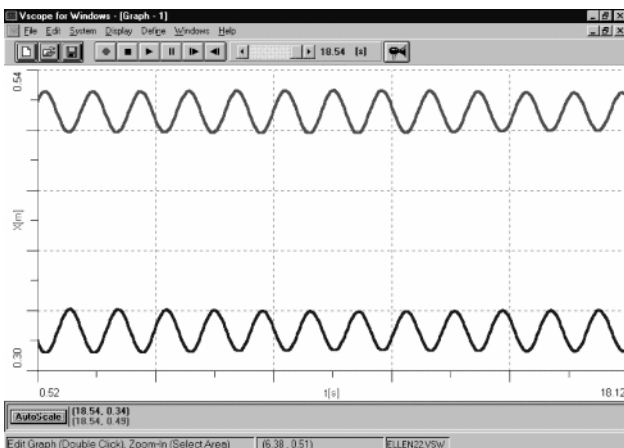
összefüggésből, a geometriai adatok alapján kiszámítható csatolási állandó értékekkel, majd számoljunk relatív eltérést.

### Feladatok

1. Tanulmányozza a kísérleti elrendezést.
2. Ismerkedjen meg a vektorszópotrendszer szoftverével.
3. Állítson be  $l_1 = 0,15$  m csatolási hosszt. Az inga hossza (tömegközéppontjának helye a felfüggesztéstől)  $L_1 = 62,3$  cm. Az ingák tömege egyenként, a gombokkal együtt:  $1,692$  kg, a rúd tömege  $0,139$  kg. A csatolást létesítő kiadott rugó rugóállandója:  $53,3$  N/m. Mérje meg a csatoltinga-rendszer sajátrezgéseire tartozó periódusidőket. Ennek alapján számolja ki a lebegés periódusidejét.



7. ábra. Kitérés-idő grafikonok azonos fázisban lengő ingák esetén,  $l = 15$  cm-es csatolásnál. Az inga hossza (tömegközéppontjának helye a felfüggesztéstől)  $L = 62,3$  cm. Az ingák tömege egyenként, a gombokkal együtt  $1,692$  kg, az ingát tartó rúd tömege  $0,139$  kg. A rugóállandó  $D = 53,3$  N/m.



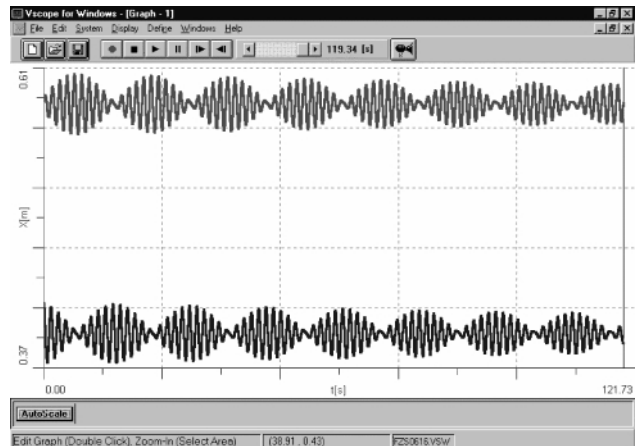
8. ábra. Kitérés-idő grafikonok ellentétes fázisban mozgó ingáknál,  $l = 15$  cm-es csatolásnál. Az inga hossza (tömegközéppontjának helye a felfüggesztéstől)  $L = 62,3$  cm. Az ingák tömege egyenként, a gombokkal együtt:  $1,692$  kg, az ingát tartó rúd tömege  $0,139$  kg. A rugóállandó  $D = 53,3$  N/m.

4. Mérje meg a lebegés periódusidejét a lebegési görbe alapján. Számolja ki a számolt és a mért lebegési periódusidők relatív eltérését.

5. Számolja ki a csatolási állandót a geometriai adatokból.

6. Számolja ki a csatolási állandót a sajátfrekvenciákhoz tartozó periódusidőkből. Számolja ki a számolt és mért csatolási állandók relatív eltérését.

7. Mutassa be, hogyan függ a csatolt rendszer lebegési ideje és a csatolási állandó az inga geometriai adataitól.



9. ábra.  $l = 15$  cm-es csatolásnál mért lebegési görbék. Az inga hossza (tömegközéppontjának helye a felfüggesztéstől)  $L = 62,3$  cm. Az ingák tömege egyenként, a gombokkal együtt:  $1,692$  kg, az ingát tartó rúd tömege  $0,139$  kg. A rugóállandó  $D = 53,3$  N/m.

Ismételje meg az előbbi mérést úgy, hogy változtatja a csatolás hosszát ( $l_2 = 0,2$  m,  $l_3 = 0,25$  m). Ezután állítson be  $0,2$  m-es csatolási hosszt, és ennél változtassa meg az inga hosszát (pl.:  $L_2 = 0,5$  m,  $L_3 = 0,4$  m), vagy használjon más rugóállandójú rugót.

## Mérési eredmények

Tájékoztatóként bemutatok egy-egy kitérés-idő grafikont azonos fázisú és ellentétes fázisú mozgásban (7., 8. ábra), egy lebegési görbét (9. ábra) és  $l$  változtatásával egy mérési sorozatot (táblázat), amely öt mérés átlaga.

A táblázatban a  $T_{lebg.szám}$  a lebegési idők számított, illetve a  $T_{lebg.mért}$  a mért értékeit,  $K_{szám}$  a csatolási állandó geometriai adatokból számított,  $K_{mért}$  a mért sajátfrekvenciákhoz tartozó periódusidőkből meghatározott értékeit jelenti. Az 5. és 8. oszlopban a relatív eltérések szerepelnek.

$$\frac{\Delta T_{lebg}}{T_{lebg.mért}} = \frac{|T_{lebg.szám} - T_{lebg.mért}|}{T_{lebg.mért}}$$

A mérési eredményekből jól látható, hogy  $l$  növekedésével nő a csatolás erőssége, (szorosabb lesz a csatolás), ezért az energia kicserélődése a két inga között gyakoribbá válik, amit a lebegési idő csökkenése és a csatolási állandó növekedése jelez. A tapasztalt relatív eltérések, azaz az egyenletek alapján a geometriai adatokból meghatározott és a vektorszóppal mért mennyiségekből számított értékek közötti különbség okaként elsősorban azt kell megemlítenünk, hogy az elkészített kísérleti eszköz

csak modellezi az alkalmazott egyenletek szerinti csatoltinga-rendszert. Gondoljunk arra, hogy a fizikai inga állványa maga is csatoló elemként szerepel, az ingatest tartórúdjának tömege nem elhanyagolható az ingatest tömegéhez képest, hibával mérhető a nem pontszerűség miatt a csatolás helye

táblázat							
A csatolt inga paramétereinek változása a csatolás $l$ hosszának függvényében							
$l$ (m)	$T$ (s)	$T_{lebg.szám}$ (s)	$T_{lebg.mért}$ (s)	$\Delta T_{lebg}/T_{lebg.mért}$ (%)	$K_{szám}$ ( $10^{-2}$ )	$K_{mért}$ ( $10^{-2}$ )	$\Delta K/K_{szám}$ (%)
15	1,4382	16,178	15,820	2,3	9,66	9,21	4,7
20	1,3534	9,4497	9,4999	0,5	15,98	15,33	4,1
25	1,2710	6,5076	6,4037	1,6	22,89	21,55	5,9

Egyéb paraméterek:  $D = 53,3$  N/m,  $L = 0,623$  m,  $T_0 = 1,5794$  s, az értékek 5–5 mérés átlagát mutatják.



és az inga hossza, a surlódás nem küszöbölhető ki teljesen (ez utóbbi okozza a 9. ábra lebegési maximális amplitúdóinak kis mértékű folyamatos csökkenését), s az ingák kisszögű kitérése is korlátozottan valósítható meg.

Ennek ellenére a vektorszóp eredményesen és hiányt pótlóan alkalmazható a csatolt ingák vizsgálatában, s a tapasztalatok alapján a laboratóriumi gyakorlat elnyerte a hallgatók tetszését is.

## Irodalom

- BUDÓ ÁGOSTON: *Kísérleti fizika I.* – Nemzeti Tankönyvkiadó, 1997  
BUDÓ ÁGOSTON: *Mechanika* – Nemzeti Tankönyvkiadó, 1988  
H.J. PAIN: *The Physics of Vibrations and Waves* – John Wiley and Sons Ltd., London, 1970  
Eshed Robotec Ltd.: V-scope System – User's Manual 1995.  
PHYWE series of publications: University Laboratory Experiments – Physics  
M. RONEN, A. LIPMAN: *A vektorszóp* – Fizikai Szemle 45/11 (1995)

# BESZÁMOLÓ A HATVANI ISTVÁN-FIZIKAVEVERSENYRŐL

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Hajdú-Bihar megyei Csoportja a 2004/2005. iskolai évben 24. alkalommal hirdeti meg a „magyar Faust”-ról, *Hatvani István*ról elnevezett fizikaversenyét. Ezen minden, határainkon inneni és túli, fizikát magyar nyelven tanuló 7–10. osztályos tanuló indulhat. A versenyzőnek csak egyetlen feltételt kell teljesítenie: a Verseny 23 éve alatt kialakult, hosszú ideje véglegessé vált formai előírásait, a Versenyfelhívásban foglaltakat maradéktalanul be kell tartania.

A Verseny szervezésével és lebonyolításával kapcsolatos tudnivalókat ismertetjük a továbbiakban, támaszkodva a 2004. május 1. napon zárult 23. szakasz konkrét tapasztalataira.

A Verseny *ingyenes*: indokolt és indokolatlan jogcímenek nevezési díjat sem szedünk az indulóktól. Egyetlen anyagi teher a megoldások beküldésével kapcsolatban felmerülő postaköltség lehet.

A Versenyfelhívást minden Hajdú-Bihar megyei általános és középiskola szeptember első napjaiban megkapja. Mellettük az elmúlt években indult, vagy indulási szándékukat jelző megyénken kívüli, illetve határainkon túli iskoláknak eljuttatjuk azt. Tavaly 114 iskolából 383 tanuló nevezett. Közülük 145 általános iskolai (7. és 8. osztályos „kicsi”) és 238 középiskolás (9. és 10. osztályos „nagy”) volt. Egy év alatt közülük csupán 42 versenyző adta fel a versenyt.

A feladatok kijelölésénél megpróbáljuk figyelembe venni az egyes iskolatípusok tantervi követelményeit. Ez azonban napjainkban egyre nagyobb gondot jelent. Mint-hogy a megoldások során mindenféle személyi és tárgyi segítség igénybe vehető, ezért elég ritkán fordul elő reklamáció a kitűzött feladatokkal kapcsolatban.

A feladatok egy része olyan, hogy megoldásuk (első-sorban könyvtári) utánajárást, búvárkodást igényel. Például a tavalyi 4.5. feladat a következő volt:

„A Nobel-díjak odaítélésével kapcsolatban elég sok mendemondáról lehet ballani. Nem ezekkel akarunk foglalkozni, csupán egy újabb érdekességre kívánjuk felhívni a figyelmet az alábbiakkal.

*Szinte hibetelen, de majdnem ugyanazon felfedezésért fizikai és kémiai Nobel-díjat is odaítéltek, ráadásul ugyanabban az évben.*

*Az egyik tudós gázok sűrűségeinek meghatározása során érdekes – és számára megmagyarázhatatlan –*

*megfigyelésre jutott: a levegőből kinyert nitrogén sűrűsége nagyobb volt, mint a nitrogéntartalmú vegyületekből előállított nitrogén sűrűsége. (Ugyanakkor az oxigén sűrűségét mindig azonosnak találta, bárhol is származott az.) A másik kutatóval való tanácskozás után egy új elemet nyert ki a levegőből.*

*A másik tudós később a levegőből további elemeket különített el.*

*A két tudós életének összehasonlításakor állapíthatjuk meg a következőket:*

- Mindketten szigetállam szülőttei.

*Az egyik bárói címet örökölt, a másik lovagi címet kapott.*

- Mindketten tagjai voltak a Royal Society-nek.

*A Magyar Tudományos Akadémia külső tagjaivá választották őket.*

*a) Melyik két Nobel-díjas tudósról van szó? Milyen nemzetiségűek, mikor születtek és hunytak el?*

*b) Miért kapták a legmagasabb tudományos elismerést?*

*c) Egyikőjük halálát egy fertőző betegség okozta – a közvélemény szerint. Ennek a betegségnek ő volt az első áldozata. Miért téves a kutató halálát okozó betegség előző diagnózisa?”*

Vannak olyan feladataink, amelyek természeti (azaz napjaink) jelenségeinek megfigyelését és magyarázatát kéri a versenyzőktől. Ilyen volt például a tavalyi 4.6. feladat:

*„A gázüzemű személygépkocsikkal nem lehet mélygarázsban parkolni. Mi lehet ennek az oka? Hasonló, de kellő körültekintés esetén kevésbé veszélyes jelenséggel találkozhatunk. Vajon hol?”*

A feladatok többségének a megoldásánál számolni kell. Például a tavalyi 1.3. feladat:

*„A kerékpárversenyen a hegycsúcs felé balad az üldöző csoport és az előtte 2,5 km-re lévő »szökevény« állandó, 25 km/h sebességgel. Az adott pillanatban a szökevény 3 km-re van a hegy csúcsától.*

*a) Hány perc előnye van a szökevénynek?*

*b) Mennyi idő elteltével jut fel a csúcsra a szökevény?*

*c) Mennyi lesz az országúton mért távolság a szökevény és az üldözők között az eredeti helyzettől számítva 10 perc múlva? A csúcson túl, a lejtőn lefelé 65 km/h átlagsebességgel képesek hajtani.”*

A Verseny négy fordulójában a „kicsik” 6–6, a „nagyok” 8–8 feladat megoldásával foglalkozhatnak. Tavaly összesen 7317 megoldást javítottunk és értékeltünk. A megoldásokra rendszerint maximálisan 5 pontot adunk, de a legjobb megoldásokat külön ponttal premizáljuk. Emiatt a négy fordulóban a „kicsik” 120, a „nagyok” 160 alappontot szerezhetnek. Tavaly a legjobb „kicsi” 123+24, a legjobb „nagy” 165 pontot szerzett.

A pontversenyekben elkülönülten tartjuk nyilván az általános és a középiskolás versenyzők eredményeit. A pontversenyek állásáról az első két forduló után és a Versenyt záró értékelésben tájékoztatjuk az iskolákat.

A négy forduló után kialakult pontversenyek alapján a „kicsik” közül az első 25–30, a „nagyok” közül az első 35–45 versenyzőt behívjuk a döntőbe. (Hangsúlyozzuk: csak az abszolút sorrend számít!) A tavalyi döntőben, április 30-án 34 általános iskolás 5 feladatot, a 46 középiskolás 2 kötelező és 4 választható feladatot oldhatott meg. A versenyzők csak számológépet használhattak. A legjobb eredményt elért 10 „kicsi” és 12 „nagy” versenyzőnek mérési feladatot is meg kellett oldania.

A „kicsik” mérési feladata:

*„Az asztalon található egy acél csapágygolyó, egy vonalzó, valamint egy milliméterpapír. A fenti eszközök segítségével határozzuk meg, hogy az asztallap és a csapágygolyó ütközése során a golyó mozgási energiájának hány százaléka alakul át más energiaformává! Hogyan függ az eredmény a golyó becsapódási sebességétől? Magyarázzuk meg a mért eredményt! Hová lesz az elveszett energia?”*

A „nagyok” mérési feladata:

*„A tálcán található eszközök: fecskendő, egy pohár víz, egy üres pohár és egy darab pezsgőtabletta. Határozzuk meg, hogy a pezsgőtabletta teljes feloldódásakor hány darab CO<sub>2</sub>-molekula szabadul fel!*

*Határozzuk meg, hogy mennyivel növekszik meg egy pohár víz tömege, ha feloldjuk benne a pezsgőtablettát? A tanteremben található digitális mérleget kizárólag a pezsgőtabletta tömegének mérésére lehet használni. A folyadék tömegének mérése tilos! A tanteremben található hőmérő és barométer szabadon leolvasható.”*

A döntőn való részvétellel együtt járó (utazási, szállás- és étkezési) költségeket a hazai versenyzők (és kísérőik) esetében nem tudjuk fedezni. Ennek ellenére tavaly gyöngyösi, hevesi, kisújszállási, miskolci, soproni, váci és zalaegerszegi versenyzők is részt vettek az utolsó rendezvényen. Egyetlen anyagi „támogatás”-unk az volt, hogy viszonylag olcsó szálláshelyet és étkezési lehetőséget kerestünk részükre.

Természetesen az összesen 15 (Beregszászból, Csíkszeredából és Szatmárnémetiből érkezett) külföldi versenyzőt és kísérőiket vendégül láttuk.

Az eredményhirdetésen minden versenyző oklevelet és könyvajándékot kap. (Tavaly a 80 fős „mezőny” könyvajándéka komoly anyagi terhet jelentett!) Mindig fizikai témájú könyveket ajándékozunk. Elsősorban azért, mivel az iskolák és a családok könyvtárai mind kevesebbet tudnak áldozni az ilyen témájú könyvek beszerzésére.

A Verseny jelentős szerepet tölt be a tehetségazonosítás, -gondozás és -fejlesztés, sőt még a tehetségmentés területén is. A versenyzők tanárainak segítése mellett ez a

Verseny az, amely érdekes feladataival, pártatlanságával és rendszerességével hozzájárul ahhoz, hogy a jövőbeli Mikola Sándor-, Békésy György-, Szilárd Leó-, Országos Középiskolai, Eötvös- és Öveges-fizikaversenyek győztesei és helyezettei, valamint a diákolimpikonok közül néhányan megszeressék a fizikát, és hozzászokjanak a tehetséggel együtt járó nehézségekhez, sikerekhez és felelősséghez.

Az a sokrétű munka, amely a Verseny szervezéséhez, lebonyolításához, fenntartásához szükséges, igazi csapatmunka eredménye! A teljesség igénye nélkül csupán néhány munkaterületet említünk meg.

A Verseny lebonyolításában nagyon sokan vesznek részt. Például a megyei Csoport vezetőségének csaknem minden tagja a feladatkitűzésben, a megoldások begyűjtésében és javításában, az igen költséges sokszorosítások elvégzésében, a kísérleti bemutatókon és a döntők lebonyolításában, illetve ezen munkálatok koordinálásában vesz részt. Emellett középiskolai tanárok alkotják a javítók csoportját. Mindezt anyagi elismerés nélkül teszik!

Az ma már mindenki számára természetes, hogy a Verseny ingyenes! Viszont elképzelni is lehetetlen, hogy egy ilyen „nagy ívű”, tömegeket megmozgató és igen kedvelt versenyt anyagi források hiányában le lehet bonyolítani! Nem kívánjuk a postázáshoz, a jutalomkönyvek vásárlásához, a határainkon túli versenyzők fogadásához szükséges jelentős összegeket felsorolni. Csupán egyetlen tételt említünk meg: a 23. versenyszakaszból lebonyolítása során 4764 db A4 méretű, kétoldalas ív sokszorosítására került sor.

Anyagi forrásaink szűkösek, de eddig soha sem panaszkodtunk! Hiszen támogatóink éveken át kiálltak mellettünk. Például az elmúlt évben

– a debreceni TANESZKÖZ Kft. kiemelt összeggel támogatott,

– a Debreceni Egyetem Kossuth Lajos Gyakorló Általános Iskolája a postázás terheit csökkentette és begyűjtötte a versenyzők megoldásait,

– a Debreceni Egyetem TTK Elméleti, Kísérleti és Szilárdtest Fizika tanszékei elvégezték a nagy tömegű fénymásolást, lebonyolították a kétszeri kísérleti bemutatót, és közreműködtek a döntő lebonyolításában,

– a Hajdú-Bihar megyei Pedagógiai Intézet és Továbbtanulási, Pályaválasztási Tanácsadó a pénzbeli támogatás mellett a postázásban működött közre.

A pénzben ki nem fejezhető támogatásokat ezúton is megköszönjük!

Külön kell említenünk az Eötvös Loránd Fizikai Társulat támogatását: mindig jelentős összeggel segítették munkánkat, így a többi forrással kiegészítve azt, boldogultunk. Az idén is számítottunk a Központunkra, de számunkra váratlan és érthetetlen okok miatt eddig semmit sem kaptunk. Ennek a következménye az, hogy a Verseny 23. szakasza döntőjét követően a költségeket csak magánkölsön felvételével tudtuk elszámolni. Mivel mindenféle tanulmányi verseny a tanítási (és nem a gazdasági) év végén fejeződik be, ezért pillanatnyilag nem látjuk tisztán a Verseny jövőjét!

Nagyon nagy segítséget jelentenek a versenyzők számára azok a kiadványok, amelyek a Verseny 3–3 versenyszakasának minden feladatát és azok megoldásait,

valamint a döntők eredménylistáit tartalmazzák. Ezek több száz példányos kiadását és a piaci árnál jóval kisebb összegért az eladását megyénk Pedagógiai Intézete vállalta. Ezeket a kiadványokat mindig ajánlottuk a versenyzőknek és a tanároknak, viszont egyetlen esetben sem kényszerítettük őket azok megvásárlására!

A Verseny 24. szakaszának versenyfelhívását és első két fordulójának feladatsorait a nyáron elkészítettük. Azzal a reménnyel tettük ezt, hogy a nehézségek előbb-utóbb elhárulnak, és rövidesen megünnepelhetjük a Verseny 25. születésnapját.

Kopcsa József

## JEDLIK ÁNYOS ORSZÁGOS ÁLTALÁNOS ISKOLAI FIZIKAVERSENY, NYÍREGYHÁZA

1998-ban vetődött fel – az Öveges-verseny előiskolájaként – a 8. osztályos korosztály mellett a 6–7. osztályosok versenyeztetésének lehetősége. A versenyszervező gondolatának megvalósulásához, szükség volt a megalakulásának akkor 5. évfordulóját ünneplő Jedlik Ányos Társaság anyagi támogatására és *Király Árpád* főtítkárra biztató szavaira. Ehhez járult még a Nyíregyházi és a Szabolcs-Szatmár-Bereg megyei Polgármesteri Hivatal, valamint a Szabolcs megyei Pedagógiai Intézet segítő együttműködése. Köszönetemet fejezem ki a nyíregyházi Zrínyi Ilona Gimnázium igazgatójának, *Pintér Miklósnak* a segítőkészségéért, aki kezdettől fogva biztosította a szállás, étkezés, versenyzés lehetőségét az intézménykomplexumban. 1999-től kezdődően már 6 alkalommal rendeztük meg a Jedlik Ányos Országos Fizikaversenyt. A verseny életben maradása leginkább a felkészítő tanároknak köszönhető, akik többnyire díjmentesen végezték a gyerekek motiválását, felkészítését. Az eddigi 6 versenyen 212 fizikatanár 551 tanulója jutott a nyíregyházi döntőbe, s közülük *Pápai Gyuláné* (Fertőd) minden évben itt volt tanítványaival. Öten 10 vagy annál is több tanulót juttattak az országos döntőbe: *Poór-né Tassi Ildikó* (Karcag, 20), *Pápai Gyuláné* (18), *Maráz Lászlóné* (Tata, 17), *Tófalusi Péter* (Debrecen, 13) és *Kovácsné Molnár Nóra* (Nyírbátor, 10). Évente átlagosan 1200 gyerek kezdte el a versenyfeladatok megoldását, s az első 4 évben, 1 korcsoportban csak 6. osztályos anyagot felölelő (munka, sűrűség, energiaváltozás) témakörben rendeztük meg a versenyt 6–7. osztályos tanulók részére. A 6. osztályos fizika megszünése új helyzetet teremtett. A kollégák igényelték továbbra is a 6. osztályosok versenyeztetését. Úgy döntöttünk, hogy 3 korcsoportban rendezzük meg a továbbiakban a versenyt, lehetőséget adva a fizikát még nem tanuló 5–6. osztályosoknak, s kiterjesztve a lehetőséget a 8. osztályosok számára is. A döntő résztvevőinek száma jelentősen megnőtt, idén három korcsoportban 170 diák mérte össze tudását a nyíregyházi fináléban. Eddig 10 győztes tanulót jegyezhetünk: *Maga Péter* (Nyíregyháza), *Varga Szilvia* (Debrecen), *Nikbázy László* (Győr), *Kőrösi Márton* (Békéscsaba, 2002 és 2003-ban), *Héricsz Dalma* (Tata), *Csépke Balázs* (Kisvárd), *Antalóczi Ditta* (Karcag), *Vógel Bálint* (Nyíregyháza) és *Ferencz Endre* (Szatmárnémeti) voltak eddig az országos döntő első helyezettei. A versenysorozatra jelentkező tanulók megkapják a *Fizika-iskola* című feladatgyűjteményt,

az adott évre összeállított 100 feladatot. A feladatokat otthon oldhatják meg a tanulók, melyre 3–4 hónap áll rendelkezésre. A feladatok nehézségi foka – az országos döntő színvonalát előrevetítve – olyan, hogy azok sikeres megoldása *tanári irányítást* is igényel. A 100-ból 50 feladatot megoldva megadott határidőig vissza kell juttatni a versenybizottságnak, s értékelés után a legjobbak vehetnek részt a második próbatételben, a *területi versenyen*.

Nagy megtiszteltetésnek tartjuk, hogy *Radnai Gyula* (ELTE) elvállalta a zsűri elnöki tisztét.

Egy versenyről véleményt nyilvánítani legilletékesebbek az azon résztvevő tanulókat felkészítő tanárok:

• „*A versenyről jó tapasztalataim vannak. Kiváló lehetőség a tehetséggondozásra. Örülök annak, hogy már az 5–6. osztályosoknak is van lehetőségük a versenyen való részvételre. A mai kevés óraszám mellett jó dolognak tartom.*” (*Pesti Györgyné, Okány*)

• „*Nagy örömmre szolgál, hogy a versenyszervezők továbbra is kitartanak a verseny megrendezése mellett. Köszönjük. Mára már természetessé vált, hogy ez a verseny nem maradhat ki sem az én, sem a versenyt egyszer is megpróbáló gyerekek életéből. Még azok is ragaszkodnak a következő évi jelentkezéshez, akiknek az előző évben nem sikerült bejutni a döntőbe. Tavaly óta ötödikesekkel is megismerttem a versenyt. Egy életre megérintette őket ez a tudomány a versenynek köszönhetően. Engem is az ő lelkesedésük hajtat előre akkor, amikor a fizika oly mértékben bátra szorul az iskolai oktatásban, hogy a nevelők nagy többsége saját kudarcának éli meg a tanítványai fizika iránti negatív hozzáállását. Ez az a korosztály, amelyik még megnyerhető, a betedikben belépő fizika már túl későn találja meg őket. Célom, hogy minél több kis emberkével ismertessem meg a Jedlik-versenyt, amely olyan gyerekeket is sikerélményhez juttatott, akik eddig még nem vettek részt sem matematika-, sem fizikaversenyben. Megtanulható, megtanulható a feladatok megoldása, a benne rejlő fizikai problémákat képesek felismerni, alkalmazni. Logikus gondolkodásuk, problémamegoldó képességük fejlődik az élet minden területén.*” (*Poór-né Tassi Ildikó, Karcag*)

E-mail: jedlik@axelero.hu, internet: web.axelero.hu/jedlikfizikaverseny

A Jedlik Ányos Társaság nevében:

Jármezei Tamás  
fizika szakértő, főszerző

## SZUPRAVEZETŐK A MINDENNAPOKBAN: A XXI. SZÁZAD TECHNOLOGIÁJA

Vajda István, BME Villamos Energetika Tanszék  
Szalay András, S-Metalltech Kft., Budapest  
Porjesz Tamás, ELTE TTK Általános Fizika Tanszék (SuperTech Lab.)

A szupravezetőket – sok évtizedes szívós és következetes kutató–fejlesztő munka eredményeképp – az utóbbi néhány évtizedben mind több alkalmazásban tudjuk felhasználni. Immár kereskedelmi forgalomban is beszerezhető a szupravezetős mágneses energiatároló (SMES), hazánkban is használnak orvosi vizsgálatokra szupravezető mágneseket. A szupravezető anyagok nyújtotta különleges előnyöket egyre nagyobb mértékben tudjuk élvezni, és ez a jövőben még inkább így lesz.

Az Európai Unió minden évben szervez egy, a tudományos eredményeket népszerűsítő hetet *European Science Week* elnevezéssel. Ebben az évben – héttagú nemzetközi konzorcium vezetőjeként – a BME Villamos Energetika Tanszék SuperTech Laboratóriuma vállalhatta el, hogy bemutassa a szupravezetős alkalmazások mai helyzetét és a közelebbi jövőben várható fejlődését. A *Science Week* keretében, *Mágikus Vonzás* címen ez év november 22–25. között a BME Aulájában egy interaktív kiállításon, a laikusok számára is érthető módon megmutatjuk, hogy a szupravezetés alkalmazására máris hányféle példa található részint saját, részint európai és tengerentúli kutatások eredményeként. Megismertetjük a látogatókat egyrészt a szupravezetők alapvető fizikai tulajdonságaival és egyes konkrét, gyakorlati alkalmazásokkal. A szupravezetős erősáramú alkalmazások sorában bemutatjuk a mágneses csapágyakat, valamint a mágneses csapágyazású energiatároló lendkereket, a zárlati áramkorlátozót, a mágneses szeparátort, valamint a kábeleket.

Célunk, hogy mind az érdeklődők, mind a kutató–fejlesztő kollégák számára közelebb hozzuk ezt a feljövőben lévő, perspektivikus high-tech területet, bemutassuk, hogy a szupravezetés reális megoldásokat nyújt meglévő és jövőbeni ipari problémákra.

### Röviden a szupravezető anyagok tulajdonságairól

A szupravezetés jelenségét *Heike Kammerlingh-Onnes* holland fizikus fedezte fel 1911-ben. Ezek a szupravezető anyagok egy bizonyos kritikus hőmérséklet alatt elvesztik elektromos ellenállásukat, gyakorlatilag végtelenül jó elektromos vezetővé válnak. A Kammerlingh-Onnes által felfedezett *alacsony hőmérsékletű* (AHS) szupravezető anyagok, illetve az azokból készült ötvözetek legmag-

sabb kritikus hőmérséklete 23,2 K, ezért hűtésükhöz folyékony héliumot kell használni.

1986-ban *Müller* és *Bednorz*, az IBM kutatói, olyan kerámiaalapú szupravezető anyagot fedeztek fel, melynek kritikus hőmérséklete (~35 K) lényegesen meghaladta a korábbi, AHS-anyagokra megismert legmagasabb értéket. Ezért ezt az új típusú szupravezetést *magashőmérsékletű szupravezetésnek*, míg az anyagot *magashőmérsékletű szupravezetőnek* (MHS) nevezték el. Lényeges áttörés következett be 1987 januárjában az itrium-alapú szupravezetők felfedezésével, melyek kritikus hőmérséklete elérte a 93 K-t. A nitrogén forráspontjánál (77,36 K) magasabb kritikus hőmérsékletű szupravezető anyagok megjelenése áttörést jelentett az alkalmazási lehetőségek terén. Ezáltal az eszközök hűtése lényegesen olcsóbbá és egyszerűbbé válhatott. Ennek köszönhető, hogy felgyorsultak a felhasználásra irányuló kutatások.

A kritikus hőmérsékleten kívül még két kritikus paraméter játszik fontos szerepet: a *kritikus áramsűrűség* és a *kritikus indukció*. A szupravezetési állapot csak abban az esetben marad fenn, ha mindhárom mennyiség értéke egyidejűleg kisebb, mint a kritikus értékek.

A szupravezető-képesség alapvetően *két lényeges tulajdonságot* foglal magába. Az egyik az ellenállásmentes áramvezető-képesség (történetileg ebből származik a „szupra”-vezető elnevezés), ezt jól demonstrálja e havi számunk címlapképe, amelyen látható, hogy a szupravezetőn veszteség nélkül folyik az áram.

A másik a diamágneses tulajdonság, a Meissner-effektus. Az utóbbi tulajdonság azt jelenti, hogy a mágneses tér kizorul a szupravezető anyagból. Ezért például egy szupravezető tárcsa fölé elhelyezett állandó mágnesre taszító erő hat, az állandó mágnes a szupravezető tárcsa

1. ábra. Szupravezető fölött lebegő kis mágnes





2. ábra. Megnövelt lebegtető erővel már embert is elbír (balra). Szupravezető mágnesekkel lebegtetett vonat (jobbbra).

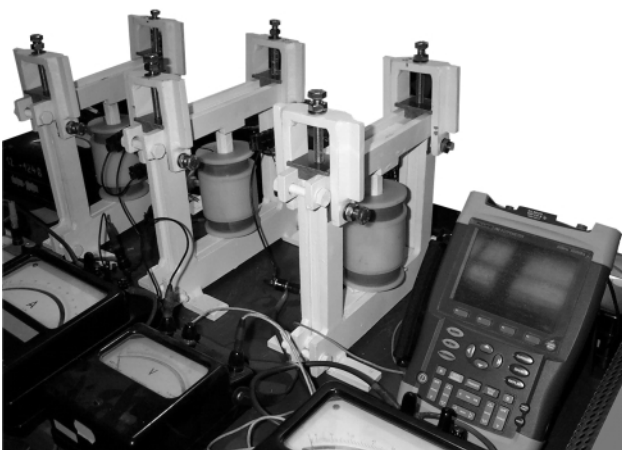
felett lebegni fog (1. ábra). A mágnesek és a szupravezetők méretezésével a lebegtetőerő növelhető, akár embereket (2. ábra), vagy gépkatrészeket, vasúti kocsit (2. ábra jobb oldala) stb. is lebegtethet, biztosítva ezek sűrűdésmentes haladását vagy forgatását.

Az alkalmazásokban a szupravezetők mindkét alapvető tulajdonságát kihasználjuk. Az áramvezető-képességen alapulnak a szupravezetős tekercsek, kábelek, áramhozvezetések stb. A diamágneses tulajdonságot a lebegtetett csapágyakban és lendkerekekben, a mágneses árnyékolókban használjuk fel. Említésre érdemes, hogy ha a szupravezetőt mágneses térben hűtjük le, a mágneses erővonalak – képletesen szólva – „befagynak” a szupravezetőbe. Így a szupravezető és az állandó mágnes között nemcsak taszító, hanem vonzó erő is létesíthető. A fluxus befagyasztásával szupravezetős állandó mágnesek készíthetők, amelyeket szupravezető állandó mágneses motorokban, mágneses tengelykapcsolókban lehet felhasználni.

## Szupravezetős erősáramú alkalmazások külföldön és hazánkban

A magashőmérsékletű szupravezető (MHS) anyagok esetében az üzemi hőmérséklet fenntartása folyékony nitrogénnel biztosítható, ami lényeges előnyt jelent az alacsony hőmérsékletű szupravezetők hűtésigényével összehasonlítva. Ma már kereskedelmi forgalomban szerezh-

3. ábra. Laboratóriumi háromfázisú áramkorlátozó MHS szupravezetővel a SuperTech Laboratóriumban



tők be magashőmérsékletű szupravezetőből készített alkatrészek. Az erősáramú alkalmazásokat tekintve rendelkezésre állnak a tekercsekben és energiaátviteli kábelekben használható huzalok és szalagok, a kis hővezetésű áramhozvezetések, a mágneses csapágyakban és lendkerekekben felhasználható tárcsák (lebegtetők és stabilizátorok), a mágneses árnyékolásra alkalmas gyűrűk és fóliák, valamint az áramkorlátozókhöz (3. és 4. ábra) szükséges hengerek, gyűrűk. Az energiaminőség javítását szolgáló mágneses energiatárolók több példányát telepítették és üzemeltetik ipari fogyasztóknál, a közép feszültségű hálózatokon alkalmazható zárlati áramkorlátozók ipari alkalmazása folyamatban van.

Az energiaátviteli transzformátorok, villamos forgógépek, energiaátviteli kábelek és az energiatároló lendkerekek ipari alkalmazása a közeli jövőben várható.

Megállapíthatjuk, hogy jelentős a fejlődés mind az alacsony-, mind pedig a magashőmérsékletű szupravezetők ipari alkalmazásainak bevezetése és elterjedése területén. Az orvosi diagnosztikában is egyre többen alkalmazzák a szupravezető mágneseket tartalmazó mágneses rezonancia-módszerrel történő képalkotást (5. ábra). Nem véletlen, hogy 1998-ban fogalmazódott meg a jelző: „Superconductivity coming to market – A szupravezetés közeledik a piachoz”.

## A hazai kutatás–fejlesztés helyzete

Az erősáramú szupravezető-kutatás és -fejlesztés hazai bázisa a BME SuperTech Laboratóriuma. A kutatók száma 5 fő, a külső szakemberek száma mintegy 20 fő hazai és külföldi szenior tag, továbbá mintegy 20 fő junior, nap-pali és doktorandusz hallgató. A SuperTech kiterjedt nemzetközi kapcsolatokkal rendelkezik a világ minden táján.

Kiemeljük a hagyományos, idén már tizedik alkalommal megrendezett Szupravezetős Nemzetközi Nyári Egyetemet, továbbá az ipari szemináriumokat, amelyeket *Az energiaminőség javítása szupravezetős mágne-*

4. ábra. A General Atomics/Intermagetics áramkorlátozója MHS szupravezetővel a Southern California Edison alállomásán üzembe helyezve



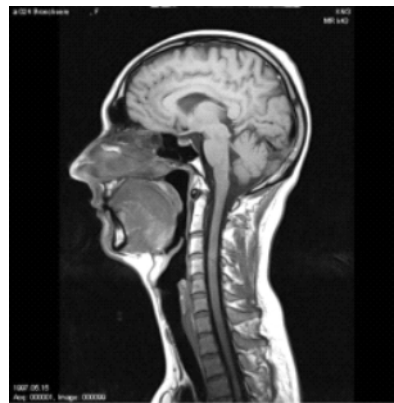


ses *energiatárolókkal* címmel tartottunk a BME-n, valamint az ÉDÁSZ Rt., és az MVM szakemberei számára.

A SuperTech tagja az EU 5. Keretprogramjának részeként működő Európai Szupravezetős Hálózatnak (SCENET), képviselteti magát az USA *Superconductivity for Power Systems* (Szupravezetés az energiarendszerek számára) nemzeti programjában, és közvetlen kapcsolata van Japán erősáramú szupravezetős programjaihoz.

Jelenleg nagyáramú MHS zárlati áramkorlátozó, valamint rövididejű energiatárolásra alkalmas – úgynevezett teljesítménytároló – mágnesesen lebegtetett MHS lendkerék ipari modelljeinek fejlesztése van fejlesztéseink középpontjában. Az egyedi eszközök fejlesztését követően a jövő terveinek középpontjában komplex, több eszközt (transzformátor–áramkorlátozó–motor–energiatároló) magában foglaló és azok együttműködését igénylő MHS-rendszer (minierőmű modellje) kivitelezése áll. Ez a koncepció nemzetközi összehasonlításban is újszerűnek minősül.

A nemzetközi együttműködések eredményeként rendezhetjük meg 2004. november 22–25. között a BME K. épület aulájában a *Mágikus Vonzás* című kiállítást. Az in-



5. ábra. MHS huzalból készült mágneses rezonanciakészülék és a vele készült felvétel

teraktív tárgyak az Oxfordi Egyetem, a Barcelonai Egyetem, a Ben-Gurion Egyetem, a caeni Crismat és a jénai IPHT kutatóhelyek, a Sydkraft svéd vállalat, a Diamond Congress rendezvényszervező cég, az S-Metalltech kutatóvállalat, valamint a BME SuperTech Laboratóriuma szoros együttműködésében készültek el.

A kiállításról a [www.szupravezetes.hu](http://www.szupravezetes.hu) címen bővebb információk is elérhetők.

## 50 ÉVES A CERN – ÜNNEPI ÜLÉS AZ AKADÉMIÁN

Az alábbiakban röviden összefoglalom az MTA ünnepi CERN-ülésén, 2004. szeptember 22-én elhangzott előadásokat. A NIIFI jóvoltából videofelvétel készült az egész ülésről, amely a világháló <http://vod.niif.hu/cern/> lapján megnézhető, ugyanott az előadások fóliái is megtekinthetők. Az ünnepi ülés első részén részt vett *Carlo Rubbia* Nobel-díjas professzor, akinek kedvéért a bevezető előadások angolul hangzottak el.

Az ülést *Horváth Zalán* akadémikus, az MTA Fizikai Osztályának elnöke nyitotta meg rövid bevezetővel.

Magyar kutatók már jóval Magyarország 1992-es csatlakozása előtt dolgoztak a CERN-ben, de csatlakozásunk új távlatokat nyitott számunkra, amellyel élünk is. Különös öröm, hogy Carlo Rubbia mellett, aki a csatlakozás idején a CERN főigazgatója volt, a hallgatóság soraiban üdvözölheti *Pungor Ernő* akadémikust is, aki magyar részről a csatlakozási tárgyalásokat vezette. A CERN-nek ma már 25 ország teljes jogú tagja, de rajtuk kívül valamennyi kontinens országai részt vesznek a CERN munkájában.

*Keviczky László* akadémikus, az MTA alelnöke *A nagy tudomány szerepe a magyar társadalomban* című előadásában elsősorban arra keresett választ, mit nyújt ma a CERN a kutatási szférán kívül.

A CERN legfontosabb szerepe alapításakor a békés egymás mellett élés és együttműködés üzenete volt a világháború után és a hidegháború alatt. Mérnökként

kijelentheti, hogy a CERN nemcsak a tudomány temploma, hanem vezető technológiai központ; az Akadémia alelnökeként viszont azt kell hangsúlyoznia, hogy a jelenleginél sokkal komolyabb népszerűsítésre van szükségünk a fizikai kutatások, benne a nagyenergiájú fizika és magyar CERN-részvétel terén. Magyarország CERN-tagsága sokba kerül ugyan, de az az összeg nem is annyira kiugró, ha ahhoz viszonyítjuk, mennyit költünk egyébként is kutatásra, és mit nyer az ország a CERN-tagsággal. Kevesen tudják, hogy Magyarország csatlakozási tárgyalásai még a rendszerváltás előtt, a 80-as években indultak meg, Carlo Rubbia első budapesti látogatásával.

Carlo Rubbia professzor *A CERN alapítása, fejlődése és eredményei* című, rendkívül érdekes és színes előadásában szabadon beszélt, föliasegédlet nélkül.

A CERN alapításának és működésének mindig volt a tudományos mellett politikai jelentősége is. A tudományos együttműködés sokkal egyszerűbb, mint a politikai: a kutatók közös nyelvet beszélnek és közös a céljuk, ezért a tudományos együttműködés mindig előtte jár a politikainak. A CERN alapításának hármasságát jelentősége volt: 1) a háború utáni újjáépítés idején a korábban háborúzó európai országok összefogását segítette; 2) az európai kultúra egységét szimbolizálta; és 3) az első jele volt annak, hogy a nagy tudomány túlnövi egy-egy ország határait. A CERN volt az első nemzetközi kutatóintézet, de azóta több hasonló intézmény jött létre az űrkutatás, a csillagászat, az anyagtudomány és a biológia

területén, és több nemzeti kutatóintézet nemzetközi szerepet kapott. Ötven éven keresztül folyt verseny Európa és az Egyesült Államok között, egymást követték a nagyobb és nagyobb teljesítményű gyorsítók a CERN-ben és az USA nemzeti laboratóriumaiban; most a CERN az LHC megépítésével megnyerni látszik ezt a versenyfutást. A CERN kutatói kezdetben főként detektorépítéssel foglalkoztak: *Georges Charpak* Nobel-díjat kapott a sokszálas kamrákért, de kevesen tudják, hogy az első kalorimétert *Herwig Schopper*, a CERN későbbi főigazgatója építette.

Rubbia ezután a Standard Modell diadalútját ecsetelte. Nevével ellentétben nem egyszerű modell, de valódi, renormálható térelmélet, igen kevés alapvető részecskével és mértékelméletileg származtatott kölcsönhatásokkal. A Higgs-bozon kivételével minden alkotórésze megvan és tisztázott. A Higgs-bozon tömegének végessége megköveteli a Standard Modell kiterjesztését. Ezt a szuperszimmetria elmélete megoldja, megoldást kínálva emellett több más alapvető problémára is, például a Világegyetem sötét anyagának rejtélyére. Az újkor két legnagyobb felfedezése *Kopernikusz* és *Darwin* nevéhez fűződik. Kopernikusz arra jött rá, hogy Földünk nem a Világegyetem központja, csak kis pont az Univerzumban, Darwin pedig, hogy az Ember csak egy fejlődési folyamat terméke, nem az Élet középpontja. A legújabb kor legnagyobb felfedezése a miénkkel párhuzamosan létező szuperszimmetrikus világ: látható anyagunk nem dominál a Világegyetemben, annak nem is igazán jelentős összetevője.

A tudományos kutatás mindig is nemzetközi volt, magyar kutatók, főként fizikusok, sokan dolgoztak külföldön, főként az Egyesült Államokban, és még a leghidegebb hidegháború idején is élénk kutatócsere folyt a vasfüggönyön keresztül. Érdekes módon a CERN-be abban az időben Magyarországról Dubnán keresztül vezetett a legrövidebb út, a magyar részecskefizikusok Budapestről Dubnán át jutottak Genf-be. Azóta a CERN európaiból világintézmény lett: kutatót a legnagyobb számban az USA és Oroszország delegálja, de sok kutató érkezik Japánból és Kínából is.

Carlo Rubbia itt megemlítette, hogy ő olasz, és tudatában van a rengeteg hasonlóságnak Magyarország és Olaszország között, a nemzeti lobogóink színein túlmenően. A CERN előtt országaink részecskefizikusai mind emigránsként kezdték pályafutásukat, de ma már nincs erre szükség, hiszen a CERN-be hazamegyünk. Felsorolt néhány kiemelkedő magyar tudóst, akik a kutatás minden területén otthon voltak: elméletben és kísérletben, részecske-, reaktor- és szilárdtestfizikában, név szerint említve *Neumann Jánost*, *Wigner Jenőt*, *Szilárd Leót*, *Teller Edét* és *Bay Zoltánt*, az alkalmazott fizika területről *Kármán Tódort*, *Hevesy Györgyöt* és *Gábor Dénest*. A kortársaink közül hozzátette még *Marx Györgyöt* és *Kuti Gyulát*, valamint jó barátját, *Telegdi Bálintot*. Az előadást egy anekdotával zárta. Állítólag *Fermi* mondta, hogy az általa ismert magyarok részben zseniálisak, részben rendkívül zseniálisak, de mindig igencsak eredetiek voltak, ám néha nem árt ragaszkodni a tradíciókhoz.

*Zimányi József* akadémikus *Magyarország csatlakozása a CERN-bez* címmel korabeli fényképekkel illusztrált, színes összefoglalót adott a csatlakozás körülményeiről és az akkor kezdett munkáról.

Belépésünk időpontja 1992. június 26. volt, azon a napon írta alá Carlo Rubbia CERN-főigazgató és Pungor Ernő tudományügyi tárca nélküli miniszter a csatlakozási okiratot, amelyet azután *Göncz Árpád* köztársasági elnök véglegesített. A csatlakozási szándék már sokkal korábban megvolt: még *Berend T. Iván* és *Kosáry Domokos* is tárgyaltak egy esetleges csatlakozásról, de az akkor elmaradt. Végül a magyar zászlót Pungor Ernő és Carlo Rubbia húzták fel a CERN főbejáratánál. A CERN tagállamai az intézet fenntartásához nemzeti jövedelmük arányában járulnak hozzá: ez csatlakozásunk idején a CERN csaknem 1 milliárd CHF-es költségvetésének 0,4%-a volt, ma már a forint erősödése és a magyar GDP növekedése miatt 0,7%.

Csatlakozásunk közvetlen oka hármas volt: 1) politikai, mert segítette későbbi EU-csatlakozásunkat, 2) tudományos, a világ legnagyobb részecskefizikai laboratóriumához, és végül 3) fejlesztésorientált, mint élenjáró technológiai centrumhoz. A CERN tanácsára igyekeztünk koncentrálni a magyar kutatási erőfeszítéseket, és két új magyar CERN-csoportot indítottunk (a meglévő L3-csoport mellett, HD). A Szuper-protonszinkrotron (SPS) NA49 jelű nehézion-kísérletéhez mindjárt az elején csatlakozott egy jelentős magyar csoport, és a detektorrendszer építésében is részt vállalt (erről *Siklér Ferenc* beszélt), amíg a Nagy Elektron–Pozitron Ütköztető OPAL-kísérlete már jó ideje működött, ott az új magyar csoport már főként fizikai analízissel járult hozzá a tevékenységhez. A két kísérlet magas impaktú publikációkat eredményezett: a SPIRES adatbázis szerint az NA49 100, az OPAL magyar részvétellel 250 közleményt publikált, cikkenként 10–20 független hivatkozással.

A csatlakozás azonnal kijuttatta a magyar fizikusokat az Internetre: a Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet közvetlen telefonvonalat bérelt a CERN-hez, amelyen keresztül évekkel korábban elérte a nemzetközi számítógép-hálózatot, mint ahogy magyar hálózat kiépült. A CERN fejlesztette ki a világháló is, de nem szabadalmaztathatta, mert azt az alapítólevele tiltja: technikai fejlesztéseit is ingyen kell a világ rendelkezésére bocsátania.

A modern nagy gyorsítók annyira drágák, hogy ma már csak egy-egy épül belőlük, a nehézion-fizika területén, például, a legnagyobb gyorsító a CERN-i SPS volt, ahol az NA49 működött, attól most a brookhaveni Relativisztikus Nehézion-ütköztető (RHIC) vette át a stafétabotot (magyarok a PHENIX-kísérletében dolgoznak), majd 2007-től vagy 2008-tól kezdve megindul az LHC, ahol magyar nehézion-fizikusok az ALICE-kísérletben érdekeltek. Az LHC emberfeletti adatmennyiségét egyetlen intézmény már nem tudja feldolgozni, a CERN ezért kifejlesztette az LHC Computing Grid (LCG) rendszert, amelyhez az RMKI hetedik intézményként csatlakozott BUDAPEST néven egy 50 processzoros állomással; az LCG-nek azóta több mint 70 tagintézete van, és az RMKI Grid-állomása is duplájára nőtt.

*Nagy Elemér Korai CERN-együttműködéseink a kísérleti részecskefizika területén – Az EMC- és L3-kísérletek* címmel foglalta össze az első magyar CERN-csoportok munkáját.

A 70-es években a CERN meghatározó szerephez jutott a részecskefizikában: megépült az ISR-gyorsító, az első nagyenergiás ütközőnyaláb, és az itt nyert tapasztalatok alapján később az első proton–antiproton ütköztető, amely lehetővé tette a gyenge bozonok felfedezését (Carlo Rubbia és *Simon van der Meer* Nobel-díja, 1984), és Georges Charpak megépítette az első sokszálas proporcionális kamrát (Nobel-díj, 1992). A CERN felé kaput számunkra az 1964-es Dubna–CERN egyezmény nyitott, ebben *Fenyves Ervin* játszott komoly szerepet. Az egyezmény lehetővé tette, hogy magyarok tudományos látogatóként a CERN-be mehessenek Dubnából.

Magyar csoport, az RMKI 8 kutatója, az Európai Műonkollaborációban (EMC) vett részt először CERN-kísérletben, a francia Annecy-i Részecskefizikai Laboratórium anyagi támogatásával. Célja a kvark–parton modell és a kvantum-színdinamika kísérleti ellenőrzése volt műonok mélyen rugalmatlan szórásával. A sztrimerkamrával rögzített események nagy részét a magyar csoport a KFKI-ban épített mérőberendezések segítségével értékelte ki. A kísérlet eredményeképpen megmutatták, hogy a meglőtt partonok azonosak a kvarkokkal, és a kölcsönhatást jól írja le a kvantum-színdinamika. Sok egyéb érdekes eredmény mellett meglepő volt, hogy kiderült, a nukleon spinjét elsősorban nem a kvarkok hordozzák, és találtak egy máig megmagyarázatlan „EMC-effektust”: a nukleonok belső szerkezete függ az atommagban levő nukleonok számától!

A Nagy Elektron–Pozitron Ütköztetőnél (LEP) létrehozott L3-kísérlet fő célja a Standard Modell precíz ellenőrzése és a még esetlegesen hiányzó részecskék kimutatása volt. Alapítója a c-kvark felfedezéséért Nobel-díjjal kitüntetett *Samuel C.C. Ting* volt. Az L3-detektor talán a legambiciózusabb volt a négy LEP-detektor közül, a magyar csoport elsősorban szoftverfejlesztéssel és adatértékeléssel járult a közös munkához. Mindjárt az elején sikerült megmutatni, hogy a három ismert lepton-kvark családnak nincs folytatása, bizonyították a gyenge bozonok öncsatolását, és rendkívül pontosan igazolták a Standard Modell valamennyi kvantitatív előrejelzését. A Higgs-bozont ugyan nem sikerült kimutatni, de nagy valószínűséggel behatárolták a tömegét 114 és 250 GeV közé. Habár a LEP energiája messze a top-kvark keltési energiája alatt volt, a rendkívüli mérési pontosság lehetővé tette a top-tömeg becslését a korrekciókból, amely igen jól egyezett a Fermilab TEVATRON-jánál évekkel később mért értékkel. Nyitva maradt a Higgs-bozon keresése, valamint az a kérdés, van-e élet a Standard Modellen túl is.

Jómagam *Alapvető szimmetriák kísérleti vizsgálata a CERN-ben* címmel a CPT-invariancia ellenőrzéséről beszélt az ASACUSA-kísérleten belül, és a töltött Higgs-bozonok kereséséről az OPAL-detektorral. Mindkét témát részletesen tárgyaltam nemrég a *Fizikai Szemlé*ben.

A szimmetriák vizsgálata a részecskefizika talán legfontosabb feladata. A CERN Antiproton-lassítója (AD) a

CPT-invariancia, anyag–antianyag-szimmetria kísérleti ellenőrzésére épült. Csoportunk több mint tíz éve foglalkozik antiproton-atomok spektroszkópiájával, amely lehetővé teszi az antiproton és a proton tömegének és töltésének pontosságú összehasonlítását. Ebben a témakörben 2 diplomamunka és egy PhD-dolgozat született.

Éppen 10 éve csatlakoztunk a LEP OPAL-együttműködéséhez, fő témánk a töltött Higgs-bozonok keresése és a kvantum-színdinamika ellenőrzése volt, az utóbbit *Trócsányi Zoltán* tárgyalta előadásában. A LEP 2000 végén leállt ugyan, de az adatokat még analizáljuk. A magyar OPAL-csoport 10 éve három diplomamunkát és két doktori fokozatot eredményezett, további két diplomamunka és két PhD-munka még folyamatban van. A LEP-kísérletek résztvevői az LHC-nál folytatják, főként a CMS-kísérletben.

Trócsányi Zoltán igencsak nehéz feladatot kapott: *Magyarországi elméleti fizikusok a CERN-ben* címmel össze kellett foglalnia, mit végeztek elméleti kollégáink a CERN-ben annak alapítása óta.

Az anyag óriási, mert a magyar elméleti fizikusok CERN-es tevékenysége mindig is igen jelentős volt. 1994 előtt fenomenológiával *Kunszt Zoltán*, *Szegő Károly*, *Csikor Ferenc* és *Niedermayer Ferenc*; térelmélettel *Palla László*, *Forgács Péter*, *Patkós András* és *Vecsernyés Péter*; rács-térelmélettel pedig *Kuti Gyula*, *Hasenfratz Péter*, *Hasenfratz Anna* és *Kunszt Zoltán* foglalkozott (az előadásból kimaradt az úttörő *Montvay István*, aki elsőként ment hazánkba a CERN elméleti osztályára, valamint *Tóth Kálmán*, aki ugyan a CERN-ből nem publikált, de sok elméleti számítást végzett az OPAL-együttműködés számára). 1994 után *Fodor Zoltán* (fenomenológia és rács-térelmélet), *Hauer Tamás* és *Jakovác Antal* (térelmélet), *Bíró Tamás* (nehézion-fizika), valamint az előadó szerepelt CERN-i elméleti eredményekkel.

Trócsányi Zoltán ezután összefoglalta saját CERN-es tevékenységét, amely a kvantum-színdinamika elméleti és kísérleti ellenőrzésére irányult. Kidolgozták az első sugárzási korrekciók számításának általános elméletét. A módszerrel végzett számítások felhasználásával meghatározták az OPAL-detektor segítségével észlelt 4-jetes események alapján a kvantum-színdinamika három alapvető paraméterét, és az jól egyezett a korábbi mérésekkel, illetve az elmélet jóslatával. Az eredményekből egy elméleti és egy kísérleti PhD-dolgozat született a Debreceni Egyetemen.

Siklér Ferenc *Nebézion-fizika a CERN-ben* címmel főleg az NA49-kísérlet magyar vonatkozásait ismertette.

A nehézion-fizika az ősrobbanás első másodpercében keletkezett kvark–gluon plazmát próbálja rekonstruálni nehéz ionok nagyenergiájú ütköztetésével. A CERN Super-protonszinkrotronja ólomnyalábot lött ólom-céltárgyba; az NA49-detektor az ütközésben keletkezett részecskéket észlelte. Ez volt a CERN történetében a legnagyobb abszolút és relatív magyar részvételű együttműködés. A berendezés repülési-idő-spektrométereit a KFKI RMKI-ban építették, a hozzátartó elektronikával és adatgyűjtő rendszerrel együtt; a munkában 10 magyar fizikus vett részt. A nagyszámú (több ezer) keletkezett részecske



A 2004. október 19-i hivatalos CERN-ünnepség résztvevői

nagyon bonyolulttá teszi az adatok értelmezését. Az NA49 újítása: a nehéz mag – nehéz mag ütközést a nukleon – nehéz mag és nukleon–nukleon ütközésekkel kell összehasonlítani, hogy világosan azonosíthassák a nehéz-ion-hatásokat. A vizsgálatok közben találtak egy új penta-kvark-állapotot (négy kvarkból és egy antikvarkból álló részecske).

A CERN-i nehézion-fizika jövője a Nagy Hadronütköztetőhöz, az LHC-hez kapcsolódik. A magyar nehézionosok részben az ALICE-kísérletben (A Large Ion Collider Experiment), részben a CMS-kísérlet nehézion-programjához csatlakoztak. Az LHC indulásáig a brookhaveni Relativisztikus Nehézion-ütköztető (RHIC) PHENIX-együttműködésénél dolgoznak magyar nehézion-fizikusok.

Fodor Zoltán *Fázisátmenetek a részecskefizikában* című előadása zárta az ülést.

A víz fázisdiagramja az elektromos kölcsönhatás következménye, és azt levezetni a Coulomb-kölcsönhatásból igen nehéz feladat volna. Hasonlóval próbálkoznak a másik két kölcsönhatás, az erős és a gyenge esetére. Az előbbi arra ad választ, mi történik, ha a *semmit* – a vákuumot – melegítjük, vagy a *valamit* – az anyagot – összenyomjuk; az utóbbi pedig arra, miért van egyáltalán valami a Világegyetemben. Az elektromos kölcsönhatás jól számolható, mert az erőssége kicsi, az erőse viszont nagy, rácskérelméleti számításokra van szükség: pályaintegrálókera, feltételezve, hogy a szomszédos pontok vannak egymásra lényeges hatással. Ehhez szuperszámítógépre van szükség.

Az Eötvös Egyetemen két különböző PC-alapú rendszert dolgoztak ki, a számítógépek térbeli elhelyezésével szimulálva a számítandó rácsot. Az első rendszerben a szomszédos gépeket erre a célra megépített kártyák kötötték össze, a másodikban ugyanezt gépenként 4 gyors (Gigabit) Ethernet-kártya biztosítja. Az utóbbiban felhasználták a számítógépes játékokhoz kifejlesztett térbeli forgatást és a filmletöltésekhez használt gyors kapcsolatot.

Azóta több helyen megvalósították ezt a Budapest-architektúrának nevezett rendszert, Wuppertalban van a kontinens legnagyobb nem katonai PC-alapú szuperszámítógépe, amely ilyen rendszerű.

A számítások eredményeképpen a gyenge kölcsönhatás megállapították, hogy a Világegyetemben megfigyelt anyagútlúság a Standard Modellen belül csak a megfigyeléseknél könnyebb Higgs-bozonnal magyarázható meg, és ez túlmutat a Standard Modellen. Az erős kölcsönhatás esetében pedig a maganyag és a kvark–gluon plazma közötti fázisátmenet egy adott hőmérséklet és sűrűség esetén másodrendűvé válik, mely pontban a rendszer viselkedése leginkább a kritikus opaleszcenciához hasonlítható.



Hozzáteszem, hogy az Akadémia ünnepi ülésén kívül számos előadásban megemlékeztek országszerte a CERN alapításának 50. évfordulójáról. Genf Kanton azzal fejezte ki a CERN iránti tiszteletét, hogy a nemzeti ünnepén, augusztus 1-jén, az esti tűzijátékban megjelenített egy szimulált LHC-eseményt, a Higgs-bozon hipotetikus bomlását két Z-bozonra.

A CERN október 16-án nyílt nappal ünnepelte fennállásának 50. évfordulóját. Egész nap kirándulóbuszok, városi különbuszok és természetesen rengeteg személyautó szállította a látogatók ezreit a CERN-be, amely 50 laboratóriumát nyitotta meg az érdeklődők előtt. A látogatóknak kutatók százai magyarázták a látnivalókat a legkülönbözőbb nyelveken, de persze főként franciául. A nyílt nap, véleményem szerint túlságosan is jól sikerült: a CERN becslése szerint mintegy 30 000 látogató volt kíváncsi rá, és az érdekesebb laboratóriumok előtt órákat kellett sorban állni a bejutáshoz. Én hamar fel is adtam a dolgot, mondván, majd megkérek ismerősöket, hogy mutassák meg „békeidőben” a kísérletüket. Délután több száz sorbanállón kellett sűrű bocsánatkérések között átverekednünk magunkat, hogy a saját antiprotonos kísérletünkhöz bejuthassunk.

Október 19-én volt a hivatalos ünnepség: a CERN-ben érdekelt országok (nem csak tagországok) képviselőinek jelenlétében felavatták a CERN új kiállítócsarnokát, *A tudomány és újítás gömbjét* (Globe of Science and Innovation). Beszédet mondott, többek között, *Jacques Chirac*, Franciaország elnöke, és *I. János Károly*, Spanyolország királya. Jelen volt a svájci államelnök, Hollandia és Japán oktatási minisztere is. Hazánkat *Siegler András*, a Magyar CERN-bizottság elnöke képviselte.

A CERN-ről sok, közérdeklődésre is számot tartó érdekesség olvasható a <http://intranet.cern.ch/Public/CERN-honlapon> és az 50-éves évforduló programjában (<http://intranet.cern.ch/Chronological/2004/CERN50/>).

*Horváth Dezső*  
RMKI



A CERN új kiállítócsarnoka, *A tudomány és újítás gömbje*

## KITÜNTETÉS

2004. augusztus 20-a, államalapító Szent István király ünnepe alkalmából *Mádl Ferenc*, a Magyar Köztársaság elnöke HEVESI IMRE professor emeritusnak, a fizikai tudomány doktorának, a Szegedi Tudományegyetem ny. egyetemi

tanárának a természettudományos ismeretterjesztésben, a felsőfokú fizikaoktatásban végzett tevékenysége, oktató-nevelő munkássága elismeréseként a Magyar Köztársasági Érdemrend lovagkeresztje kitüntetését adományozta.

## 2004. ÉVI FIZIKAI NOBEL-DÍJ

Három amerikai fizikus, DAVID J. GROSS (Kavli Institute for Theoretical Physics, University of California, Santa Barbara), H. DAVID POLITZER (California Institute of Technology, Pasadena) és FRANK WILCZEK (Massachusetts Institute of Technology, Cambridge) kapta az idei fizikai Nobel-díjat az erős kölcsönhatás elméletében a kvarkok viselkedését jellemző aszimptotikus szabadság felfedezéséért – jelentette be október 5-én Stockholmban a Nobel-bizottság.

Gross, Politzer és Wilczek felfedezte az erős kölcsönhatás azon tulajdonságát, amely révén megérthető, hogy a kvarkok miért viselkedhetnek csaknem szabad részecskékként nagy energiákon történő részecskeütközésekben. E felfedezés alapozta meg az erős kölcsönhatást megfogalmazó kvantum-színdinamika elméletét, melynek mennyiségi ellenőrzése az elmúlt évek során nagy részt a genfi CERN-ben folyt.

## MÁR NEM CSAK A CSILLAGOKBÓL TEKINT LE RÁJUK!

Az egyházaskfalui általános iskola névadó ünnepsége

*A jó pedagógus legfontosabb dolga talán az, hogy a tudomány meredek kaptatóit viszonylag kellemessé, vonzóvá, izgalmassá tegye, és a tudomány szépségei-értékei iránti lelkesedését átvigye tanítványaiba is.*

*Simonyi Károly*

Az egyházaskfalui diákok a 2004/2005. tanévtől kezdve nem akármilyen iskolába járnak, hanem a Simonyi Károly Általános Iskolába. Az előző tanévben még csak egyszerűen „iskola” néven futó intézmény 2004. június

19-én vette fel a nemrég elhunyt professzor nevét, aki ebben a kis Sopron környéki faluban született. Az eseményre a falunap keretében került sor, melyre a falu lakosságán kívül díszvendégeket is hívtak. Ezek közül





kiemelkednek a családtagok: *Simonyi Károlyné*, a professzor úr özvegye; *Simonyi Tamás*, a fia és *Simonyi Borbála*, az unoka és *Pálla Jánosné*, a legfiatalabb testvér. *Szájer Józsefet* is elsősorban a rokoni kapcsolatok hozták ide, és jelen volt még *Ivanics Ferenc*, a régió országgyűlési képviselője.

A kis ünnepséget a falu polgármestere, *Eső János* nyitotta meg, aki szintén a népes Simonyi család tagja és egyben a névfelvétel ötletének gazdája. Majd átadta a szót az iskola igazgatónőjének, *Baánné Hüse Gabriellának*, aki Simonyi Károly munkásságával ismertette meg az egybegyűlteket. Szólt a tudósról, aki Magyarországon elsőként hajtott végre atommag-átalakítást a Soproni Egyetemen. Szólt a tanárról, aki először a Műegyetem soproni Bánya-, Kohó- és Erdőmérnöki Karán elektrotechnikát, később az általa alapított és vezetett Elméleti Villamosságtan Tanszéken többek között elektromosság-tant, elektronfizikát, reaktorteknikát oktatott. Végezetül szólt a könyv- és tankönyvszerzőről, akinek műveit a világszerte használják az egyetemeken, és akinek *A fizika kultúrtörténete* című műve a könyvtárak rongyosra olvasott könyveinek versenyében előkelő helyen áll.

*Szabó Miklós*, a falu plébánosa és *Molnár József* egyházközségi elnök viszont Simonyi Károlyról, az ember-ről beszélt, aki sosem lett hűtlen szülőfalujához. Az itteni rokonok és ismerősök előtt mindig nyitva állt budapesti házának ajtaja. Az erről a vidékről érkező diákjait kiemelten kezelte. A budapesti háza körül mindig volt kis kertje, amely kedves falujára emlékeztette. Érettségizett, majd diplomás emberként is még évekig hazajárt

aratni. A Trabantot állítólag azért nem engedte lecserélni, mert a szekér rázását érezte benne.

Az ünnepségen leleplezték a névadó szobrát is, amely ettől kezdve az iskola előtt fogadja majd a diákokat. Az alkotást – amely *Veres Gábor* munkája – a következőképp jellemezte a polgármester: „*A szoborra tekintve először a jóindulatú, melegséget sugalló, diákokat váró tekintet tűnik fel. A mellszobor egy része a talpazatról lelóg, ez az örök kételkedést fejezi ki, ami az embert előre viszi a gondolkodásában. Egy kérdőjelre emlékeztet ez a része. A művész a professzor egyszerű, hétköznapi öltözékben ábrázolta, ami egyben egyszerű életstílusára is utal.*”

A leleplezést követően, a *Honfoglalás* dallamait hallgatva, egy pillanatra átsuhant az iskolaudvaron Simonyi Károly szelleme.

Ivanics Ferenc ígéretet tett arra, hogy minden eszközzel igyekszik elérni, ne zárják be a kis falvak iskoláit. Hiszen akkor ezeknek a gyerekeknek órákat kell utazgatással tölteni, és a sokat emlegetett esélyegyenlőség máris sérül.

Simonyi Tamás örömét fejezte ki, hogy édesapja nevét épp egy oktatási intézmény fogja viselni, mivel Simonyi Károly elsősorban pedagógusnak vallotta magát. Nem jött üres kézzel: a professzor legismertebb, laikusok számára is érthető könyvét, *A fizika kultúrtörténetét* hozta ajándékba az iskola könyvtárának. Kívánsága szerint a diákok olyan érdeklődéssel forgassák, hogy itt is a rongyosra olvasott könyvek közé tartozzon. Végül jelentős támogatást ajánlott fel az iskola felújítására és fejlesztésére, hogy ne kelljen más kistelepülések bezárt iskoláinak sorsára jutnia.

Az ünnepséget az iskola tanulóinak műsora tette színesebbé: két diák a magyartanárnő, *Major Józsefné* Simonyi Károlyról írott versét szavalta, az énekkar népdalokat énekelt.

Befejezőként egy kedves epizódot említenék. Én úgy csöppentem ide, hogy pont ebben az évben írt két tanítványom pályázatot a professzorról a *Természet Világa* Diákpályázatára. Egyikük egyházasfalui, de ő már a soproni Széchenyi Gimnázium tanulója. Öccse azonban még itt jár iskolába. A pályázat kapcsán volt szerencsénk megismerkedni Simonyi Károlyné Zsuzsa néniel, aki nagyon örült a viszontlátásnak, és az ünnepség után még beszélgettünk. Mikor megtudta, hogy az öcs még itt fog tanulni a következő tanévben is, nyomban adott neki egy „feladatot”: reggelente az ő nevében is köszöntse a most már csak szobor formájában köztünk lévő professzor urat.

Simonyi Károlyról még életében elneveztek egy csillagot az Androméda-csillagképben, amikor elnyerte „Az Év Ismeretterjesztő Tudósa” címet. Halála után nevét többek között egy fizikaverseny és egy műegyetemi szakkollégium vette fel. Szűkebb hazájába most érkezett vissza.

*Láng Ágota*

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

A Társulat Internet honlapja <http://www.kfki.hu/elft/>, e-mail címe: [mail.elft@mtesz.hu](mailto:mail.elft@mtesz.hu)

Kiadja az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, felelős: Berényi Dénes főszerkesztő.

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

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

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

Megjelenik havonta, egyes szám ára: 600.- Ft + postaköltség.

HU ISSN 0015-3257



# MÁGIKUS VONZÁS

A szupravezetés közelről

2004. november 22-25.

Interaktív kiállítás a  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
K. épületében

*Stabil lebegés, hőtermelés nélküli villamos áram,  
vizet meghajlító extrém nagy mágneses tér?*

*Vajon létezhetnek ilyen fizikai jelenségek?  
Milyen érzés lebegni a föld felett?  
Milyen lehet mattot adni lebegő sakkfigurákkal?*

*Mágnesesen lebegtetett tárgyak, lebegő vonatszerelvény,  
örökké pörgő lendkerék, terahertzes órajelű processzor,  
mágneses térrel történő víztisztítás  
- sokan a tudományos képzelet világának tekintik ezeket,  
bár már ma is megvalósíthatók - a szupravezetés segítségével.*

A kiállítás ideje alatt november **23-án** az érdeklődő tanároknak és kutatóknak,  
**24-én** pedig az ipari szakembereknek speciális szemináriumokat  
és kerekasztal beszélgetéseket tartunk, melyekre minden érdeklődőt szeretettel várunk.

A kiállítás fővédnöke: Dr. Mádl Ferenc köztársasági elnök  
Védnöke: Dr. Magyar Bálint oktatási miniszter

Bővebb információk: [www.szupravezetes.hu](http://www.szupravezetes.hu)

**Próbálja ki személyesen is!**