

# fizikai szemle

2008/5



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

Főszerkesztő:

Szatmáry Zoltán

Szerkesztőbizottság:

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

Szerkesztő:

Füstöss László

Műszaki szerkesztő:

Kármán Tamás

A folyóirat e-mailcíme:

szerkesztok@fizikaiszemle.hu

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>

A címlapon:

A GLAST űrtávcső a Delta II.  
hordozórakéta fejében. (Fotó © NASA)

## TARTALOM

<i>Hargittai Magdolna, Hargittai István:</i> Az elméleti fizika csúcsein – tragédiák között (Lev Davidovics Landau centenáriuma)	161
<i>Sólyom Jenő:</i> Landau, az iskolateremtő	167
<i>Bencze Gyula:</i> A kvantummechanika kiteljesedése: a kvantum-szóráselmélet megszületése	172
<i>Horváth István, Karcsai Balázs:</i> Az év űrtávcsöve, a GLAST	178
<i>Gazda István:</i> Fizikátörténeti irodalmunk a 19. században	184

### A FIZIKA TANÍTÁSA

<i>Kissné Császár Erzsébet, Kiss Miklós:</i> Mikola-döntő Gyöngyösön	189
<i>Horváth Dezső:</i> Gimnazistából részecskefizikus – egy nap alatt	192
<i>Radnóti Katalin:</i> A magfizikai kutatások hőskora, női szemmel – III.	193

### MINDENTUDÁS AZ ISKOLÁBAN

A szénhidrogének szerepe a jövő energiaellátásában ( <i>Bárdossy György</i> )	197
---	-----

### KÖNYVESPOLC

	200
--	-----

### HÍREK – ESEMÉNYEK

	200
--	-----

*M. Hargittai, I. Hargittai:* At the top of theoretical physics amid human tragedies: Lev D. Landau's centenary

*J. Sólyom:* "Landau" – a distinguished school of physicists

*Gy. Bencze:* A fulfillment of quantum mechanics – quantum scattering theory

*I. Horváth, B. Karcsai:* The space telescope of the year: GLAST

*I. Gazda:* XIX. century Hungarian literature on physics history

### TEACHING PHYSICS

*E. Kiss-Császár, M. Kiss:* The final of the Mikola Physics Contest at Gyöngyös

*D. Horváth:* A one-day change: from secondary school pupil to particle physicist

*K. Radnóti:* Women in the heroic years of nuclear research – III.

### SCIENCE IN BITS FOR THE SCHOOL

The role of carbohydrates in our future energy supply (*G. Bárdossy*)

### BOOKS, EVENTS

*M. Hargittai, I. Hargittai:* An den Fronten der Theoretischen Physik inmitten menschlicher Tragödien – Die Hundertjahrfeier Lev D. Landau

*J. Sólyom:* „Landau“ – eine Schule von Physikern

*Gy. Bencze:* Quantenmechanik in ihrer Vollkommenheit: die Quantentheorie der Streuprozesse

*I. Horváth, B. Karcsai:* Das Weltraum-Fernrohr des Jahres: GLAST

*I. Gazda:* Ungarische Literatur im XIX. Jh. über die Geschichte der Physik

### PHYSIKUNTERRICHT

*E. Kiss-Császár, M. Kiss:* Das Finale des Mikola-Physikwettbewerb in Gyöngyös

*D. Horváth:* Heute Gymnasiast – morgen tätig in der Physik der Elementarteilchen

*K. Radnóti:* Frauen in den ersten Jahren der Kernforschung – III.

### WISSENSWERTES FÜR DIE SCHULE

Die Rolle der Kohlenwasserstoffe in der Energieversorgung der Zukunft (*G. Bárdossy*)

### BÜCHER, EREIGNISSE

*M. Hargittai, I. Hargittai:* На вершинах теоретической физики посредние человеческих трагедий (Столетний юбилей Л.Д. Ландау)

*Э. Шольом:* Ландау – знаменитая школа физиков-теоретиков

*Д. Бенце:* Квантовая механика в совершенстве: квантовая теория столкновений

*И. Хорват, Б. Карчачи:* Космический телескоп года: GLAST

*И. Газда:* Венгерская литература XIX. века по истории физики

### ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ

*E. Kiss-Császár, M. Kiss:* Физический конкурс им. Миколы в г. Дьендеш

*Д. Хорват:* Шаг одного дня: из учебки гимназии в физику элементарных частиц

*К. Радиоти:* Женщины в первом этапе исследований по ядерной физике – III.

### НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ ДЛЯ ШКОЛ

Роль углеводородов в снабжении энергией нашего будущего (*Д. Бардоши*)

### КНИГИ, ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ

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

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

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

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

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

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

Megjelenik havonta, egyes szám ára: 750.- Ft + postaköltség.

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

# Fizikai Szemle

## MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

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

LVIII. évfolyam

5. szám

2008. május

## AZ ELMÉLETI FIZIKA CSÚCSAIN – TRAGÉDIÁK KÖZÖTT

Lev Davidovics Landau centenáriuma

Hargittai Magdolna, Hargittai István

Magyar Tudományos Akadémia,  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

*Lev Davidovics Landau* 1908. január 22-én született és 1968. április 1-jén halt meg, de egy szerencsétlen autóbaleset következményeként életének utolsó hat évében már nem alkothatott. A sztálini önkényuralom börtönbe vetett áldozata volt 1938–1939-ben. A II. világháború, majd a hidegháború fegyverkezési hajszája további éveket vett el attól a tevékenységtől, amit élete értelmének tekintett. Életének viszonylag rövid alkotó periódusa alatt azonban egyedülálló eredményeket ért el, amelyek közül „a kondenzált anyagra, és különösen a cseppfolyós héliumra vonatkozó úttörő elméleteiért” a Svéd Királyi Tudományos Akadémia 1962-ben fizikai Nobel-díjjal jutalmazta.

Landau munkássága az elméleti fizika szinte minden területére kiterjedt, a folyadékok mechanikájától a kvantumtérelméletig. Különösen sokat foglalkozott a kondenzált anyagok elméletével. Az 1930-as évek közepétől kezdve először az úgynevezett másodrendű fázisátalakulások általános termodinamikáját fogalmazta meg. Kutatásaihoz nagy ösztönzést adtak *Pjotr Kapicán* az alacsony hőmérsékletek fizikájában és ezen belül a cseppfolyós hélium tanulmányozása során 1938 körül tett kísérleti

felfedezései. Landau az 1941–1947 közötti időszakban egész sor dolgozatot jelentetett meg a Bose-típusú kvantumfolyadékok elméletéről. Ide tartozik a folyadék halmazállapotú közönséges héliumizotóp ( $^4\text{He}$ ) viselkedése is. Később, az 1956–1958-as időszakban a folyadék halmazállapotú különleges héliumizotóp ( $^3\text{He}$ ) Fermi-típusú kvantumfolyadék viselkedését is leírta. Amikor Landau Nobel-díját Stockholmban kihirdették, már sejteni lehetett, hogy tudományos életrajza újabb eredményekkel többé nem fog gazdagodni.

Lev Landau orosz zsidó családban született Bakuban, amely a cári Oroszország egyik déli ipari, olajbányászati központja volt – ma a független Azerbajdzsán fővárosa. Apja olajmérnök, anyja nőgyógyász orvos volt. Szentpétervárról költöztek nem sokkal Landau születése előtt Bakuba. Életrajzíróinak véleménye megoszlik arról, hogy csodagyerek volt-e vagy sem. A többség csodagyerekként tartja számon, de *Vitalij Ginzburg* 2003-as orosz Nobel-díjas fizikus szerint nem volt semmi rendhagyó abban, hogy Landau gyorsan vette az iskolai lépcsőket. Általános és középiskoláin már 13 évesen túl volt és Bakuban 14 évesen kezdte el egyetemi ta-



Lev Landau (© 1965 Alex Abrikoszov szívességéből)



George Gamow, Jevgenyija Kanegiesser (később Rudolf Peierls felesége) és Lev Landau az 1920-as években (Gamow idézett könyvéből, Igor Gamow szíves engedélyével)

nulmányait. 1924-ben Leningrádba ment tanulmányainak folytatására, és két évvel később, 18 éves korában jelent meg első publikációja. Sok későbbi tulajdonsága már ebben az időben megmutatkozott. Az 1920-as évek Szovjetunióját nehéz elképzelni az utána következő hosszú évtizedek történéseinek ismeretében. Volt ugyanis néhány év, amikor virágzott a szabad szellem, újítottak a művészek, hatalmas energiák szabadultak fel a tudományos kutatás számára és Landau olyanok társaságában találta magát, akik közül többen, hozzá hasonlóan, idővel nagynevű fizikusok lettek. Hozzá kell tenni, hogy olyanok is voltak közöttük, akik évekkel később a sztálini terror áldozatául estek. De a húszas évek közepén a fiatal művészek és tudósok még pezsgő szellemi életet éltek, és ebben Landau elemében érezte magát.

Landau már fiatal korában többször is tanújelét adta annak, hogy nehezen viseli el az életét korlátozó szabályokat, különösen akkor, ha azok ésszerűtlenek. Az 1920-as években azonban erre a hatalom még sokkal enyhébben reagált, mint egy évtizeddel később. Amikor 1925-ben az újonnan kiadott szovjet enciklopédia egyik hosszú szócikke az étert tárgyalta, Landau, az ugyancsak feltűnően eredeti és kiváló fizikus *George Gamow*val és másokkal együtt olvasói levél-

ben figurázta ki a szócikket és szerzőjét. A tekintélyt nem tisztelő tréfa szerzőit megbüntették. Landau elvesztette a leningrádi műszaki egyetemen betöltött oktatói állását, de *Abram Ioffe* leningrádi Röntgen Intézetében végzett kutatói munkáját folytathatta [1]. Ezt az intézetet tartják a modern szovjet és orosz fizika bölcsőjének; Ioffe alapította 1918-ban.

Landau még viszonylag szerencsés csillagzat alatt született, mert lehetősége volt arra, hogy külföldre utazzon. Ekkor még a szovjet kormány az volt az elképzelése, hogy fiatal, tehetséges kutatókat Nyugatra küldjenek, egyrészt továbbfejlődésüket meggyorsítandó, másrészt azzal a céllal, hogy segítsék a fiatal szovjet tudományosság integrálódását az élvonalbeli nyugat-európai kutatásokba. Landau láthatóan jól és gyorsan beilleszkedett az új környezetekbe. Egész sor híres kutatóhelyen végzett munkát és alakított ki jó kapcsolatokat nyugati kollégáival, többek között *Teller Edével* is. Már pusztán azoknak a városoknak a felsorolása is, ahol megfordult, mutatja, hogy mennyire szerencsések voltak ezek a látogatások: Göttingen, Lipcse, Berlin, Cambridge, Zürich és Koppenhága. A találkozások színvonalának jellemzésére is elegendő néhány nevet felsorolni, *Heisenberg*, *Rutherford*, *Pauli*, és mindenek fölött *Niels Bohr*, akit Landau tanítómesterének tekintett.

Landau a hosszú nyugati tanulmányutatót követően Leningrádból 1932-ben az ukrajnai Harkovba került, ahol már 1928-ban megalapították az Ukrán Fizikai-Technikai Intézetet (UFTI) a Leningrádi Fizikai-Technikai Intézet (LFTI) mintájára. Az volt az elképzelés, hogy az egész Szovjetunióban kialakítják a kutatóhelyek hálózatát, és az első székhelyül az akkori ukrán fővárost, Harkovot választották. Az UFTI-ban folyó munka színvonalára jellemző, hogy látogatói között olyan világnagyságokat üdvözölhettek, mint Bohr és *Peierls*. Teller Ede tanácsára és Landauval való kapcsolatának köszönhetően *Tisza László* is Harkovba ment, miután Budapesten letöltötte illegális kommunista tevékenységéért a rá kiszabott börtönbüntetést [2]. Tisza Landau doktorandusza lett, bár akkorra már volt egy doktorátusa. Tisza egyike volt annak a tucatnyi külföldi, főleg a német fasizmus elől menekülő fizikusnak, akik az UFTI-ban találtak menedéket és kutatási lehetőséget. Landau az elméleti fizikai osztályt vezette az UFTI-ban, és munkájának elismerésére jellemző, hogy 1934-ben disszertációvédés nélkül kapta meg a tudományok doktora tudományos fokozatot, majd 1935-ben professzori címmel ruházták fel.

Ugyanebben az időben, az 1930-as évek közepén, azonban már megjelentek az első baljós jelei annak, hogy az ideális feltételek az UFTI-ban is megszűnnek. A problémák azzal kezdődtek, hogy a hatóságok egyre inkább azt követelték az UFTI-tól, hogy kutatásait a védelmi célok szolgálatába állítsák. Az intézet munkatársainak a véleménye megoszlott, és Landau azok között volt, akik féltették az alapkutatásokat az irányváltástól. Az egyre aktivizálódó titkosszolgálat már ekkor kapott jelentéseket Landauról, de ennek

még néhány évig nem volt tragikus következménye. Hamarosan azonban a demokratikusnak tűnő vitákban elhangzó véleményeket szovjetellenes propagandának minősítették, és már 1935-től elkezdődtek a letartóztatások. Ugyanakkor elkezdődött a külföldi kutatók eltávolítása is az UFTI-ből.

Ennek az időszaknak egyre növekvő irodalma van, akár Landau szempontjából is, mert fokozatosan kerülnek napvilágra dokumentumok. *Borisz Gorobec* könyve [3] tanulságos olvasmány Landau és a hozzá közelállók életéről és munkásságáról. Korábban meglevő ismereteket sem lehetett nyilvánosságra hozni. Ez az oka annak, hogy a Landauról szóló írások meglehetősen különböznek egymástól attól függően, hogy mikor láttak napvilágot.

Az UFTI munkatársait érintő letartóztatások 1937-ben érték el a tetőpontot, amikor négy különösen ismert és sikeres fizikust börtönbe vetettek, majd hármat közülük ki is végeztek. Landau letartóztatására csak 1938-ban került sor, de ő akkor már Moszkvában élt, mivel 1937-ben Kapica hívására Moszkvába költözött és a Fizikai Problémák Intézetének (IFP) munkatársa lett. Élete végéig ez maradt a munkahelye. Tisza

Lev Landau 1937-ben (© 2000 David Shoenberg szívességéből)



László is megemlékezik arról a drámai pillanatról, amikor Harkovban egy összejöveteleken Landau váratlanul bejelentette, hogy elhagyja az UFTI-t és Moszkvába költözik [4]. Visszatérve letartóztatására, az ellene felhozott vádak szovjetellenes tevékenységre vonatkoztak. Vannak olyan források, amelyek arra utalnak, hogy Landau részt vett egy *Sztálint* bíráló röplap megfogalmazásában, de ha ez így is volt, a titkosrendőrség a jelek szerint nem ezzel foglalkozott elsősorban. Landau egy évet töltött a titkosrendőrség hírhedt börtöneiben. Gyenge fizikai felépítése ellenére hősiessé viselkedett, ami csak hozzájárult ahhoz, hogy kilátásait reménytelennek lehessen ítélni. Kapica azonban tanúbizonyságot téve bátorságáról, fellépett Landau kiszabadítása érdekében a legfelső vezetéknél, Sztálint is beleértve. Végül Landaut szabadlábra helyezték, anélkül, hogy az ellene felhozott vádakat ejtették volna, miután Kapica személyesen garantálta „jó magaviseletét”. Ma már hozzáférhetőek azok a titkosrendőrségi jegyzőkönyvek, amelyek tudósítanak Landau kihallgatásairól. Azt azonban már sohasem lehet kideríteni, hogy miféle kényszer hatására tett Landau a kihallgatások kezdeti szakaszában beismerő vallomásokat állítólagos szovjetellenes tevékenységéről, amelyeket azonban később visszavont. Ha nem élet-halál kérdéséről lenne szó – tudjuk, hogy Landau több tudóstársát kivégezték – akkor szinte szórakoztató lenne olvasnunk például a vallomásoknak azokat a részeit, amelyek a Bohr-iskolával foglalkoznak. A kihallgatók számára Bohr és iskolája különösen veszélyesnek tűnhetett, mert megkülönböztetett érdeklődést mutattak a koppenhágai iskola „eszméi” iránt. Mindez megtalálható Gorobec könyvében [3] különböző dokumentumoknak és azoknak a leveleknek a szövegével együtt, amelyeket Kapica és Bohr írtak Landau kiszabadítása érdekében Sztálinnak.

Landaut a börtön nem törte meg, de megváltoztatta. Többek között Gamow önéletrajzi írásából tudjuk [1], hogy letartóztatása előtt Landaut elkötelezett marxistaként tartották számon (trockista beütéssel). Koppenhágában és Cambridge-ben még vörös színű ruhadarabok viselésével is kifejezte politikai meggyőződését, ami miatt kollégái dån tejesembernek és angol postaládának gúnyolták. Meggyőződéssel hajtogatta, hogy Szovjetország csupán átmeneti nehézségekkel küszködik, és ott még mindig jobb a körülmények, mint a kapitalista országokban. Teller úgy emlékezett a Landauval eltöltött közös lipcsei időre, hogy Landau akkor még elkötelezett kommunista volt. Voltak azonban arra utaló jelek, hogy Landau már a börtön előtt is tisztába jött a sztálini rendszer valódi természetével. *David Shoenberg* cambridge-i professzor 1937-ben Kapica meghívására egy évet töltött Moszkvában. Landauval rendszeresen beszélgetett, és megdöbbenett, amikor Landau azt mondta neki, hogy a német kifejezéssel „konzlager”-nek emlegetett koncentrációs tábor szovjet találmány volt [4]. A börtön után Landau, bizalmas barátai előtt nem titkolva véleményét, a sztálini rendszert fasisztának nevezte. A szovjet nukleáris programban kényszerből

vett részt, és amikor Kapica kegyvesztett lett, Landaunak ez a tevékenysége volt életben maradásának biztosítéka, ám ő mindvégig tanult rabszolgának tekintette magát. Sztálin halála után otthagyta a nukleáris programot.

Landau volt talán az egyetlen olyan jelentősebb szovjet tudós, akit nem fűtöttek hazafias érzések a nukleáris programban való részvétel kapcsán. A többi kiváló tudós, mint *Tamm*, *Kurcsatov*, *Szabarov*, *Ginzburg*, *Zeldovics*, *Hariton* és sokan mások is életbe vágóan fontosnak tartották a Szovjetunió legkorszerűbb fegyverekkel való ellátását az esetleges külföldi agresszióval szemben. Ezen nem is lehet csodálkozni. Nem sokkal korábban ért véget a rettenetes véráldozatokkal járó Nagy Honvédő Háború. Azt is hozzátehetjük, hogy a szovjet tudósok hermetikusan el voltak zárva a külvilágtól és arról sem tudhattak, hogy milyen ádáz viták folytak ugyanabban az időben az amerikai tudósok között a nukleáris fegyverek, különösen a hidrogénbomba kifejlesztésének morális vonatkozásairól. Ebben az időben jelentette ki például *James Conant*, hogy a hidrogénbombát csak a holttestén keresztül fejleszthetik ki [2]. A Szovjetunióban a kényszermunkások ezreinek valóságos holttestén keresztül fejlesztették ki a hidrogénbombát. Évtizedekkel később Vitalij Ginzburg mondotta, hogy az emberiség szerencséje, hogy először nem *Hitler* és nem Sztálin jutottak nukleáris fegyverekhez, mert megszarolhatták volna a világot. Annak idején azonban Ginzburg maga is tevékenyen segítette a szovjet nukleáris programot; tőle származott a lítiumdeuterid (LiD) alkalmazása a szovjet hidrogénbomba kifejlesztésében. Ráadásul Ginzburgnak nem is volt hozzáférhetősége a titkos munkához (arról sem tájékoztatták sohasem, hogy javaslatát felhasználták-e), mivel felesége állítólagos szovjetellenes tevékenység miatt éppen akkor száműzetésben volt [5].

Landau mindvégig kritikusan tekintett a szovjet rendszerre. Mi sem bizonyítja ezt jobban, mint azok a megjegyzések, amelyeket a szovjet titkosrendőrség archívumában találtak meg, amelyeket Landaunak az 1956-os magyar forradalomra vonatkozó egyik beszélgetésének lehallgatása nyomán jegyeztek fel: „A magyar forradalom gyakorlatilag azt jelenti, hogy az egész magyar nép felkelt leigázói ellen. Ezek a leigázók csak egy kis klikket alkotnak, ami lényegében azonos a mi saját klikkünkkel... Ez a mi [szovjet] klikkünk most derékig vérben fürdik. Amit a magyarok véghezvittek, arról csak felsőfokon lehet beszélni. A magyaroknak először sikerült szétverni, valóban rettenetes csapást mérni arra, amit korunk jezsuita gondolatának nevezhetünk. Példátnal csapást mértek rá!” [6]

A kortársak, munkatársak, tanítványok visszaemlékezései szerint Landau intellektuális óriás volt. *Telegdi Bálint*, aki sok nagy fizikussal találkozott és dolgozott együtt, Landaut találta mind között a legérdekesebbnek. Élete végéig emlékezett találkozásukra, bár azt már rég elfelejtette, hogy konkrétan miről beszélgettek [4]. Pedig Landau nem volt kellemes egyéniség. Rosszindulat nélkül, de tudott nagyon bántó lenni vé-



A teniszzjátékos Landau (© 2000 David Shoenberg szívességéből)

leménye megfogalmazásában. Ettől függetlenül népszerű volt a fizikusok köreiből, amit a Landaut ért autóbalesetet követően lehetett felmérni. A szerencsétlenség 1962. január 7-én történt a Moszkvából Dubnába vezető országúton. Landau, egyebek mellett, koponyatörést és maradandó agykárosodást szenvedett. Az első órákban senki sem tudta volna elképzelni azt, hogy életben maradjon. És akkor megmozdult a szovjet fizikusok közössége és ugyanúgy a nemzetközi fizikustársadalom. Amit a hazai körülmények között és nemzetközileg meg lehetett tenni, megtették. A baleset után még hat évig életben tartották, sok életfunkcióját visszanyerte, csak egyet nem, az elméleti fizikai alkotóképességet. Ennek maga Landau is tudatában volt és az állandósult fizikai fájdalmak mellett ezt érezte a legkínzóbbnak. Hatvan éves korában halála számára és környezete számára is szinte megváltást jelentett.

Landaut a szovjet rendszer elhalmozta elismerésekkel. Közülük a legfontosabbat 1946-ban kapta meg, amikor a levelező tagságot kihagyva megválasztották a Szovjet Tudományos Akadémia rendes tagjává. A legnagyobb nemzetközi elismerés 1962-ben érte, amikor decemberben a Szovjet Tudományos Akadémia kórházában a moszkvai svéd nagykövet átadta neki a Nobel-díjat, hónapokkal végzetes balesete után. Ezért aztán nem tudhatjuk, mennyire jelenthette számára ez a kitüntetés mindazt, amit a Nobel-díj általában jelent a díjazottaknak. Azt sem tudjuk, hogy kitüntetésének



Jevgenyij Lifsic és Lev Landau Borzsomiban 1960-ban (© 1960 Jevgenyij Lifsic archívuma, Borisz Gorobec szívességéből)

időzítésében mekkora szerepet játszott autóbalesete és tragédiája. A mindenkori jelölések a tárgyév január 31-ével zárulnak le, tehát ha január 7-ig nem lett volna jelölés, a katasztrófa után még bőven volt idő arra. A Nobel Alapítvány levéltárának korábbi tanulmányozásából tudjuk, hogy a Nobel-díj Bizottság tagjai még január 31-én is tehetnek akár egysoros jelöléseket, ha a számukra fontosnak tartott potenciális díjazottra nem érkezett jelölés. Landau esetében azonban nem valószínű, hogy nem jelölték volna már a szerencsétlenség előtt is. Nobel-díjjal való kitüntetésével a tudományos világ fenntartás nélkül egyetértett. A szomorú csak az volt, hogy bár formailag minden rendben volt, a díj mégis későn érkezett. A Nobel-díj átvételétől Landau haláláig eltelt fél évtizedben már nem adott hozzá újabb alkotásokat egyébként nagyon gazdag életművéhez. Állapotától függetlenül, a Szovjetunióban tisztában voltak azzal, hogy Landau neve nemzetközileg őríási értéket képvisel, és ezt esetenként ki is használták. A *New York Times*ben 1965-ben közöltek egy tiltakozó „olvasói” levelet Landau és egy másik szovjet híresség, a közgazdász *Lieberman* aláírásával. A levél válasz volt az újságban megjelent vádakra, amelyek szerint a Szovjetunióban a zsidókat hátrányosan megkülönböztetik. Az említett levél Landau és *Lieberman* példájával igyekezett bizonyítani azt, hogy a zsidókat semmi sem korlátozza a Szovjetunióban tehetségük kibontakoztatásában. Pontosan nem ismerhetjük a levél hátterét, de kevéssé valószínű, hogy a beteg Landau, ha egyáltalán aláírt ilyen levelet, azt ne külső nyomás hatása alatt tette volna.

Befejezésül még felvetjük azt a kérdést, hogy mi elsősorban Lev Landau hagyatéka? Tudományos felfedezéseit természetesen örökre őrzi a szakirodalom. A tudományos felfedezések azonban inkább valaminek a lezárását, mintsem folytatását jelentik, miközben

persze további munkák forrásául szolgálnak. Landau munkásságának kontinuitása szempontjából azonban különös jelentősége van két további tényezőnek. Az egyik tanítványainak serege és ezek tanítványai. Rajtuk keresztül Landau hatása megsokszorozódik. Vannak olyanok, akik Landau mellett nőttek fel, ilyen például a 2003-ban fizikai Nobel-díjat kapott *Abrikoszov* akadémikus, aki kiemelkedő szovjetunióbeli pályája után már évek óta az Argonne National Laboratory főmunkatársa. *Ginzburg*, aki közvetlenül a Nobel-díjas *Igor Tamm* tanítványa volt, szintén mesterének tekinti Landaut. *Ginzburg* ma, 92 éves korában is az Orosz Tudományos Akadémia moszkvai *Lebegyev* Fizikai Intézetének főmunkatársa. A 101 éves *Tisza László*, a Massachusetts Institute of Technology professzor emeritusa ugyancsak Landau tanítványnak vallja magát. Csak három nevet említettünk meg, de a névsor nagyon hosszú, annak ellenére, hogy nehezen határozható meg, kik is tartoznak hozzá.

Híres volt a Landau-szeminárium, amelyre hetente nemcsak saját munkatársai, hanem közelről és távolról sokan jártak, hogy napra készen tartsák a tudásukat. Ez a szeminárium folyóiratklubként működött, amelynek keretében az irodalomban megjelent és Landau által kiválasztott dolgozatokat ismertették a szeminárium előre kijelölt résztvevői. Nem volt könnyű feladatuk, mert Landau könyörtelenül leplezte a tájékozatlanságot. A szeminárium jótékony hatása viszont a résztvevők számára felbecsülhetetlen volt. Landau szempontjából mindez az irodalom részletes tanulmányozását pótolta, amihez egyébként nem volt türelme. *Abrikoszov* rendhagyó esetként említ egy *Feynman*-cikket, amelyet Landau „saját szemével” olvasott el.

Landau már fiatal korától kezdve nagyon igényes volt munkatársaival szemben. Kialakított egy híres vizsgarendszert, amelyet teor-minimumnak (az angol nyelvű irodalomban gyakran Landau-minimumnak) neveztek el. Ez a megnevezés azt a minimális tudást jelölte meg, amelyet Landau az elméleti fizika területén megkövetelt. Ebben a kifejezésben a minimum szó igazi eufemizmus, mert a 9 részből álló és huzamosabb ideig tartó vizsga követelménye minden volt csak nem minimális. A 9 részből 7 magába foglalta az elméleti fizika különböző területeit, a fennmaradó 2 rész pedig matematikavizsga volt. *Ginzburg* mind a mai napig sajnálja, hogy nem tette le, mert úgy érzi, biztosabb alapokon állna a tudása, ha alkalma lett volna letenni a teor-minimum vizsgát. Összesen 43 kutató tette le valaha is ezt a vizsgát, akik közül 14 akadémiai rendes tag lett. Ezt a 14-es számot az akkori Szovjet Tudományos Akadémia összes rendes tagjának számával, 252, kell összehasonlítani, ami természetesen minden tudományterületet magába foglalt. A 43 sikeres vizsgázó között volt *Tisza László* is.

Azt is meg kell jegyeznünk, hogy a szovjet fizika és fizikusok meghatározott iskolákra történt meglehetősen merev tagozódása egyesek szerint tekintélyelvűsége és szinte már személyi kultusz kialakulására vezetett. Ebben a Landau-iskolát szívesen hozzák fel példának.



Lev Landau izraeli bélyegen

Bizonyos enyhe kritikát fogalmaz meg Tisza László Landauval szemben, amikor beszámol a „Landau–London–Tisza-háromszögben” kialakult véleménykülönbségről, utalva a hélium II-ben lejátszódó transzportfolyamatok leírására. Tisza némi keserőséggel jegyzi meg, hogy „a győztes mindent visz” elve érvényesült, így London és Tisza véleménye Landau mellett nem kapta meg a megérdemelt elismerést. A téma tudományos vonatkozásairól Tisza Budapesten is tartott előadást, amely megjelent a *Fizikai Szemlében* [7].

Egyébként Landau nemcsak hogy nem olvasott cikkeket és csupán átnézte a folyóiratokat, de nem is írt gyakorlatilag semmit saját kezűleg. Még azokat a cikkeket is, amelyeket egyedüli szerzőként jegyzett, mások írták meg helyette, szinte mindig *Jevgenyij M. Lifsic*

Lev Landau síremléke a moszkvai Novogyevicsi Temetőben (Hargittai I. felvétele, 2006)



A Landau-centenáriumra az Ukrán Nemzeti Bank és az Orosz Nemzeti Bank által kibocsátott pénzérmék

(1915–1985). Landau elmondta az elgondolásait és az elkészült piszkozatokat esetleg többször is átdolgozták. 1932 óta dolgoztak együtt, előbb tanítványa, majd legközelebbi munkatársa volt Lifsic, aki egyébként maga is neves fizikus, a Szovjet Tudományos Akadémia tagja, az Eötvös Loránd Tudományegyetem tiszteletbeli doktora volt. Legfontosabb közös munkájuk az elméleti fizika tankönyvsorozat. A munka oroszánrészét Lifsic végezte, és nagy részét azután, hogy Landau kiesett a sorból. Lifsic maga is talált segítőt ebben a munkában *L.P. Pitajevszkij* személyében. A tízkötetes tankönyvsorozatot sok nyelvre lefordították, köztük magyarra is. Maga az ötlet eredetileg Landautól származott, aki azt szerette volna, ha nemcsak egy könyvsorozat készül, hanem több, különböző nehézségi fokozattal. Landau hagyatéka sok szintű, maradandó értékű – ezért emlékezik meg róla elismeréssel és tisztelettel a tudományos világ 2008-ban, centenáriuma alkalmából.

### Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk néhai David Shoenbergnek (Cambridge, UK) Landau fiatalkori képeiért, B. Sz. Gorobecnek (Moszkva) a Lifsic–Landau fényképért és *Jurij M. Ranyuk*nak (Kijev) az ukrán pénzérme képeiért.

### Irodalom

1. G. Gamow: *My World Line: An Informal Autobiography*. The Viking Press, New York, 1970.
2. Hargittai I.: *Az öt világformáló marslakó*. Vince, Budapest, 2006.
3. B. Gorobec: *Krug Landau*. (oroszul, Landau körei) Letnij Szad, Moszkva–Szentpétervár, 2006. A könyv átdolgozott, bővített kiadása három kötetben, 2008-ban jelenik meg.
4. M. Hargittai, I. Hargittai: *Candid Science IV: Conversations with Famous Physicists*. Imperial College Press, London, 2004.
5. I. Hargittai, M. Hargittai: *Candid Science VI: More Conversations with Famous Scientists*. Imperial College Press, London, 2006.
6. G. Gorelik: *Andrej Szaharov: Nauka i szvoboda*. (oroszul, Andrej Szaharov: Tudomány és szabadság) NIC, Izsevszk, 2000, p. 255.
7. Tisza L.: A kétfolyadékos modell története (magyarok a termodinamika történetében). *Fizikai Szemle* 42 (1992) 303–306.



A száz éve született *Lev Davidovics Landau* a lenin-grádi egyetem fizikus hallgatója volt, amikor 1926-ban első cikke [1] megjelent a *Zeitschrift für Physik*-ben *A kétatomos molekulák spektrumának elméletéhez* címmel. Ebben az „új kvantummechanikának” megfelelően határozta meg – perturbációs számítást alkalmazva – a molekula gerjesztési spektrumát, az átmenetek intenzitását, elektromos és mágneses tér jelenlétében is. Igaz, hogy 18 éves kora ellenére már egyetemi tanulmányai vége felé járt, de alig vagyunk egy évvel *Heisenberg*nek a modern kvantummechanikát megalapozó cikke után. Egy évvel később megjelent munkájában [2] pedig eredeti módon, az azóta sűrűségmátrixként ismert mennyiség bevezetésével vizsgálta a csillapodás problémáját a hullámmechanikában. Életének utolsó, *Az alapvető kérdésekről* című munkája pedig 1960-ban jelent meg a *Wolfgang Pauli* születésének hatvanadik évfordulója alkalmából kiadott kötetben.

A közben eltelt három és fél évtizedben a fizika sok területén alkotott maradandót. Ha egy mostanában megjelenő szilárdtest-fizikai, magfizikai, térelméleti vagy más tankönyv tárgymutatóját fellelőzzük, többek között a következő indexelemekkel találkozhatunk: Landau-csillapodás, Landau-diamágnesség, Landau-ghost, Landau-mérték, Landau-pólus, Landau-szintek, Ginzburg–Landau-egyenletek, Ginzburg–Landau-modell, Ginzburg–Landau-funkcionál, Landau–Lifsic-egyenletek, *Bothe*–Landau-formula, Landau–Placzek-formula, Landau–Zener-formula, a másodrendű fázisátalakulások Landau-elmélete, a Fermi-folyadékok Landau-elmélete, a turbulencia Landau–Hopf-elmélete.

Az 1962 januárjában bekövetkezett tragikus baleset tehát egy termékeny, a fizika fejlődését rendkívüli módon előrevivő életet tört ketté. Pedig munkásságát nemcsak a baleset zavarta meg. Lehet, hogy csak óvatosságának köszönhette, hogy nem lett a sztálini tisztogatás áldozata. 1937-ben akkor hagyta ott Harkovot –

1934-ben az Ukrán Fizikai-Technikai Intézetben. Első sorban balról jobbra: L.V. Subnyikov, A.I. Lejpunskij, L.D. Landau és P.L. Kapica, a hátsó sorban: B.J. Finkelstein, O.N. Trapeznikova, K.D. Szelinnyikov és J.N. Rabinin.



szinte egyik napról a másikra és kért menedéket régi pártfogójától, *Pjotr Kapicától* –, amikor kollégáját és barátját, a kísérleti fizikus *Lev Subnyikovot*, akivel egy időben volt a harmincas évek elején hosszabb tanulmányúton Nyugat-Európában, kémkedés vádjával letartóztatták. Amikor a következő évben ő is börtönbe került, valószínűleg maga sem tudta, ez csak évtizedek múlva került nyilvánosságra, hogy *Subnyikovot* letartóztatása után néhány hónappal kivégezték.

A Landau munkáinak gyűjteményét [3] kezébe vevő olvasónak legfeljebb az tűnhetett fel, hogy míg 1934-ben és 1935-ben is négy cikke jelent meg, emellett 1935-ben két könyve, 1936-ban hat, 1937-ben pedig tíz cikke, s ekkor készült el az *Elméleti fizika* sorozat első tagja, a *Statisztikus fizika*, addig 1938-ban csak kettő, 1939-ben pedig mindössze egy cikke. A hivatatos, a halála idején írt életrajz mégcsak nem is utalhatott arra, hogy mi lehetett ennek az oka. Ahogy arra is csak igen áttételesen, hogy miért foglalkozott az 1950-es évek elején Landau parciális differenciálegyenletek numerikus megoldásával. Ha az olvasó nem találta volna ki, a szovjet atom- és hidrogénbomba-programhoz kellett ezek a számítások.

## A Landau-iskola és az elméleti minimum

A kvantummechanika születése utáni időben tevékenykedő fizikusok között nem ő volt az egyetlen, akinek munkássága a fizikán belül több, ma igen különbözőnek tekintett területre terjedt ki. Elég, ha csak *Hans Bethére* vagy *Werner Heisenbergre* gondolunk. Valószínűleg a legtöbben nem úgy tekintünk rájuk, mint a szilárdtestfizika jellegzetes képviselőire, pedig a Heisenberg-modell említése nélkül nem lehet a mágnességről tanulni. A Heisenberg-modell egydimenziós változatának megoldására javasolt *Bethe*-feltevés nem ennyire közismert, de minden egyetemi oktató örülhetne, ha hallgatói annyit tudnának a fémek elektronelméletéről, amennyit az 1930-as évek elején a *Handbuch der Physik* számára készült összefoglalóban [4] *Arnold Sommerfeld* és *Bethe* leírt.

Mégis azt mondhatjuk, hogy Landau munkássága ezekenél lényegesen szélesebb ölelésű volt. Őt élete végéig az jellemezte, hogy az elméleti fizikát egységes tudományterületnek tekintette. Nemcsak pályája elején foglalkozott egyszerre a fázisátalakulások elméletével, a fémek nagyon alacsony hőmérsékleti viselkedésével, a szupravezetéssel, a csillagok energiájának eredetével, a magok statisztikus elméletével, a neon és szén alfa-bomlással szembeni stabilitásával, vagy a nehéz részecskék által keltett záporok kialakulásával (ezek mind 1937-ben jelentek meg), hanem az 1950-es évek közepén is több témában volt érdekelt. Ekkor dolgozta ki a Fermi-folyadékok elméletét, miközben cikkeket sorát írta a kvantumtérelmélet problémáiról.



Landau 1938-ban, a hírhedt Ljubjanka börtönben

Talán még ennél is jellegzetesebb vonás az a tudatos iskolateremtés, amely Landaut a harkovi időktől kezdve jellemezte. Ha a Landau nevéhez köthető fogalmakat keressük, a fent felsoroltak mellett, vagy még azok előtt, a Landau-iskola és „A Landau–Lifsic”, vagyis a Landau és Jevgenyij Lifsic által írt elméleti fizika tankönyvsorozat juthat eszünkbe. Landau szerint az elméleti fizikát csak akkor lehet eredményesen művelni, ha a jelölt széles alapokkal rendelkezik. Nemcsak maga volt univerzális, hanem munkatársaitól is ezt várta. Ezért mindenkit, aki mellette szeretett volna tudományos munkát végezni, levizsgáztatott az „elméleti minimum”-ból. Mint ismert, mindössze 43-an állták meg a próbát. Közülük a legismertebbek Jevgenyij Lifsic mellett még Harkovból *Alekszandr Abiezer*, *Iszaak Pomerancsuk* és *Tisza László*, a moszkvai időből pedig talán *Alekszej Abrikoszov* (maga is Nobel-díjas), *Lev Gorkov*, *Igor Dzjalosinszkij*, *Iszaak Halatnyikov* és *Lev Pitajevszkij*.

A Landau–Lifsic-sorozatból képet kaphatunk arról, hogy mit jelentett ez a minimum. A mechanikától az elektromágneses tér klasszikus elméletén, a szilárd testek elektrodinamikáján és a kvantummechanikán keresztül a statisztikus fizikáig terjedt a megkövetelt ismeretek köre. Életében hét kötet jelent meg a tervezett sorozatból. Halála után Lev Pitajevszkij segítette a teljessé tételben. A könyveket angolra, franciára, németre, sőt magyarra is lefordították, valószínűleg más nyelvekre is, így Landau közvetlen tanítványain túl fizikusok nemzedékei nőttek fel azokon.

Az iskolateremtés része volt a Landau-szeminárium is, ahol csoportjának tagjai számoltak be munkájukról, illetve ismertettek cikkeket. Amíg aktív volt, Landau az első sorban ült mindig ugrásra készen, ha valamivel nem értett egyet.

Ebben a cikkben három példán keresztül szeretném bemutatni a rá és a Landau-iskolára jellemző gondolkodásmódot.

## A Landau-diamágnesség

Az első példa a Landau-diamágnesség és a De Haas–Van Alphen-jelenség Landau-féle tárgyalása. A klasszikus mechanikából tudjuk, hogy ha egy  $q$  töltésű részecske  $\mathbf{A}$  vektorpotenciállal megadott  $\mathbf{B}$  mágneses térben mozog, kinetikus energiáját az  $m\mathbf{v} = \mathbf{p} - q\mathbf{A}$  kinetikus impulzus segítségével lehet

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m\mathbf{v}^2$$

alakban megadni. A kvantummechanikai tárgyalásban operátorokat használva és a  $\mathbf{p}$  kanonikus impulzusra megkövetelve a kanonikus felcserélési relációt a

$$\mathcal{H} = \frac{m v_x^2}{2} + \frac{m v_y^2}{2} + \frac{m v_z^2}{2}$$

Hamilton-operátor sajátérték-problémáját kell megoldani. Az

$$\mathbf{A} = \frac{1}{2} \mathbf{B} \times \mathbf{r}$$

szimmetrikus mértéket használva a  $q = -e$  töltésű elektronokra,

$$m v_x = p_x - \frac{1}{2} e B y,$$

$$m v_y = p_y + \frac{1}{2} e B x,$$

$$m v_z = p_z.$$

Ezt a problémát, valójában egy ennél bonyolultabbat, mert a részecske nem szabadon, hanem harmonikus (parabolikus) potenciáltérben mozgott, *Vlagyimir Fock* már 1928-ban megoldotta [5]. Azt a ma már egyáltalán nem meglepő eredményt kapta, hogy a mágneses térre merőleges síkban klasszikusan  $\omega_c = eB/m$  körfrekvenciával mozgó részecske energiája  $\hbar\omega_c$  egységekben van kvantálva. Az energia-sajátértékek:

$$E = \left( n + \frac{1}{2} \right) \hbar \omega_c + \frac{p_z^2}{2m}.$$

Fock a sajátfüggvényeket is megadta az általánosított Laguerre-polinomok segítségével. A megoldásból azonban egyáltalán nem látszott, hogy mekkora az egyes energiaszintek elfajultsága. Landau 1930-ban megjelent munkájának [6] első érdekes eredménye e kérdés megválaszolása volt. Rámutatott arra, hogy ha a  $\Psi$  sajátfüggvényeket

$$\Psi = \exp\left(\frac{i e B}{2 \hbar} x y\right) \chi$$

alakban választjuk,  $\chi$  is a szabad elektronok kinetikus energiáját tartalmazó fenti Hamilton-operátor sajátfüggvénye ugyanazzal az energiával, de az azóta Landau-mértéknek nevezett  $\mathbf{A} = (0, Bx, 0)$  mértékben, vagyis

$$\begin{aligned} m v_x &= p_x, \\ m v_y &= p_y + e B x, \\ m v_z &= p_z. \end{aligned}$$

Ebben az alakban a feladat olyan oszcillátorokra vezethető vissza, amelyek középpontja az  $x$  tengely mentén jól meghatározott,  $x_0 = -p_y/eB$  helyeken lehet. A  $p_y$  impulzus lehetséges kvantált értékeiből kapta meg az energiaszintek  $N_p = e\Phi/\hbar$  degenerációját, ahol  $\Phi$  a minta felületén áthaladó mágneses fluxus.

Az energiaspektrum ismeretében viszonylag egyszerűen jutott el a nagykanonikus potenciál

$$\Omega = B \sum_{n=0}^{\infty} f \left[ \mu - \left( n + \frac{1}{2} \right) \hbar \omega_c \right]$$

alakjához, ahol

$$f(\mu) = -kT \frac{eV}{2\hbar^2 \pi^2} \int \ln \left[ 1 + \exp \left( \frac{\mu}{kT} - \frac{p_z^2}{2mkT} \right) \right] dp_z.$$

Az  $n$  szerinti összegzés elvégzésére a

$$\sum_{n=0}^{n_0} f \left( n + \frac{1}{2} \right) = \int_0^{n_0+1} f(x) dx - \frac{1}{24} f'(x) \Big|_0^{n_0+1} + \dots$$

Euler–Maclaurin-féle összegképletet használta, majd a nagykanonikus potenciálból a mágnesezettséget és a szuszceptibilitást is meghatározta. Így jutott a  $T \rightarrow 0$  határesetben az elektronok pályamozgásából adódó jól ismert

$$\chi_{\text{dia}} = -\frac{1}{3} \mu_0 \mu_B \rho(\epsilon_F),$$

Landau-féle diamágneses szuszceptibilitáshoz, ahol  $\rho(\epsilon_F)$  az elektronok állapotsűrűsége a Fermi-energiánál. Az előjelkülönbségtől eltekintve ez pontosan egyharmada a spinektől származó Pauli-féle paramágneses szuszceptibilitásnak.

Önmagában ez az eredmény is nagyszerű teljesítmény lett volna. Landau igazi fizikusi hozzáállása, érettsége azonban az ehhez az eredményhez fűzött megjegyzésekben nyilatkozott meg igazán. Először is rámutatott arra, hogy ha nem szabad elektronokra végezte volna el a számolást, hanem a kristályrács periodikus potenciálterében, akkor – mivel a spineket és a Pauli-féle szuszceptibilitást a periodikus potenciál nem befolyásolja, a Bloch-elektronok dinamikája viszont nem azonos a szabad elektronokéval – az egyharmados arány felborulhat a diamágneses és paramágneses járulék között, és a bizmuthoz hasonlóan az eredő viselkedés diamágneses lehet.

Másrészt, felhívta a figyelmet arra, hogy a Bohr-féle kvantálásnak megfelelő kvantált energiaszintek akkor

alakulhatnak ki, ha az elektronoknak van idejük legalább néhányszor körbefutni a periodikus pályán. Ha a minta szennyezett, s emiatt a közepes szabadúthossz összemérhető a ciklotronpálya sugarával vagy kisebb annál, a diamágneses szuszceptibilitás lényegesen megváltozhat. Ugyanezt kell tapasztalni akkor is, ha a minta mérete válik összemérhetővé a ciklotronsugárral. Az ebből adódó méreteffektusokat jóval később, az 1960-as években éppen a Szovjetunióban vizsgálták igen kiterjedten.

Mindezeknél izgalmasabb Landau harmadik megjegyzése. Rámutatott arra, hogy az Euler–Maclaurin-féle összegzési formula csak viszonylag lassan változó függvényekre alkalmazható. Az adott esetben ez azt jelenti, hogy teljesülnie kell a  $\mu_B B \ll kT$  feltételnek, ez viszont sérülhet nagyon alacsony hőmérsékleteken vagy erős mágneses terekben. Mint írta: „Az utóbbi esetben a mágneses momentum a mágneses térnek bonyolult nemlineáris függvénye lehet, sőt a térerősség függvényében erős periodicitást mutatna.” Ezzel lényegében megjósolta a De Haas–Van Alphen-jelenséget. Hozzátartozik azonban az igazsághoz, hogy a jelenséget az akkori kísérleti lehetőségek mellett megfigyelhetetlennek vélte. Becslést végzett arra, hogy az akkor elérhető legerősebb, 30 tesla nagyságú mágneses térnek mennyire kell homogénnek lennie, hogy a jelenség ne mosódjon el, s azt találta, hogy a térerősség 0,1%-os inhomogenitása már kiátlagolja az oszcillációkat. A sors fintora, hogy még ugyanabban az évben, a már említett, akkor Leidenben dolgozó Subnyikovnak *De Haasszal* együtt [7] sikerült megfigyelnie az energiaszintek kvantáltsága miatt az ellenállásban megjelenő oszcillációt, majd De Haas és *Van Alphen* [8] a mágnesezettség oszcillációit is meg tudta mérni. Egyébként a De Haas–Van Alphen-jelenség pontosabb elméleti leírását, az oszcilláló tag helyes hőmérsékletfüggését is Landau adta meg később, 1939-ben [9], gömbszerű Fermi-felülettel rendelkező fémekre, az Euler–Maclaurin-összegzés helyett a Poisson-összegzést alkalmazva.

## A másodrendű fázisátalakulások

### Landau-elmélete

A második példa a másodrendű (folytonos) fázisátalakulások Landau-elmélete és annak alkalmazása szupravezetőkre, ami a Ginzburg–Landau-elmélethez vezetett. Itt két olyan motívumra figyelhetünk fel, amely jellemző volt Landaura. Az egyik a szimmetriák szerepének hangsúlyozása a fizikai elméletekben. Amikor Landau az 1930-as években a folytonos fázisátalakulásokkal kezdett foglalkozni, még egyáltalán nem volt tisztázva, hogy mikor lehet vagy nem lehet folytonos egy fázisátalakulás abban az értelemben, ahogy folyadékból folytonosan át lehet menni a gázfázisba. Landau mutatott rá arra [10], hogy ilyen értelemben nem lehet folytonos az átalakulás a kristályos állapotból a folyadékba vagy a kristály egy más szimmetriájú állapotába. Ezek az átalakulások ugyanis mindig szim-



Landau csoportja 1956-ban. Az ülő sorban balról jobbra: L.A. Prozorrova, A.A. Abrikoszov, I.M. Halatnyikov, L.D. Landau, E.M. Lifsic. Az álló sorban: Sz.Sz. Gerstein, L.P. Pitajevszkij, L.A. Vajnsztajn, R.G. Archipov, I.E. Dzjalosinszkij.

metriaváltozással, szimmetriaelemek eltűnésével vagy új szimmetriaelemek megjelenésével járnak együtt, márpedig „egy szimmetriaelem vagy jelen van, vagy hiányzik, de semmiféle közbenső állapot nem lehetséges. Ezért abszolút lehetetlen olyan folytonos fázisátalakulás (a folyadék és gáz folytonos átalakulásának értelmében), amely szimmetriaváltozással járna.” Ezt az állítást *Phil Anderson* annyira fontosnak érezte, hogy a szilárdtestfizika első főtételének nevezte [11] a következő megfogalmazásban: „a szimmetriát nem lehet folytonosan változtatni”.

A másodrendű fázisátalakulásoknál Landau szerint sérül a magas hőmérsékleti fázis szimmetriája. A sérült szimmetriájú fázist egy, a rendre jellemző új mennyiség, a rendparaméter véges értéke írja le. Mivel az átalakulási pontban a rendparaméter nulla értéket vesz fel és onnan folytonosan növekszik, értéke az átalakulási pont közelében még kicsi. Ezért, ha a szabadenergiát ennek hatványai szerint sorba fejtjük, elegendő az első néhány tagot megtartani. Egy kis paraméter keresése volt az a másik jellegzetes vonás, amire utaltam.

A másodrendű fázisátalakulások Landau-elmélete [10] ezt a kettőt, a szimmetriamegfontolásokat és a kis paraméter létezésének következményeit ötvözte. Ha a  $\delta p$  rendparamétert a magas szimmetriájú fázis szimmetriacsoportja irreducibilis ábrázolásainak bázisfüggvényei szerint kifejtjük, a

$$\delta p = \sum_n \sum_{i=1}^{d_n} c_i^{(n)} \varphi_i^{(n)}$$

alakra jutunk, ahol  $n$  indexeli az irreducibilis ábrázolásokat,  $d_n$  pedig annak dimenziója. Ebben a felírásban a  $c_i^{(n)}$  együtthatók tekinthetők kis paraméternek, a rendezett fázis szabadenergiája ezek hatványai szerint haladó sorban adható meg:

$$F = F_0 + \sum_n A^{(n)} f_2^{(n)} + \sum_n B^{(n)} f_4^{(n)} + \dots,$$

ahol  $f_2^{(n)}$ , illetve  $f_4^{(n)}$  az  $n$ -edik irreducibilis ábrázoláshoz tartozó  $c_i^{(n)}$  együtthatókból alkotott másodrendű, illetve negyedrendű kifejezés. Ezeket abból a megkötésből

határozhatjuk meg, hogy a szimmetriasértés ellenére a szabadenergiának magának, mint a rendszer fizikai állapotát jellemző mennyiségnek, invariánsnak kell lennie a rendezetlen fázis minden szimmetriaműveletével szemben. A szabadenergiát a  $c_i^{(n)}$  együtthatók szerint minimalizálva kapjuk a szimmetriasértő fázisban a rendparaméter értékét. Harmadrendű invariáns azért nem jelent meg a sorfejtésben, mert elrontaná a folytonos átalakulást. Ezt a kikötést éppen arra lehet felhasználni, hogy kiszűrjük, melyik alcsoport lehet a rendezett fázis szimmetriacsoportja és melyik nem.

A Landau-elmélet jól ismert alakjához akkor jutunk, ha csak egyetlen irreducibilis ábrázolással van dolgunk, és a rendparaméter skaláris. Ilyenkor a szabadenergia szokásos

$$F = F_0 + A\eta^2 + B\eta^4 + \dots$$

alakjából az  $A$  és  $B$  együtthatókra tett ismert feltevésekkel lehet az átalakulás termodinamikáját leírni.

Még ugyanebben az évben, 1937-ben, Landau arra is rámutatott [12], hogy ha az átalakulási pont közelében megjelölő térbeli inhomogenitásokat is figyelembe akarjuk venni, akkor a szabadenergia sűrűségében meg kell engedni a rendparaméter változására jellemző  $\nabla\eta$  hatványait tartalmazó tagokat is, vagyis az

$$f = f_0 + \alpha\eta^2 + \beta\eta^4 + \gamma(\nabla\eta)^2 + \dots$$

térfogati integrálját kell minimalizálni. Ez volt a kiindulás a szupravezetés Ginzburg–Landau-elméletének [13] kidolgozásához. Mikroszkopikus elmélet híján feltételezték, hogy a rendparaméter a szupravezető elektronok  $\psi$  hullámfüggvénye, ez a kis paraméter,  $s$  a szabadenergia ennek hatványai szerint fejthető ki. A többi már a szimmetriamegfontolások diktálták. Ha a rendparaméter hullámfüggvény jellegű mennyiség, a szabadenergia nem függhet annak komplex fázisától, tehát a sorfejtésben  $|\psi|^2$ -nek kell megjelennie. Továbbá, mágneses tér jelenlétében a mértékinvariancia megköveteli, hogy a hullámfüggvény gradiensét tartalmazó tagban  $\nabla$  helyett, a korábban említettek szerint,  $\nabla + (ie/\hbar)\mathbf{A}$  álljon. A mágneses tér energiáját is figyelembe véve a szupravezető állapot szabadenergiájának sűrűségére így az

$$f_s = f_n + \alpha|\psi|^2 + \frac{1}{2}\beta|\psi|^4 + \frac{1}{2m^*} \left| \left( \frac{\hbar}{i} \nabla + e\mathbf{A} \right) \psi \right|^2 + \frac{1}{2\mu_0} \mathbf{B}^2$$

alakot tételezték fel szabad  $\alpha$ ,  $\beta$  és  $m^*$  együtthatókkal. Ennek a szabadenergia-sűrűségnek a hullámfüggvény és a vektorpotenciál szerinti minimalizálásával jutunk a Ginzburg–Landau-egyenletekhez.

Nem beszéltünk eddig az  $e$  paramétréről. Erre vonatkozóan megjegyzik, hogy „nincs semmi ok arra, hogy az elektron töltésétől különbözőnek vegyük”. Később, amikor a mikroszkopikus elméletből kide-

rült, hogy valójában  $e$  helyén  $2e$ -nek kell állnia, Ginzburg többször említette, szinte szemrehányóan, hogy ő valójában szerette volna, ha  $e$ -t is szabad paraméternek tekintik, de Landau ragaszkodott a fenti mondatához. Bár Landaunak nem volt tökéletesen igaza, mégis valószínűleg közelebb állt az igazsághoz, mint Ginzburg. Hiszen ha  $e$  szabad paraméter lehetne, akkor függne a szupravezető anyagi minőségétől, sőt akár helyfüggő is lehetne. A mértékinvariancia viszont csak univerzális  $e$ -vel teljesíthető. A Cooper-párok  $2e$  töltése biztosítja az univerzális értéket, de azok létezéséről akkor még senki sem tudott.

A másodrendű fázisátalakulások Landau-elméletének a jelentőségét nem csökkenti az, hogy ma már tudjuk, bizonyos esetekben a kialakuló új állapotot nem lehet egy lokális rendparaméterrel jellemezni. Létezhetnek fázisok topologikus renddel vagy rejtett rendparaméterrel is.

## A Fermi-folyadékok Landau-elmélete

A harmadik példa a Fermi-folyadékok Landau-elmélete [14]. Az már korábban, részben Landau munkásságának köszönhetően ismert volt, hogy a kondenzált anyagok viselkedését sokszor bozon jellegű szabad elemi gerjesztések segítségével lehet értelmezni. A gerjesztett állapotok spektruma általában rendkívül bonyolult, de ha csak a fizikai tulajdonságok szempontjából releváns, a termikus energiával összemérhető vagy annál kisebb energiájú gerjesztéseket tekintjük, hiszen csak ezek lehetnek kellő számban gerjesztve, az ebbe a tartományba eső energiák egy szabad bozongáz spektrumával azonosíthatók. Ilyen elemi gerjesztések a rezgő rács viselkedésének tárgyalásánál megjelenő fononok, a ferro- és antiferromágneses anyagok mágneses tulajdonságainak megértését lehetővé tevő magnonok, vagy a szuperfolyékony héliumban megjelenő rotonok. Mindezek olyan kollektív gerjesztések, amelyeknek csak a kölcsönható rendszerben van értelmük. Ha az atomokat összetartó erőket vagy a mágneses kölcsönhatást képzeletben kikapcsoljuk, a továbbiakban már nem beszélhetünk fononokról vagy magnonokról.

A fémek elektromos tulajdonságainak leírásánál egészen mást tapasztalunk. Az egyszerű fémek viselkedése nagyon jól modellezhető a szabad, töltés nélküli fermionokat feltételező Sommerfeld-moddal. A rács periodikus potenciálja ugyan azt eredményezi, hogy a Bloch-elektronok dinamikáját nem az elektronok  $m_e$  tömegével, hanem egy  $m^*$  effektív tömeggel kell jellemezni, de az elektronok közötti kölcsönhatás mintha alig játszana szerepet. Landau lényeges felismerése az volt, hogy e mögött a szokásos fermion-rendszereknek egy érdekes tulajdonsága rejtőzik. Ha az elektronok közötti kölcsönhatást adiabatikusan kapcsoljuk be, a szabad elektronok gázának alapállapota folytonosan alakul át a kölcsönható rendszer alapállapotába, az egyrészecskés gerjesztett állapotok pedig a kölcsönható rendszer gerjesztett állapotaiba

mennek át. Ezért a kölcsönható fermionrendszer gerjesztett állapotait úgy írhatjuk le, mintha bennük fermion jellegű kvázirészecskék lennének gerjesztve. Megint csak Phil Andersonra hivatkozhatunk [11], aki a kvázirészecske-képhez vezető adiabatikus folytatást a szilárdtestfizika másik alapelvének tekintette.

Ahhoz, hogy kvantitatív eredményekhez is el lehet jutni, szükség volt itt is a kis paraméter megtalálására. Ezt Landau a kvázirészecskék számában ismerte fel. Ha  $\delta n_{\mathbf{k}\sigma}$  jelöli a  $\hbar\mathbf{k}$  impulzusú,  $\sigma$  spinű kvázirészecske számát, akkor a szabadenergia ennek hatványai szerint kifejezhető:

$$F = F_0 + \sum_{\mathbf{k}\sigma} (\epsilon_{\mathbf{k}\sigma} - \mu) \delta n_{\mathbf{k}\sigma} + \frac{1}{2V} \sum_{\mathbf{k}\mathbf{k}'\sigma\sigma'} f_{\sigma\sigma'}(\mathbf{k}, \mathbf{k}') \delta n_{\mathbf{k}\sigma} \delta n_{\mathbf{k}'\sigma'} + \dots$$

Bár a kvázirészecskék közötti kölcsönhatást egy többváltozós függvény adja meg, valójában az néhány paraméterrel helyettesíthető. Így a kölcsönható fermionrendszer tulajdonságai – nemcsak az ezzel a szabadenergiával leírható termodinamikai viselkedése, hanem az ugyanezt a kölcsönhatást tartalmazó transzportegyenletről származtatható transzporttulajdonságai is – néhány paraméter segítségével megadhatók.

Az elmélet arra sajnos nem tud választ adni, hogy egy fermionrendszer mikor tekinthető normálisnak, mikor lehet benne kvázirészecskéket definiálni, s mikor sérül az adiabatikus folytonosság. Ma már tudjuk, hogy vannak nevezetes kivételek. Ilyen a szupravezető állapot, amely perturbatíván, még ha végtelen rendig fel is összegezzük a perturbációs sort, nem állítható elő a szabad elektronok rendszeréből. Ennek ellenére a kvázirészecske fogalma, Landau többi eredményével együtt, alapvető szerepet játszik a modern szilárdtestfizikában.

## Irodalom

1. L.D. Landau, *Zeitschrift für Physik* 40 (1926) 621.
2. L.D. Landau, *Zeitschrift für Physik* 45 (1927) 430.
3. L.D. Landau *Összegyűjtött munkái.* (oroszul) Nauka, Moszkva, 1969; *Collected Papers of L.D. Landau.* Pergamon Press, Oxford, 1965.
4. A. Sommerfeld, H. Bethe: *Elektronentheorie der Metalle.* in *Handbuch der Physik.* Zweite Auflage, Band XXIV. Zweiter Teil, Verlag von Julius Springer, Berlin, 1933.
5. V. Fock, *Zeitschrift für Physik* 47 (1928) 446.
6. L.D. Landau, *Zeitschrift für Physik* 64 (1930) 629.
7. L. Shubnikov, W.J. de Haas, *Commun. Phys. Lab. Univ. Leiden, No. 207a, 207d* (1930); *Proc. Acad. Sci. Amsterdam* 33 (1930) 130.
8. W.J. de Haas, P. M. van Alphen, *Commun. Phys. Lab. Univ. Leiden, No. 208d, 212a* (1930); *Proc. Acad. Sci. Amsterdam* 33 (1930) 1106.
9. L.D. Landau, *Proc. Roy. Soc. A* 170 (1939) 363.
10. L.D. Landau, *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* 7 (1937) 19; *Phys. Zs. Sowjet.* 11 (1937) 26.
11. P.W. Anderson: *Basic Notions of Condensed Matter Physics.* The Benjamin/Cummings Publishing Company Inc., Menlo Park, California, 1984.
12. L.D. Landau, *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* 7 (1937) 1232; *Phys. Zs. Sowjet.* 12 (1937) 123.
13. V.L. Ginzburg, L.D. Landau, *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* 20 (1950) 1064.
14. L.D. Landau, *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* 30 (1956) 1058; 32 (1957) 59; 35 (1958) 97.

# A KVANTUMMECHANIKA KITELJESEDÉSE: A KVANTUM-SZÓRÁSELMÉLET MEGSZÜLETÉSE

Bencze Gyula  
KFKI Részecske és Magfizikai Kutatóintézet

## A kvantummechanika megszületése

A huszadik század elején nagy események kavarták fel a klasszikus fizika nyugalmas vizeit. Az egyik ilyen nagy esemény volt 1900. december 14-én *Max Planck* előadása Berlinben a Német Fizikai Társulatban, amelyben azzal a meglepő feltevessel állt elő, hogy a feketetest-sugárzás intenzitásának frekvencia szerinti eloszlása csak akkor írható le a tapasztalattal megegyezően, ha feltesszük, hogy a testek csak diszkrét csomagokban, kvantumokban sugározhatnak ki energiát, amely arányos a frekvenciával. Az itt fellépő arányossági tényezőt *batáskvantumnak* nevezte el. Öt évvel később *Einstein* az új hipotézis alapján sikerrel magyarázta meg a fényelektromos jelenség törvényszerűségeit. *Arthur Compton* klasszikussá vált kísérleteiben megmutatta, hogy a röntgensugarak elektronokon való szóródása ugyanolyan törvényszerűségeket követ, mint két részecske rugalmas ütközése. A kvantumhipotézis tehát néhány éven belül mind kísérletileg, mind elméletileg szilárd megalapozást nyert.

1913-ban *Niels Bohr* Planck hipotézisét kiterjesztette az atomokban kötött elektronok mechanikai energiájára is, és a Bohr-féle atommodell ennek alapján sikerrel magyarázta meg a hidrogénatom spektrumát, és reprodukálta a spektrumokat leíró korábbi empirikus formulákat.

1925-ben *Louis de Broglie* francia fizikus meglepő interpretációját adta a Bohr-féle kvantumpályáknak az úgynevezett vezérhullámok („pilot waves”) feltételezésével. De Broglie elképzeléséből kiindulva később *Erwin Schrödinger* dolgozott ki egy elméletet, amely a *hullámmechanika* elnevezést kapta. Ezzel egy időben *Werner Heisenberg* fiatal német fizikus ugyanazon jelenségek leírására egy szokatlan formalizmust, a nem kommutatív műveleteken alapuló *mátrixmechanikát* fogalmazta meg, amely ugyanolyan sikeresen írta le a tapasztalatot. A két német folyóiratban párhuzamosan megjelent két látszólag drámaian különböző elmélet alaposan meghökkentette az elméleti fizika világát mindaddig, amíg Schrödingernek nem sikerült bebizonyítania, hogy a két formalizmus teljesen ekvivalens. A két formalizmus közül a Schrödinger-egyenleten alapuló tárgyalás bizonyult a gyakorlatban használhatóbbnak, és ez a dominancia a szóráselméletek témakörének kivételével ma is fennáll.

Itt kell megemlíteni *Max Born* nevét, akiről igazságtalanul feledkezett meg az elméleti fizika világa, és akinek a hullámfüggvény statisztikus interpretációja köszönhető. Born számos, Heisenberggel közös publikációban dolgozta ki a kvantumelmélet szigorú ma-

tematikai alapjait, azonban a dicsőséget elsősorban a fiatal titán Heisenberg aratta le. *Wolfgang Pauli* munkássága a híres kizárási elvvel járult hozzá az elmélet teljességéhez. A koronát a műre *P.A.M. Dirac* tette fel, aki 1929-ben levezette híres relativisztikus hullámegyenletét, és végül egyesítette a kvantumelmélet és a relativisztikus invariancia követelményeit.

Magyar kutatóknak is fontos szerep jutott a kvantummechanika forradalmian új tudományterületének kimunkálásában. *Wigner Jenő*, aki a kvantummechanika megszületése idején Németországban tevékenkedett és Göttingenben *David Hilbert*, a híres matematikus asszisztense volt, hívta fel a figyelmet arra, hogy a szimmetriák, illetve az azokat matematikailag precízen tárgyalni képes csoportelmélet milyen fontos szerepet játszik a mikrovilág törvényszerűségeinek leírásában. E témából írt *Gruppentheorie und Ihre Anwendung auf die Quantenmechanik der Atomspektren* (F. Vieweg und Sohn, Braunschweig, 1931.) című monográfiája egyike a legfontosabb kézikönyveknek.

A kvantummechanika precíz tárgyalása kiterjedt és bonyolult matematikai eszköztárat kíván meg. Így például a kvantumrendszerek állapotát leíró hullámfüggvények egy végtelen dimenziós vektortér, a Hilbert-tér elemei, és a fizikai mennyiségeket e térben ható operátorok reprezentálják. Ezen a területen az alapok lefektetése ismét csak magyar kutató nevéhez fűződik: *Neumann János Matematische Grundlagen der Quantenmechanik* (Springer, Berlin, 1932.) című monográfiája egyike a témával foglalkozó „alpműveknek”. Bár nem ebben az időben született, azonban hasonlóan nélkülözhetetlen kézikönyve a szóráselmélet művelőinek *Riesz Frigyes és Szőkefalvi Nagy Béla* (Frédéric Riesz, Béla Sz.-Nagy: *Leçons d'analyse fonctionnelle*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1952.) munkája, amely a múlt század második felében, a kvantum-szóráselmélet kiteljesedése idején volt a funkcionálanalízis kincsestára. Talán magyar sajátosság, de azért érdemes elgondolkodni azon, hogy mindhárom alpműnek évtizedeket kellett várnia, hogy világsiker után a szerzők anyanyelvén is megjelenhessen! Nos, ahogy mondani szokás: „habent sua fata libelli”.

A következőkben a kvantum-szóráselmélet fejlődését, a három- és N-test-probléma formalizmusának kialakulását tekintjük át, az azok által felvetett nemtriviális matematikai problémák (pl. Coulomb-kölcsönhatás, permutációs szimmetria) megoldására irányuló erőfeszítésekkel együtt. Külön hangsúlyt fektetünk a hazai kutatók által elért eredmények ismertetésére, mivel szerencsés módon az 1960-as évek végétől a KFKI-ban egy *Budapest group* néven emlegetett



Max Born és Ludvig Dmitrijevics Fagyjev

igen sikeres kutatócsoport működött (tagjai voltak *Doleschall Pál*, *Lovas István*, *Révai János* és a szerző), amelynek eredményeit a nemzetközi szakmai körök nagy figyelemmel kísérték.

## Formális szóráselmélet – a Lippmann–Schwinger-egyenlet

A fizikai alap kutatások egyik legsokoldalúbb és legszélesebb körben használt eszköze a szórás kísérlet, amelyben különféle részecskék kölcsönhatását tanulmányozzák ütközési folyamataikban. Az atommagokra és a szubatomi részecskékre vonatkozó szinte valamennyi információ ilyen kísérletekből származik, amelyekben rugalmas vagy rugalmatlan szórás megy végbe az ütközésben résztvevő részecskék belső gerjesztésével, vagy az alkotórészek átrendeződésével. Ezért alapvető fontosságú a kvantumelmélet alkalmazása a folyamatok leírására. Ennek ellenére a kvantum-szóráselmélet csak a 20. század második felében indult gyors fejlődésnek. A fizikai alkalmazások mellett a felmerülő matematikai kérdések vizsgálatával ma már egy külön diszciplína, a matematikai szóráselmélet foglalkozik.

A szóráselmélet alapvető feladata a kéttest-probléma, amelynél két részecske egy rövid hatótávolságú potenciállal hat kölcsön, vagyis a rendszer Hamilton-operátora

$$H = H_0 + V,$$

ahol  $H_0$  a kinetikus energia operátora,  $V$  pedig a kéttest-potenciál. A szabad, illetve a kölcsönható rendszer dinamikáját rendre a megfelelő Schrödinger-egyenlet írja le:

$$i \frac{d\Phi}{dt} = H_0 \Phi, \quad i \frac{d\Psi}{dt} = (H_0 + V) \Psi.$$

A kéttest-probléma úgynevezett egycsatornás rendszer, amelynél a teljes rendszer Hamilton-operátora csak egyfajta módon bontható fel egy szabad rendszer operátorára és az azt perturbáló kölcsönhatásra.

A kéttest-problémánál a megoldásokra vonatkozó szórási határfeltétel (aszimptotikus feltétel) a következőképpen fogalmazható meg:

$$\lim_{t \rightarrow \pm\infty} \|\Psi(t) - \Phi(t)\| = 0.$$

A szórási határfeltétel valójában azt követeli meg, hogy a megoldás közelítsen a szabad mozgást leíró megoldáshoz mind az ütközési folyamat előtt, mind pedig utána, amikor a részecskék közötti kölcsönhatás a rövid hatótávolság miatt elhanyagolhatóvá válik.

Sokcsatornás rendszerek esetén a rendszernek többféle kölcsönhatásmentes aszimptotikus állapota létezhet, ezek a teljes Hamilton-operátor különböző felbontásainak felelnek meg perturbálatlan rendszerre és kölcsönhatásra:

$$H = H_a + V^a = H_b + V^b = H_c + V^c \dots \text{ stb.}$$

A formális szóráselmélet a rendszert jellemző operátorokra fontos összefüggéseket állapít meg. Így például a rendszerben lezajló összes szórásfolyamatra vonatkozó információ jelen van a szórásoperátorban, illetve a tranzitoperátorban, vagy ekvivalens módon a rendszer rezolvens operátorában. A szórást jellemző operátorok megfelelő mátrixelemei pedig közvetlenül szolgáltatják az egyes ütközési folyamatokat jellemző fizikai mennyiségeket. Meg kell azonban jegyezni, hogy a „formális” jelző nem véletlen, az elmélet ugyanis nem specifikálja a sokcsatornás rendszerek tulajdonságait, valamint nem ad útmutatást arra, hogy a hullámfüggvényt vagy a tranzitoperátort meghatározó Lippmann–Schwinger-egyenlet milyen feltételek mellett és hogyan vezet a probléma teljes megoldásához.

A szóráselmélet széleskörű alkalmazásra talált az atomfizikai és magfizikai szórásfolyamatok tárgyalásában, azonban ezek szinte kizárólagosan a Born-közelítésen alapultak, azaz a fizikailag fontos mátrixelemek meghatározásánál a releváns Lippmann–Schwinger-egyenlet megoldását az első iterációval helyettesítették.

A közelítő módszerek alkalmazhatóságát némileg javították a különféle módosítások, például a torzított hullámú Born-közelítés (*distorted wave Born approximation*, DWBA) vagy a csatolt csatornás Born-közelítés (CCBA). A lényeges azonban az, hogy valamennyi módszer „kéttest-módszer”, azaz az erőfeszítések a kéttest-dinamika minél pontosabb figyelembe vételét célozzák, minden egyéb folyamat, például a legegyszerűbb háromtest-folyamat, az ütköző részecskék átrendeződése, csak perturbációként kezelhető. Ez a helyzet csak *Fagyjev* úttörő munkássága nyomán változhatott meg, amikor lehetőség nyílt a három-, illetve soktest-dinamika hatásainak figyelembe vételére is.

## Háromtest-probléma, a Fagyjev-módszer

A formális szóráselmélet egyik legfontosabb eredménye, hogy a Schrödinger-egyenletet egy ekvivalens integrálegyenlettel helyettesíti, amelybe a szórási határfeltétel eleve beépítésre kerül. Gondot jelent azonban, hogy kettőnél több részecske esetére ez az

egyenlet nem Fredholm-típusú, azaz magja még komplex energiáknál is szinguláris, ezért folytonos spektruma van – más szóval nem teljesül az úgynevezett Fredholm-alternatíva. A mag tulajdonságait iterációval sem lehet javítani, mivel annak során a szingularitást okozó „disconnected” tagok újratermelődnek. Ezek a tagok azért lépnek fel, mert a részecskék közti kéttest-kölcsönhatások a harmadik részecske energiáját és impulzusát megőrizve a magban szinguláris  $\delta$ -függvények megjelenéséhez vezetnek.

A kiutat a matematikai nehézségekből Fagyejev találta meg [1], aki a Lippmann–Schwinger-integrálegyenlet magjában a szinguláris tagokat elkülönítve, azok járulékát invertálva a szingularitást megszüntette. Az eredményként adódó csatolt egyenletek magja már jól viselkedik és többszöri iteráció után kompakttá válik egy megfelelően választott függvényterben.

Az egyenletekről Fagyejev monográfiájában kimutatta, hogy ekvivalensek a Schrödinger-egyenlettel, megoldásaik azonosak, továbbá, hogy az egyenletek homogén és inhomogén változatának nem lehetnek egyszerre megoldásai. Fagyejev munkája megtermékenyítette a témakört, az érdeklődés azonnal megnövekedett a három- és soktest-probléma iránt, és egyre növekvő számban jelentek meg a témakörrel foglalkozó cikkek.

Az a körülmény, hogy Fagyejev eredményei nyomán rendelkezésre álltak a háromtest-probléma megoldását szolgáltató dinamikai egyenletek, gyökeres szemléletváltást eredményezett a szóráselmélet alkalmazása terén is. Míg korábban az ütközések leírásában szinte kizárólag csak kéttest-módszereket alkalmaztak, most új lehetőségek nyíltak, és ezek kihasználásában a magyar kutatók is élen jártak. *Beregi Péter*, *Lovas István* és *Révai János* kidolgozta a rezonanciaszórás egy egzaktul megoldható háromtest-modelljét, *Lovas István* és *Dénes Ervin* a küszöbeffektusokat tanulmányozta egy szintén egzaktul kezelhető háromtest-modell keretében. *Doleschall Pál* és *Révai János* a háromtest-egyenletek numerikus megoldásának technikáját, azon belül az iterációs módszer alkalmazhatóságát vizsgálta.

Ugyanebben az időben terelődött a figyelem a hiperszférikus függvények, vagy más elnevezéssel a K-harmonikusok alkalmazására a háromtest-probléma megoldásánál. Ezek a függvények a gömbfüggvények általánosításának feleltek meg magasabb dimenziójú terekben, és igen alkalmasnak bizonyultak sokrészecskefüggvények leírására. Nem-triviális technikai problémát jelentett azonban a bázisfüggvények transzformációja különböző Jacobi-koordinátarendszerek között. A probléma matematikai megoldása *Révai János* és francia kollégája, *Jacques Raynal* nevéhez fűződik, akik analitikus alakban megadták a transzformációs együtthatókat, ezeket a szakirodalom azóta *Raynal–Révai-koefficiensek* néven emlegeti.

*Doleschall Pál* a háromnukleon-szórásproblémára alkalmazta a Fagyejev-egyenleteket, és a numerikus megoldás meghatározására egy óriási számítógépes programot írt (*Doleschall code*), amellyel azonnal a

szakterület élvonalába került. Fagyejev munkája nyomán a háromtest-egyenleteket a konfigurációs térben is megfogalmazták, az eredmény érdekessége abban rejlik, hogy ezekhez a differenciálegyenletekhez nem lehetett volna eljutni a probléma Schrödinger-egyenletéből.

## A kvantummechanikai N-test-probléma

Fagyejev eredményei nyomán a fejlődés felgyorsult, és a következő lépés kézenfekvő módon a módszer kiterjesztése volt néhánytest-rendszerekre, ami azonban korántsem volt triviális. A Fagyejev-egyenletek analogonja, amely a kéttest t-operátorokat tartalmazza a kölcsönhatások helyett, már a négytest-problémánál sem küszöböli ki a 6 egyenletből álló egyenletrendszer magjának szingularitását; a szingularitások részletesebb osztályozására van szükség. A módszert az N-részecske-rendszerre Fagyejev tanítványa, *O.A. Jakubovszkij* terjesztette ki [2]. Érdekes módon az orosz nyelven megjelent munkáról szélesebb körben csak Fagyejev 1968-as birminghami konferencián tartott meghívott előadásából értesülhetett a szakmai közösség.

A szingularitások osztályozásához szükség van a partíciók és partícióláncok fogalmának a bevezetésére. Az N-részecske-rendszer  $a_i$ ,  $i \geq 2$  partíciója az N-részecske felosztása  $i$  csoportra (fragmentumra, klaszterre). Ha egy  $a_k$  partíció úgy jön létre, hogy csoportjait további részekre osztjuk, akkor fennáll közöttük a reláció  $a_k \subset a_i$ . A partíciók egy  $\alpha_i = (a_i, a_{i+1}, \dots, a_{N-1})$  sorozatát partícióláncnak nevezzük, ha rendelkezik a következő tulajdonsággal  $a_i \supset a_{i+1} \supset \dots \supset a_{N-1}$ . (Közbevetőleg fontos megjegyezni, hogy N objektum, esetünkben részecskék, partíciói egy kétműveletes absztrakt algebrai struktúrát, egy hálót alkotnak, amelyben a két művelet a közös rész képzése és az egyesítés. A háló félig rendezett struktúra, a rendezési reláció pedig a  $\subset$  szimbólummal jelölt tartalmazás.)

Mivel az  $a_{N-1}$  partíció egyértelműen meghatároz egy részecskepárt, azok indexelésére is használható. Hasonló módon a rendszer  $a_i$  partíciója egy aszimptotikus csatornát határozhat meg, amelyben  $i$  kölcsönhatásban nem álló fragmentum van jelen. Ezért minden partícióhoz hozzárendelhetünk egy N-részecske-rendszert, amelyben csak a közös fragmentumban lévő részecskék hatnak kölcsön. Ezen aszimptotikus csatorna Hamilton-operátora

$$H_a = H_0 + V_a,$$

a kölcsönhatás pedig

$$V_a = \sum_{a_{N-1} \subset a} V_{a_{N-1}}.$$

A magreakciók elméleti tárgyalásához legjobban illeszkedő formalizmust *Bencze* találta meg, az általa levezetett egyenletek csak a kétfragmentumos csator-



1. táblázat						
A csatolt egyenletek száma különböző formalizmusoknál az $N$ részecskeszám függvényében						
	$N=3$	$N=4$	$N=5$	$N=6$	$N=7$	$N=8$
R	3	6	10	15	21	28
BRS	3	7	15	31	63	127
CG	4	14	51	202	876	4139
NY	3	18	70	325	651	1764
Y	3	18	180	2700	56700	1587600

N-részecske-formalizmusok:

R: Rosenberg, BRS: Bencze–Redish–Sloan, CG: Chandler–Gibson, NY: Naroyeckij–Jakubovszkij, Y: Jakubovszkij

nák T-operátorait csatolják össze, minden egyéb folyamat T-operátora az előbbiekből kvadratúrákkal nyerhető [3]. Ezek az egyenletek speciális esetként tartalmazzák a háromtest-probléma AGS (Alt–Grassberger–Sandhas) egyenleteit, valamint a Sloan-féle négytest-egyenleteket. Ugyanezekre az egyenletekre jutott egy évvel később *E.F. Redish* is. Az egyenleteket az irodalomban ma Bencze- vagy Bencze–Redish–Sloan (BRS) egyenleteknek nevezik.

A különböző N-részecskeegyenletek gyakorlati alkalmazhatóságát nagy mértékben befolyásolja a csatolt egyenletek száma. Esetenként azonban a csatolt egyenletek számának meghatározása a különféle formalizmusokban egyáltalán nem triviális probléma. Az N-részecske-szóráselméletben fellépő kombinatorikai problémákat Bencze tárgyalta [4]. Érdekesként érdemes megemlíteni, hogy a csatolt Jakubovszkij-féle egyenletek száma megegyezik a  $N$  objektum partíciói által alkotott partíciós hálóban a láncok maximális számával, amely korábban nem volt leszámolva.

Igen tanulságos összehasonlítani a csatolt egyenletek számát  $N$  függvényében a különböző formalizmusoknál (1. táblázat).

Az N-részecske-formalizmus a konkrét alkalmazások mellett bizonyos szemléletbeli változásokat is hozott magával. A korábban használt közelítő módszerek az egzakt formalizmus alapján szilárdabb elméleti alapokat kaptak, valamint új közelítő módszerek is megszülethettek. Ennek megfelelően mind a csatolt csatornák módszere, mind pedig az úgynevezett effektív háromtest-modellek pontosabban megfogalmazhatókká váltak az egzakt formalizmusnak köszönhetően. A mára már jórészt kiépített egzakt formalizmusról jó áttekintést ad Fagyejev és *Merkuriev* a témakört tárgyaló monográfiája.

## A Coulomb-szórásprobléma

A kéttest Coulomb-probléma analitikus alakban megoldható, ezért a precíz matematikai tárgyalás nehézségei jó ideig nem kaptak megfelelő figyelmet. A szórás határfeltétel szerint nagy távolságokra a hullámfüggvény aszimptotikus alakjának a beeső síkhul-

lám és a szórt gömbhullám szuperpozíciójához kell közelítenie:

$$\Psi(\mathbf{r}) \rightarrow e^{i\mathbf{k}\cdot\mathbf{r}} + f(\theta) \frac{e^{i\mathbf{k}'\cdot\mathbf{r}}}{r},$$

ez azonban a végtelen hatótávolságú Coulomb-kölcsönhatás esetén nem teljesül, vagyis érvényét veszti az az egyszerű, intuitív fizikai kép is, amelyet a rövid hatótávolságú potenciálon való szórással társítunk. A probléma Schrödinger-egyenletének analitikus megoldásából a következő aszimptotikus kifejezés adódik:

$$\Psi_c(\mathbf{r}) \rightarrow e^{i\mathbf{k}\cdot\mathbf{z} + i\gamma \ln k(r-z)} + f_c(\theta) \frac{e^{i\mathbf{k}'\cdot\mathbf{r} - i\gamma \ln kr}}{r},$$

ahol  $\gamma$  a szokásos Coulomb-paraméter,  $f_c(\theta)$  pedig a Rutherford-féle amplitúdó. A fizikai kép némi módosításával bevezethető a szórás amplitúdó és a differenciális hatáskeresztmetszet, a híres Rutherford-féle kifejezés. Az a körülmény, hogy a szórás amplitúdó zérus szögnel szinguláris, valamint nem definiálható totális hatáskeresztmetszet, már jelzi, hogy lényeges matematikai különbség van a véges hatótávolságú potenciálok és a Coulomb-kölcsönhatás fizikai tulajdonságai között.

*West* volt az első, aki felhívta a figyelmet arra, hogy Coulomb-potenciál esetén a kéttest-probléma Lippmann–Schwinger-egyenlete szinguláris, ezért az egyenlet módosításra szorul. A szinguláris tulajdonság abban mutatkozik meg, hogy a Coulomb szórás hullámfüggvény a homogén egyenletet elégíti ki, míg a Green-függvény az inhomogén egyenlet megoldása, azaz az egyenletre nem teljesül az úgynevezett Fredholm-alternatíva. Más szóval az egyenlet nem rendelkezik egyértelmű megoldással, és hasonló módosításra szorul, mint a háromtest Lippmann–Schwinger-egyenlet a Fagyejev-formalizmusban.

A Coulomb-szórás pontos matematikai tárgyalását *Dollard* dolgozta ki az időfüggő formalizmus keretében. Legyen  $H_c$  a Coulomb kéttest-probléma Hamilton-operátora:

$$H_c = H_0 + \frac{e_1 e_2}{r},$$

valamint legyen a Coulomb- és a „torzított szabad” propagátor rendre

$$W_c(t) = e^{-iH_c t}, \quad U(t) = e^{-iH_0(t)}.$$

Nyilvánvaló módon a „torzító tényező” úgy kell megválasztani, hogy a konvergencia feltétele teljesüljön.

*Dollard* hasonló módon bizonyította be, hogy sokcsatornás Coulomb-rendszerek esetére is definiálhatók mind a módosított csatorna hullámoperátorok, mind pedig a sokcsatornás rendszer szórásoperátora. Sajnos az időfüggő tárgyalásmód nem teszi lehetővé

a stacionárius formalizmusban  $N$ -test-integrálegyenletek levezetését.

A Fagyjev-egyenletek módosítását töltött részecskék jelenléte esetén elsőként *Noble* dolgozta ki, aki kihasználta azt a körülményt, hogy amennyiben csak két töltött részecske van a háromtest-rendszerben, a Coulomb–Hamilton-operátor rezolvense (Green-függvénye) analitikus alakban előállítható. Módosított egyenletei megőrizték a Fagyjev-egyenletek előnyös tulajdonságait. *Noble* ötlete nyomán *Bencze* a háromtest Coulomb-rezolvens egy csatornafüggő közelítését felhasználva bevezette a „csatorna torzítás közelítést” (*channel distortion approximation*, CDA), és lényegében Coulomb-torzított AGS-egyenletekre jutott. A CDA-közelítést később a BRS-formalizmus keretében az  $N$ -test-problémára is sikerült kidolgozni.

## Azonos részecskék a szóráselméletben

Két részecske akkor azonos, ha összes fizikai tulajdonságuk megegyezik, és semmiféle megfigyelés nem képes megkülönböztetni őket. Ez a megkülönböztethetlenség a kvantummechanikában egy többértelműséget, úgynevezett kicserélődési elfajulást (*exchange degeneracy*) eredményez, ha nem vezetjük be a szimmetrizálási posztulátumot: egy  $N$  azonos részecskét tartalmazó rendszer állapotai szükségképpen mind vagy szimmetrikusak vagy antiszimmetrikusak az azonos részecskék felcserélésével szemben. Az, hogy adott esetben szimmetria vagy antiszimmetria valósul meg, a részecske természetétől (spin) függ. Nyilvánvaló módon az azonos részecskékből álló rendszer Hamilton-operátora, valamint minden megfigyelhető mennyisége a részecskék minden permutációja esetén az előírt szimmetriával rendelkezik. Ezt a tényt a csoportelmélet nyelvén úgy szokás kifejezni, hogy az  $N$  azonos részecskékből álló rendszer minden fizikai állapota az  $S_N$  szimmetrikus csoport egydimenziós irreducibilis ábrázolása szerint transzformálódik. Ez a követelmény természetes módon általánosítható többféle azonos részecskét tartalmazó rendszerekre.

Kötött állapotú problémák tárgyalásánál a részecskék azonosságának figyelembe vétele alapvetően csak technikai kérdés: a Schrödinger-féle sajátérték-feladatot az  $N$ -részecske Hilbert-tér megfelelő szimmetriájú alterében kell megfogalmazni. Ezekről a módszerekről könyvtárnyi szakirodalom áll rendelkezésre, azonban mindegyik módszer a szimmetrikus csoport elméletének kiterjedt használatán alapul.

Szórásproblémáknál ezzel szemben a permutációs szimmetria figyelembe vétele egyáltalán nem triviális feladat, mivel a szórás hullámfüggvény aszimptotikus alakja (szórás határfeltételek) nem rendelkezik a megkövetelt permutációs szimmetriával az azonos részecskék változóiban. A hagyományos eljárás szerint ilyenkor a problémát meg kell oldani megkülönböztethető részecskék esetére, majd utólag felösszegezni a fizikailag megkülönböztethetetlen csatornák

járolékát („a kicserélődési tagokat”) az egyes hatáskeresztmetszetekhez. Világos azonban, hogy ez az eljárás nem oldja meg az alapvető fizikai problémát, és az első Born-közelítés esetétől eltekintve a gyakorlatban nem alkalmazható.

A néhányrészecske-szórás egyes egzakt megfogalmazásaiban a permutációs szimmetria beépíthető a szórás integrálegyenletekbe. Ennek eredményeképpen a csatolt egyenletek – a folyamat fizikai leírásához szükséges mennyiségek – száma csökken. Ha  $N$  kicsi, az egyenletek szimmetrizálása „nyers erővel” (*brute force*) is elvégezhető. Három azonos részecske problémájánál *Lovelace* redukálta a Fagyjev-egyenleteket egyetlen egyenletre, a négytest-problémánál a 18 csatolt *Jakubovszkij*-féle egyenletet fáradságos munkával *Harczenko* és *Kuzmicsev* vezette vissza mindössze két csatolt egyenletre.  $N$  azonos részecske esetében azonban nyilvánvalóan elkerülhetetlen absztrakt algebrai módszerek használata.

Tetszőleges  $N$  számú azonos részecske szórásának első explicit tárgyalását csoportelméleti módszerekkel *Bencze* és *Redish* adta meg a BRS-formalizmus keretében. Mivel azonban a permutációs (*exchange*) szimmetria nem dinamikai természetű, explicit tárgyalása nem függhet az  $N$ -részecske-egyenletek szerkezetétől. Ez a várakozás beigazolódott, *Bencze* és *Redish* a módszert kiterjesztve az  $N$ -részecske-integrálegyenletek egy széles osztályára kidolgozta az azonos részecske szórás általános algebrai elméletét [5].

A fentebb ismertetett megfontolások azt bizonyítják, hogy megfelelő csoportelméleti és algebrai módszerekkel a rendszer permutációs szimmetriája a dinamikai egyenletekbe is beépíthető. Mivel ebben az esetben a fizikai állapot jellemzésére kevesebb mennyiség szükséges, a csatolt egyenletek száma természetes módon csökken. A csatolt egyenletek számának meghatározása azonban ebben az esetben is nemtriviális kombinatorikai probléma, a feladat az indexhalmaz ekvivalenciaosztályainak leszámlálása.

A matematikai alapossággal kiépített  $N$ -test-szóráselmélet tehát soha nem fogja átvenni az atommagreakciók tárgyalásánál alkalmazott különféle heurisztikus modellek szerepét. A néhány nukleon-rendszerek tárgyalásánál jelenleg a négy nukleon-probléma vizsgálatára fordítanak nagy energiát, azonban itt sem lehet korlátlanul továbblépni nagyobb rendszerek felé.

Mindezen nehézségek ellenére fontos alkalmazást találhat az  $N$ -részecske-szóráselmélet a magreakciók elméleti tárgyalásában. Egy ilyen érdekes lehetőség a direkt magreakciók témakörében az úgynevezett „exchange mechanizmusok” vizsgálata. A hagyományos közelítő tárgyalásnál (pl. DWBA, CCBA) a kísérleti adatok interpretálásához szükség van egyes domináns reakciómechanizmusok figyelembe vételére. Az empirikus számításoknál azonban nem ismeretes az egyes mechanizmusokat leíró reakcióamplitúdók normalálása, illetve relatív súlya a hatáskeresztmetszetben. Az ilyen esetekben segítséget jelenthet az egzakt elmélet és az azon alapuló kombinatorikai megfontolá-

sok. Az első ilyen vizsgálatot Bencze és Chandler [6] végezték el és megmutatták, hogy a kicserélődési effektusok a reakció dinamikai tárgyalásától függetlenül tanulmányozhatók.

## Összefoglalás

A kvantummechanika kerek százéves története két részre osztható fel. Max Planck 1900-ban megfogalmazott kvantumhipotézisét követően az első fél évszázadban megszületett és szilárd alapokat nyert a kvantummechanika; az új elmélet pedig új szemléletmódot követelt meg. Nagy Károly professzor szavait idézve Max Planck „ajtót nyitott a kvantumok világára”. A kvantummechanika lehetővé tette az anyag szerkezetének feltárását és törvényszerűségeinek megértését. Az atomfizika és atommagfizika rohamos fejlődése szükségszerűen elvezetett az atomenergia felszabadításához, amelyben kulminált a kvantummechanika száz éves sikertörténetének első felvonása. Az első felvonásban lényeges szerep jutott a magyaroknak. Mint azt korábban már vázoltuk, a kvantummechanika elméleti megalapozásában kulcsszerep jutott Neumann Jánosnak, Wigner Jenőnek, majd később a Riesz Frigyes – Szőkefalvi Nagy Béla párosnak. A felsorolás azonban itt még nem ér véget, hiszen „az atomenergia magyar találmány” ahogy azt Alvin Weinberg, a reaktorfizika nagy alakja megfogalmazta. Az 1942. december 2-án kritikussá vált – azaz működőképesnek bizonyult – *Chicago Pile 1 Szilárd Leó és Enrico Fermi* alkotása. A Washington állambeli Hanfordban megépült szaporítóreaktort és még sok más típust Wigner Jenő tervezte. Neumann János és Teller Ede pedig a Manhattan-project vezéregyéniségei voltak. (Csak zárójelben említjük meg, hogy Teller Ede mellesleg „a hidrogénbomba atyja” is volt.)

A II. világháború befejezése után a figyelem ismét a fizika békés felhasználása, az alap kutatás felé fordult, és az 50-es évektől kezdődően az érdeklődés egyre inkább a szórás kísérletekre összpontosult, amelyek hamarosan a kvantumos effektusok kutatásának leghatékonyabb eszközeivé váltak. Nagy szükség lett tehát kvantum-szóráselméletre, ezen belül pedig olyan közelítő módszerekre, amelyek segítségével a kísérleti eredményeket értelmezni lehetett. Létrejött az úgynevezett „formális szóráselmélet”, amely megalapozta a közelítő módszerek numerikus alkalmazását. A Born-közelítés, a torzított hullámú Born-közelítés (DWBA), a csatolt csatornák módszere lassanként külön iparággá vált, amelyben nagy szerep jutott a rohamosan fejlődő számítástechnikának és az egyre szélesebb körben elérhetővé vált nagy teljesítményű számítógépeknek. Az alkalmazott közelítő módszerek azonban alapvetően kéttest-szemléletmódon alapultak, mivel, ahogy azt a korabeli publikációk mindegyikében mentegetőzésképpen megjegyezték: „a háromtest-probléma megoldása igen bonyolult”.

Ebbe a viszonylag nyugodt és békés tevékenységbe robbant be 1959-ben a 25 éves L.D. Fagyeev, aki

kidolgozta a kvantum háromtest-szórásprobléma szigorú matematikai elméletét, és ezzel új lendületet adott a szóráselmélet kutatásának. Ahogy Fagyeev munkáját C. Lovelace közvetítése nyomán a nyugati világ megismerte, lázas munka kezdődött a háromtest-probléma elmélete és annak alkalmazása terén. Az 1968-ban Birminghamban rendezett *Three Body Problem in Particle and Nuclear Physics* konferencián Fagyeev meghívott előadásában már új fejleményekről számolt be a Coulomb-szórásprobléma valamint az N-test-probléma terén.

A fejlődés ezután felgyorsult, egyre-másra születtek meg az N-részecske-integrálegyenek, valamint a Coulomb-probléma megoldására irányuló egzakt és közelítő módszerek. A fejlődésnek ebben az intenzív szakaszában ismét jelen voltak magyar kutatók, a *Budapest csoport* eredményei a fejlődés minden szakaszában figyelmet keltettek a szakmai körökben. E sikeres tevékenység alapját a kiváló nemzetközi kapcsolatok fektették le. A magyar kutatók egyaránt megfordultak Saclay-ban a francia Magkutató Központban, a dubnai Atommagkutató Intézetben, a Helsinkii Egyetem Elméleti Fizikai Kutatóintézetében, a jülichi Magkutató Intézetben, Los Alamosban és számos amerikai és kanadai egyetemen. A közös kutatások anyagi feltételeit a külföldi intézményeken kívül az MTA és az amerikai National Science Foundation közötti együttműködési szerződés teremtette meg majd két évtizedig.

A kvantummechanika száz éves történetének második felvonása tehát szintén sikerrel zárult: megszületett az N-test-szórásprobléma tárgyalásának elméleti eszköztára, a konkrét alkalmazások már a soktest-probléma szemléletmódjához igazodnak, és lényeges előrelépés történt a Coulomb-probléma terén is. Sajnos jelenleg még nem létezik minden esztétikai igényt kielégítő, matematikailag szigorú, valamint a gyakorlatban könnyen alkalmazható Coulomb-szóráselmélet, de az idő majd meghozza ezt is. A fejlődésnek azonban nincs vége, hiszen a kísérletek mindig szolgálnak valami új eredménnyel, aminek értelmezése további feladatot jelent a kutatók számára.

## Irodalom

1. Л.Д. Фаддеев: *Математические вопросы квантовой теории рассеяния для системы трех тел.* SZUTA Sztjeklov Mat. Int. Közleményei, Moszkva 1963. (angolul L.D. Faddeev: *Mathematical Aspects of the Three-Body Problem in Quantum Scattering Theory*, Israel Program of Scientific Translations, Jerusalem, 1965.)
2. О.А. Якубовский: Об интегральных уравнениях теории рассеяния для N частиц. *ЯФ* 5 (1967) 1312. (O. A. Yakubovskii, On the integral equations in the theory of N particle scattering. *Soviet J. Nuclear Phys.* 5(1967)1312.)
3. Gy. Bencze: Integral Equations for N-Particle Scattering. *Nucl. Phys.* A210(1973)568.
4. Gy. Bencze: Combinatorial Problems in N-Particle Scattering. *Phys. Lett.* 72B(1977)155.
5. Gy. Bencze, E.F. Redish: General Algebraic Theory of Identical Particle Scattering. *J. Math. Phys.* 19 (1979) 1909., Gy. Bencze: *General Algebraic Treatment of Identical Particles in Scattering Processes, in Few-Body Nuclear Physics.* IAEA, Vienna, 1978. 113–153. old.
6. Gy. Bencze, C. Chandler: On the Treatment of Exchange Effects in Direct Reactions. *Phys. Lett.* 154B(1985)347.

# AZ ÉV ŰRTÁVCSÖVE, A GLAST

Horváth István  
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem  
Karcsai Balázs  
Eötvös Loránd Tudományegyetem

Az idei év nagy áttörést hozhat a nagyenergiás fizikában, földön és égen egyaránt. A CERN huszonzét kilométer kerületű köralagútjában hamarosan beindul a valaha épített legnagyobb részecskegyorsító, a *Nagy Hadronütköztető* (Large Hadron Collider, LHC), és mire ezek a sorok megjelennek, Föld körüli pályára áll a szintén nemzetközi együttműködésben megépült *GLAST*-kutatóműhold (1. és 2. ábra), amellyel olyan nagy energián nézhetünk körül az Univerzumban, amelyre eddig nem volt lehetőségünk. A rövidítés a *Gamma-ray Large Area Space Telescope* (*Nagylátóterű Gamma Űrtávcső*) nevet takarja, ami néhány hónappal a fellövés után lehet, hogy megváltozik, ugyanis a küldetést irányító NASA pályázatot írt ki egy, a széles közönség által is jobban megjegyezhetőre. Lehet, hogy a jelenlegi elnevezés piaci szempontból nem a legszerencsésebb, viszont kellőképpen beszédes. A *GLAST* egyszerre az égbolt igen nagy hányadáról képes összegyűjteni a felé tartó nagyon nagy energiájú gamma-fotonokat, keményebbeket, mint amilyeneket eddig észlelhettünk.

Már az 1940-es években nyilvánvaló volt, hogy az Univerzumban lezajló különféle folyamatok során nagy számban keletkeznek gamma-fotonok (néhány tucat



1. ábra. A *GLAST*-műhold sematikus képe

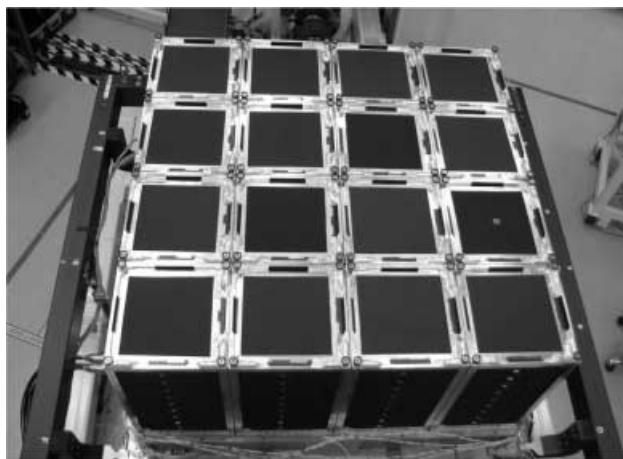
keV energia felett nevezzük így az elektromágneses sugárzást), azonban gyakorlati megfigyelésük csak az 1960-as években, az űrtechnika fejlődésével vált lehetővé. Ennek oka, hogy a kozmoszból érkező gamma-sugárzás nem képes áthatolni a Föld légkörén, így megfigyelése csak űreszközök alkalmazásával lehetséges. Az 1970-es évektől kezdve egyre nagyobb teljesítményű űrszondák (*Vela*, *Venera*, *PVO*, *HEAO*) vizsgálták a fény legnagyobb energiájú tartományát, de a folyamatos technikai fejlődés hirtelen megtorpant. Amióta 2000 júniusában befejeződött az amerikai *Compton-űrtávcső* (*Compton Gamma Ray Observatory*, *CGRO*) majdnem egy évtizeden keresztül tartó küldetése, nem volt olyan műhold, amely komoly vizsgálatokat tudott volna végezni az úgynevezett távoli gamma-tartományban.

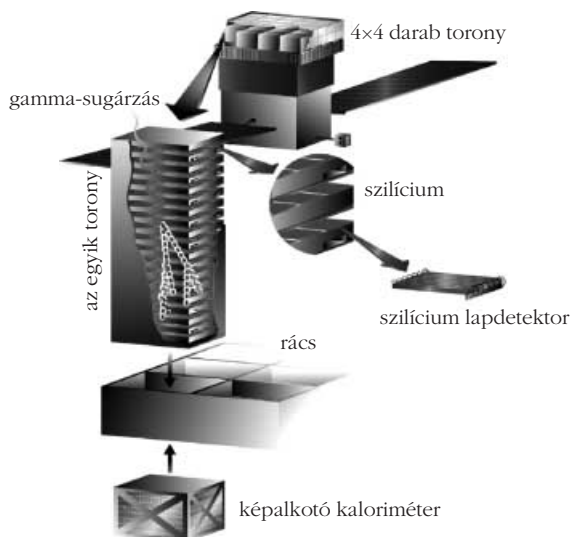
Az amerikai, francia, japán, német, olasz és svéd költségvetésből elkészült *GLAST*-űrobszervatórium újabb lendületet ad a nagyenergiás asztrofizikának, amely terület az utóbbi évtizedben megfelelő műszer híján kevés új felfedezéssel szolgált. Nem csak pótolja elődjét, de felül is múlja annak képességeit. Két műszere közül a *Large Area Telescope* (*LAT*) az, amelytől az igazi szenzációt várják (3. ábra). Mérési tartományának felső határa 300 GeV fölött van, és az égboltnak egyszerre igen jelentős részét, nagyjából az egyötödét tudja megfigyelés alatt tartani. Ez utóbbi azért rendkívül fontos, mert a pontos méréshez sok detektált fotonra van szükség, ami halvány, de folyamatosan emittáló források esetében évekig tartó megfigye-

2. ábra. A *GLAST* összeszerelve várja a csomagolást



3. ábra. A *LAT* tizenhat tornya





4. ábra. A LAT-detektor felépítése és működési elve

lést is igényelhet. Kiegészítő műszere a *GLAST Burst Monitor* (GBM) detektorrendszere, ami főként a gamma-kitörések megfigyelésében jut fontos szerephez.

A GLAST küldetését a NASA Goddard Space Flight Center (GSFC) felügyeli, a projektvezetők *Steve Ritz* és *Kevin Grady*. A műszereket hordozó műholdat a General Dynamics Advanced Information Systems készítette, a teljes repülősúly négy tonna. A Föld körüli keringési pálya alacsony, magassága a felszíntől mintegy 550 km, inklinációja 28,5 fok. A mért adatok és a feldolgozásukhoz szükséges programok a nyilvánosság számára is elérhetőek lesznek a GLAST Science Support Center honlapján, a Guest Investigator programhoz pedig bárki csatlakozhat, akinek kutatómunkája a GLAST méréseire épül.

## Egyenesen a részecskegyorsító mellől

Mielőtt ízelítőt adunk azokból a jelenségekből, amelyeket az új űrteleszkóp vizsgálni fog, vessünk egy rövid pillantást a mindezt lehetővé tevő technikai háttérre! A GLAST fő műszere, a LAT működési elve nem véletlenül hasonló ahhoz, amit jelenleg a földi részecskegyorsítók melletti detektoroknál is gyakran alkalmaznak, ugyanis még a kilencvenes évek elején, a Stanfordi Lineáris Részecskegyorsító Központban (SLAC) megépítendő gyorsító mellé tervezték. A kezdeti elképzelések pénz hiányában végül nem valósulhattak meg, de *Peter Michelson* jelenlegi kísérletvezető és néhány társa észrevette a lehetőséget a technológia világűrben történő alkalmazására. Mivel a gamma-fotonok pontos észleléséhez sok detektoranyagra van szükség, a LAT tömege eléri a három tonnát, ami a műhold teljes tömegének háromnegyede.

Az egymás mellett rácsszerűen elhelyezkedő tizenhat detektortorony valamelyikébe beérkező foton egy vékony fémlapba ütközve elektron–pozitron párokat kelt, amelyek az egymásra helyezett szilíciumlapocskákra áthaladva apró elektromos impulzusokat hoznak létre, ezek mérésével kiszámolható a töltött ré-

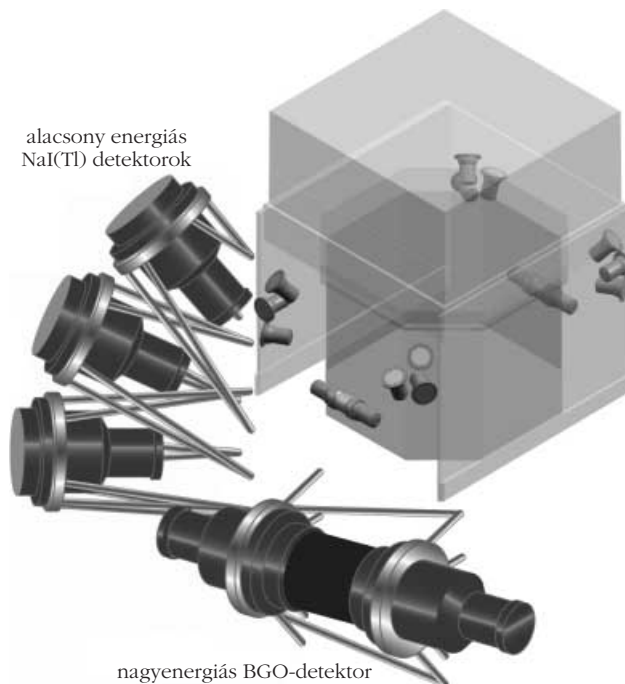
szecskek útvonala. Ezután egy cézium-jodid kaloriméterbe érve adják le energiájukat. A kapott adatokból nagy pontossággal meghatározható az eredeti, magányos foton iránya és energiája (4. ábra).

A LAT mindenben felülmúlja az egy évtizeddel ezelőtti, hasonló céllal készült elődjét, a CGRO Energetic Gamma Ray Experiment Telescope (EGRET) műszerét. Jóval halványabb forrásokat is képes azonosítani, és egy teljes nagyságrenddel magasabb energiahatárig tud mérni, akár 300 GeV feletti fotonokat is detektál (az észlelés alsó határa 20 MeV). Ez az érték nagyjából százezermilliószorosa a látható tartományba eső fényrészecskek energiájának, és majdnem kétszerese annak az energiának, ami ekvivalens az eddig felfedezett legnehezebb elemi részecske, a top kvark nyugalmi tömegével. Mérési pontossága arányos a beérkező fotonok energiájával, a felső méréshatár közelében mindössze egytized fok. A két detektálás közötti holtidő 100 mikroszekundum, ez ezerszer kisebb, mint az EGRET-é volt, és képessé teszi arra, hogy gyorsan változó jelenségek emisszióját is nagy pontossággal megmérje.

A LAT látótere az égbolt igen jelentős részét, körülbelül 20%-át lefedi, a GLAST keringési pályáját pedig úgy állítják be, hogy nagyjából háromóránként a teljes égboltot végigpásztázza. Emellett a műhold arra is képes, hogy huzamosabb időn keresztül egy meghatározott pont irányába forduljon, amennyiben a kutatók folyamatos megfigyelésre érdemes jelenségre bukkannak.

A GLAST másik műszere, a GBM a NASA Marshall Space Flight Center (MSFC) kutatóközpontjában épült meg. A kísérlet vezetői *Charles Meegan* és *Jochen Greiner*. A gamma-kitörések vizsgálatára készült GBM tizennégy darab szcintillációs detektorból áll (5. ábra bal alsó része), amelyek mérési tartománya 8 keV és 25 MeV közé esik. Ezeket úgy helyezték el a műhold

5. ábra. A GBM detektorai és elhelyezkedésük a GLAST-műholdon



oldalain, hogy együttes látóterük teljesen lefedje az égboltnak azt a részét, amelyet a Föld éppen nem árnyékol le (5. ábra jobb felső része). Az elrendezés további sajátossága, hogy bármely irányból érkező felvillanást egyszerre legalább négy detektor is észlel. Ez lehetővé teszi, hogy a háromszögelés módszerével rövid idő alatt nagy pontossággal meghatározza a hirtelen felvillanó gamma-kitörések helyzetét, ugyanis a különféle irányokba álló detektorok felületére eltérő mennyiségű foton esik be. A tizenkét nátrium-jodid (NaI(Tl)) detektor és a két darab, nagyobb energiatarományban megbízhatóbb bizmut-germánát (BGO) szcintillátor (6. ábra) igen jó időbeli és energia szerinti felbontással szolgál a megfigyelt kitörések lefolyásáról.

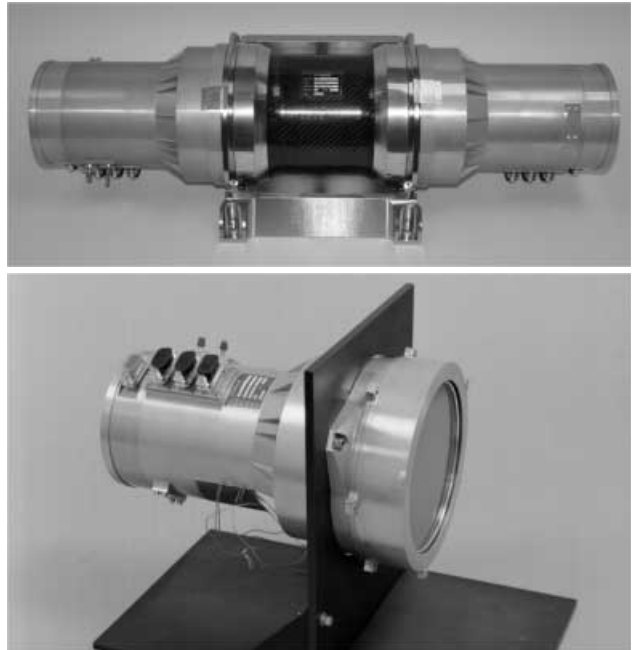
A GBM hasonló funkciót tölt be a GLAST fedélzetén, mint egy évtizeddel korábbi elődje, a CGRO Burst and Transient Source Experiment (BATSE) műszere, amelynek mindmáig a legnagyobb összefüggő gammakitörés-adatbázist köszönhetjük. A két műszer közötti különbség leginkább abban nyilvánul meg, hogy a GBM hamarabb és pontosabban tudja meghatározni a kitörések irányát, mint a BATSE, így jelzésére a LAT és más egyéb távcsövek hamarabb tudnak az adott irányba fordulni.

## Kiterjedt gamma-források az égbolton

Mivel minden eddiginél nagyobb energiákon és nagyobb pontossággal képes vizsgálni az Univerzumot, a GLAST igazán nagy horderejű felfedezéseit a LAT-detektortól várják. A korábbi űrteleszkópok megfigyelései több asztrofizikai kérdést vetettek fel, mint amennyit megválasoltak, valamint a földi részecskegyorsítóknak elért és még inkább az elérni vágyott eredmények is inspirálóan hatnak a kutatásokra. Az írás további részében bemutatunk néhány területet, amelyeken az általános vélekedés szerint új felfedezések várhatók.

Nem kell azonnal kozmológiai távolságokba néznünk, hogy gamma-sugárzás forrásaira bukkanjunk. A Tejútrendszerben található csillagközi gázfelhők bár nem túl intenzív, relatíve nagy méretük miatt mégis jól észlelhető sugárzást produkálnak ebben a tartományban. Ennek oka, hogy a minden irányból egyformán érkező kozmikus sugárzás nagy sebességre felgyorsult töltött részecskéi a gázfelhők molekuláinak ütközve energiájukat ebben a formában adják le. A 7. ábrán egy szimuláció látható arról, milyennek fogja látni az égboltot a LAT egy évnyi folyamatos megfigyelés után. A középső fényes, vízszintes sáv a mi galaxisunk, láthatóan ez adja az állandó gamma-háttér nagy részét.

Amellett, hogy a GLAST rendszeresen végigpásztazza majd az égboltot új gamma-források után kutatva, az aktív galaxismagok biztos célpontot jelentenek számára. Jól ismert tény, hogy a galaxisok centrumában hatalmas, szupernehéz fekete lyukak találhatók, amelyek tömege Napunkénak több milliárdszorosa is lehet. Közvetlen környezetük a galaxis kialakulásának korai időszakában igencsak nyugtalan hely: a nagy mennyiségben befelé áramló és a fekete lyuk körül

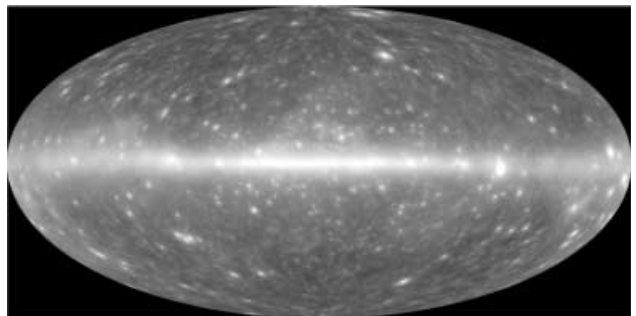


6. ábra. A GBM egyik bizmut-germánát detektora fölül és nátrium-jodid detektora alul

keringő anyag a perdület megmaradás miatt nem tud azonnal belezuhanni a fekete lyukba, így egy forró korongba (akkréciós korong) tömörül össze. Miközben innen lassan spirálózva áramlik befelé, jelentős része egy máig tisztázatlan folyamat következtében – vélhetően a szupernehéz központi objektum forgási energiáját felhasználva – a fénysebesség közelébe gyorsul, és a forgástengely irányában, egy szűk nyalábban (jet) elhagyja a galaxis központját (8. ábra). A kispriccelő részecskék a hosszabb hullámhosszú fotonoknak ütközve átadják energiájuk egy részét (inverz Compton-szórás), amelyek így a gamma-tartományba kerülnek, detektálásuk pedig közelebb vihet a galaxismagban lezajló folyamat pontosabb megismeréséhez.

Ennél azonban közvetlenebbül is nyomába eredhetünk a fekete lyukaknak. *Stephen Hawking* egyre általánosabban elfogadott elmélete szerint a fekete lyukak valójában mégsem annyira feketék, hanem a kvantummechanika és a gravitáció közötti kapcsolat miatt sugárzást bocsátanak ki, vagyis szépen lassan elpárolognak. Minél kisebb a fekete lyuk tömege, a jelenség annál intenzívebb. Ha léteznek miniatűr, az Univer-

7. ábra. A szimuláció szerint ilyenek látja majd a GLAST az égboltot: a középső vízszintes sáv a Tejút csillagközi gázfelhőire, míg a sok elszórt folt az aktív galaxismagokra utal.





8. ábra. Egy aktív galaxismag vázlatos rajza

zum keletkezésekor nagyjából aszteroidnyi tömeggel rendelkező fekete lyukak, akkor ezeknek jelenleg a gamma-tartományba eső sugárzást kell kibocsátaniuk. Ennek esetleges kimutatásával a GLAST kísérleti bizonyítékot szolgáltatna a kvantum-térelméletnek és a gravitációnak az elméletben kimutatott kapcsolatára.

## Modern részecskefizika, gyorsító nélkül

A részecskefizika jelenleg elfogadott standard modelljében felmerülő hiányosságokat annak szuperszimmetrikus kiterjesztéseivel próbálják orvosolni. Ezek az elméletek azt állítják, hogy minden eddig megismert elemi részecskének létezik egy nála sokkal nagyobb tömegű szuperpartnere. A hamarosan beüzemelő új gyorsítótól, az LHC-től várják e különleges részecskék legkönnyebb tagjainak felfedezését is. A keresésre azonban más lehetőség is kínálkozik. Közvetlenül az ősrobbanás után a természetben is föllépett olyan magas energiájú állapot, mint ami a CERN gyorsítójának protonütközéseiben előáll. A szuperszimmetrikus részecskéknek – amennyiben léteznek – ott is létre kellett jönniük, és mivel ezek legkisebb tömegű tagja egymagában már nem bomolhat el kisebbekre, nagy valószínűséggel még most is megtalálható körülöttünk. Régóta bizonyos, hogy az Univerzumban megfigyelhető struktúrák (galaxisok és galaxishalmazok) létrejöttéhez sokkal több anyagra van szükség, mint amennyit a kibocsátott fénye alapján távcsöveinkkel közvetlenül meg tudunk figyelni. Ha feltételezzük, hogy a hiányzó sötét anyag egy részét gázfelhők, fekete lyukak és egyéb sűrű objektumok alkotják, akkor is csak mintegy tíz százalékát magyaráztuk meg a szükséges gravitáló anyagmennyiségnek. A maradék kilencven százalékra jó eséllyel pályáznak ezek a hagyományos anyagfajtákkal szinte alig kölcsönható szuperszimmetrikus részecskék.

Bár műszereink közvetlenül nem érzékelhetik őket, detektálásukra mégiscsak ígérkezik lehetőség, ugyanis ezek saját maguk antirészecskéi is egyben. Véletlen ütközéseikkor megsemmisülnek, és a legegyszerűbb esetben két, a részecskék nyugalmi tömegével meg-

egyező energiájú gamma-foton indul útjára, egymással ellentétes irányban. Amennyiben a GLAST egy ilyen jól meghatározott energián a háttérzajnál sokkal több foton észlel, az egyértelmű jele lehet egy eddig ismeretlen részecske létezésének. Ennek megtalálásában segít, hogy a sötét anyag a láthatóhoz hasonlóan csomókba sűrűsödik, így a galaxisok irányából több fotonnak kell érkeznie. Ha időközben a CERN laboratóriumaiiban sikerülne ilyen részecskéket találni, a GLAST méréseivel könnyen eldönthető lenne, hogy azok képesek-e kozmológiai időtávlatokban is szerepet játszani.

A földiekhez igen hasonló részecskegyorsítót találunk a világuűrben is. A pulzárak, vagyis a gyorsan forgó, nagy mágneses térrel rendelkező fiatal neutroncsillagok a töltött részecskéket sokkal nagyobb energiára tudják felgyorsítani, mint amire az LHC képes lesz. Az itt végbemenő, mindezidáig ismeretlen reakciók vizsgálatára jó lehetőséget nyújt az azokban létrejövő gamma-sugárzás megfigyelése.

## Néhány igazolásra váró elmélet

*Einstein* speciális relativitáselméletének alapgondolata, miszerint a fizika törvényei minden állandó sebességgel mozgó megfigyelő számára azonosak, maga után vonja, hogy a fény vákuumbeli terjedési sebessége független a hullámhosszától. A gravitáció kvantumelméletében ez azonban már nem teljesül. A legkisebb méretskálán a tér-idő nem sima, hanem fluktuál, amire a nagyobb energiájú (vagyis kisebb hullámhosszú) fotonok sokkal érzékenyebbek. Így két megadott pont közötti út számukra hosszabbnak tűnik, vagyis azonos időben történő kibocsátásuk ellenére egy kicsivel később fognak megérkezni, mint kisebb energiájú társaik. A később tárgyalandó gamma-kitörések ideális fényforrásul szolgálnak a jelenség megfigyeléséhez, ugyanis nagyjából azonos időben nagy mennyiségű, különféle energiájú gamma-sugárzást bocsátanak ki. Mivel legtöbbször tőlünk igen távol – több milliárd fényévnire – következik be, az amúgy apró effektus már mérhetővé válik, egyes jóslatok szerint az alacsony- és nagyenergiás fotonok beérkezése közötti időkülönbség a tíz millisekondumot is meghaladhatja, amit a LAT-detektor már könnyedén kimutat.

Egyes fizikai elméletek szerint léteznek a tér-időnek olyan extra térdimenziói, amelyek a hétköznapi anyag viselkedését nem befolyásolják, azonban ha ezen dimenziók mérete kellőképpen nagy, a gravitációban fontos szerepet játszhatnak. Ezek szerint a gravitációs kölcsönhatás közvetítő részecskéjének, a gravitonnak van egy különös testvére (a Kaluza–Klein-graviton), amely ebben a megnövelt dimenziószámú térben terjed. Szupernóva-robbanásokban és egyéb nagy energiakibocsátással járó eseményekben ilyen részecskék is szép számmal keletkezhetnek, amelyek azután már ismert részecskékké, köztük gamma-fotonokká bomlanak. Ha a GLAST érzékeny műszere nem talál ilyen jelenségre utaló nyomot, az erősen megkérdőjelezi ezen elméletek egy részének létjogosultságát.

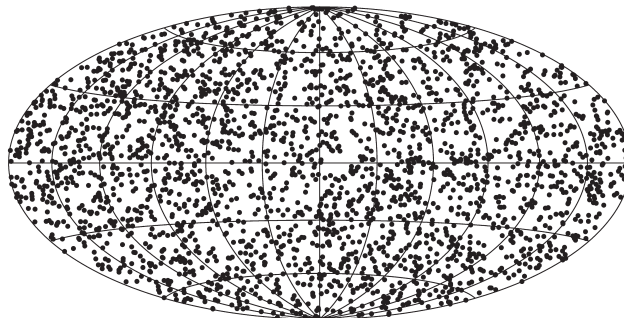
Nagy energiákon olyan folyamatok is bekövetkeznek, amelyeknek valószínűsége máskülönben gyakorlatilag nulla – ilyen a fénny-fénny kölcsönhatás is. A világűrben terjedő energikus gamma-fotonok kölcsönhatásba lépnek a csillagok fényével, és elektron–pozitron párokat keltenek. Ez azt eredményezi, hogy nagy távolságokon a Világegyetem részben átlátszatlanná válik a gamma-tartományban – természetesen az effektus rendkívül kicsi. De ahhoz talán elégnék tűnik, hogy amennyiben a GLAST nagyszámú távoli aktív galaxis gamma-spektrumát megméri, abból következtetni lehessen arra, mennyire tölti ki az Univerzumot az ultraibolya és a látható tartományba eső fény. Ebből közvetve meghatározható lenne, hogyan alakult a csillagképződési aktivitás a kozmológiai időskálán.

## A még ma is titokzatos gamma-kitörések

A gamma-kitörések (GRB, azaz gamma-ray burst) megfigyelése a GLAST kiemelt feladatai között szerepel. Felfedezésük a véletlennek és közvetve a hidegháborúnak köszönhető. Négy évvel azután, hogy a nagyhatalmak 1963-ban aláírták a kísérleti atomrobbantások korlátozásáról szóló egyezményt, az Egyesült Államok felbocsátotta a gamma-detektorokkal felszerelt Vela katonai műholdcsaládot, amelynek célja az volt, hogy leleplezze a Szovjetunió esetleges űrbéli atomkísérleteit. A műszerek rövid idő alatt több eseményt is észleltek, azonban hamarosan bebizonyosodott, hogy a detektált gamma-fotonok nem származhatnak a keresett nukleáris robbantásokból. A láthatólag a világűr minden irányából érkező, igen rövid ideig tartó, ellenben rettentően nagy energiájú felvillanások – nemzetvédelmi okokból – csak évekkel később kerülhettek először publikálásra.

A gamma-kitörések felfedezése után több csillagászati kutatóműholdon helyeztek el gamma-detektorokat, az első kizárólag e célra készített eszköz az 1991-től 2000-ig üzemelő Compton-űrtávcső volt, amely már működésének első három hónapja alatt több kitörés irányát és spektrumát határozta meg, mint amennyit annak előtte ismertek. Fedélzetén négy műszer kapott helyet, amelyek közül a legfontosabb a nyolc darab nagy felületű nátrium-jodid (NaI) detektorból álló Burst And Transient Source Experiment (BATSE) volt. A detektorokat a téglatest alakú CGRO sarkain helyezték el, így egy adott kitörést több detektor is észlelt. Ezek együttes adataiból nagy pontossággal meghatározhatták a kitörések irányát. Kiderült, hogy eloszlásuk az égbolton izotróp (9. ábra), amely azonnal rácaffolt azon elméletekre, amelyek szerint a kitörések forrása a galaxisunk magjában vagy tányérjában volna.

Időbeli lefolyásuk szerint az egyes felvillanások két jól elkülönülő – bár némileg átfedő – csoportba sorolhatók. Az első típus igen rövid ideig, néhány tized másodpercig (átlag 0,3 másodperc) fénylik fel, és rendkívül nagy energiájú fotonok kisugárzásával jár. A második típus ellenben két másodpercnél is tovább



9. ábra. A gamma-kitörések izotróp eloszlása az égbolton

tart (átlag 3 másodperc), viszont a kibocsátott fotonok energiája alacsonyabb az elsőénél. Mindebből arra lehetett következtetni, hogy a megfigyelt gamma-kitörések két, egymástól különböző fizikai folyamatban jöhetnek létre. Több kutató – köztük a cikk egyik szerzője – ezen is túlmegy, és a rendelkezésre álló adatok alapján háromféle kitöréstípus mellett érvel.

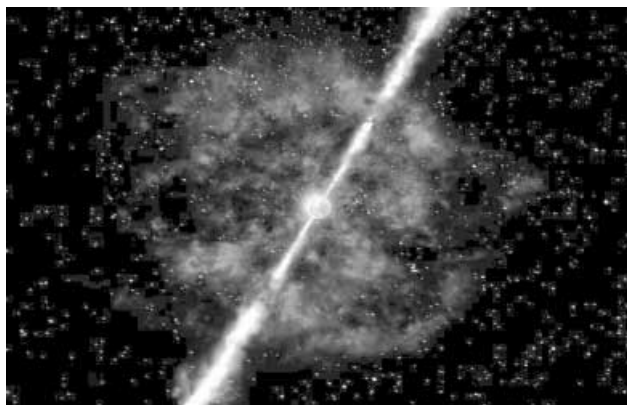
A felvillanások eredetére több elmélet is megpróbált magyarázatot adni, azonban mindegyik azt jósolta, hogy a hirtelen gamma-kitöréseket alacsonyabb hullámhosszú utófénylésnek kell kísérnie. 1997-ben a holland–olasz együttműködésben épült BeppoSAX műhold röntgensugárzást tapasztalt egy nem sokkal azelőtt felfénylött gamma-kitörés helyén. Később optikai hullámhosszakon is megfigyelték a jelenséget, és megállapították, hogy a kitörések távoli galaxisokból származnak. Vöröseltolódás-mérések alapján kiderült, hogy a sugárforrások átlagos távolsága nyolcmilliárd fényév, de találtak olyan kitörést is, amelynek fénye több mint tizenkétszáz évvel utazott ideig. A kitörések kozmikus eredete ezzel bizonyosságot nyert.

Napjainkban a Swift és a HETE-2 műholdak már statisztikai szempontból is sok kitörésnél figyeltek meg utófényt és mértek meg vöröseltolódást. Az amerikai Swift műhold mérte meg a jelenleg ismert kitöréstávolságoknak több mint kétharmadát, azonban az alacsony költségvetés miatt a gamma-tartományban komoly mérések végzésére nem alkalmas, érzékenységének felső határa mindössze 150 keV. Érdeemes megemlíteni, hogy a Swift által mért vöröseltolódások átlaga ( $z = 2,6$ ) jelentősen eltér a más műholdak által mértektől ( $z = 1,2$ ).

A távoli eredet miatt le kellett vonni a következtetést, miszerint a gamma-kitöréseket kiváltó folyamatban sokkal rövidebb idő alatt, sokkal nagyobb energia szabadul fel, mint amekkorát bármely eddig ismert folyamat megenged. Ha az energiakibocsátást izotrópnak feltételezzük, ez nagyjából azzal egyenértékű, mintha a Nap teljes tömege néhány tized másodperc alatt szétsugárzódna (kb.  $10^{51}$ – $10^{54}$  erg). Az energia ilyen mértékű felszabadulására két általánosan elfogadott elmélet létezik.

A hosszabb ideig tartó, de lágyabb, azaz az energia nagy részét inkább kisebb energiájú fotonokban kisugárzó kitöréstípust az úgynevezett hipernóva jelenséggel magyarázzák. Ha egy legalább negyven naptömegű csillag elégeti nukleáris fűtőanyagát, az végül fekete lyukká esik össze. Amennyiben a csillag tengely



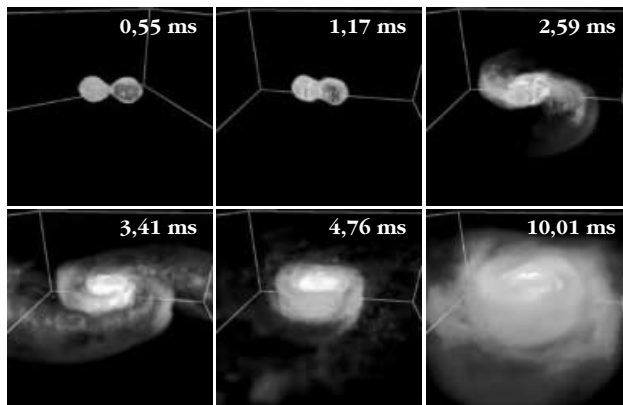


10. ábra. Hipernóva a két jettel

körül forgása gyors, a bezuhanó anyag egy úgynevezett akkréciós korongba sűrűsödik össze. Ekkor a csillaganyag jelentős része az egyenlítő síkjában, spirális pályán száguld a középpont felé, ami a hatalmas gravitációs erő következtében egyfajta generátorként működik. Vagyis energiává alakítja az akkréciós korong anyagának egy részét, két igen vékony, forgástengely irányú nyalábbb (jet) kisugározva azt (10. ábra).

Ezt az elképzelést támasztja alá, hogy a pontosabb megfigyelések szerint az ilyen kitörések a galaxisoknak azon aktív vidékeiről származnak, ahol éppen csillagkeletkezés folyik. Ugyanis itt jönnek létre azok a nagy tömegű, éppen ezért igen rövid életű csillagok, amelyek halálakor megfigyelhető a jelenség. Egy másik bizonyíték, hogy több ilyen kitörés helyén egyúttal szupernóva-robbanást is megfigyeltek, ennek közepén marad végül a fekete lyuk. Az pedig, hogy a gamma-sugárzás csupán két szűk nyalábbbban indul útjára, jelentősen, akár három nagyságrenddel is csökkenti a kitöréshez szükséges energiámmennyiségét. Ez persze azt is jelenti, hogy csak akkor vesszük észre a jelenséget, ha a jetek éppen felénk mutatnak.

12. ábra. A GLAST-ot majd pályára állító rakétatípus, a Delta II



11. ábra. Két neutroncsillag összeolvadása

A rövid, de keményebb kitörések keletkezését neutroncsillag-kettősök összeolvadásával próbálják magyarázni (11. ábra). A neutroncsillag nagy – de az előbb említetteknel jóval kisebb – tömegű csillagok halálakor keletkezik, anyaga sűrűbb, mint bármi másé az Univerzumban. A két, egymás körül keringő neutroncsillag az általános relativitáselmélet szerint gravitációs hullámokat sugároz ki, amelynek következtében energiát veszít, és spirális pályán egyre közelebb kerül egymáshoz. Az ütközéskor fekete lyuk keletkezik, körülötte egy hatalmas, relativisztikus sebességgel táguló tűzgolyóval, amely a környező gázcsomóknak ütközve gamma- és röntgensugárzást bocsát ki. A mérések alapján az ilyen típusú gamma-kitörések általában nem jönnek olyan messziről, mint a hosszúak, és keletkezési helyük is változatosabb. Az egyik probléma ezen elgondolással nem az, hogy miképpen tud néhány tized másodperc alatt ennyi energiát kibocsátani a rendszer, hanem az, hogy miért nem rövidebb idő (ezredmásodpercek) alatt történik az emisszió.

A jelenleg szolgálatot teljesítő, gamma-kitörések megfigyelésével foglalkozó űrteleszkópok nem képesek arra, hogy a gamma-tartományban jó felbontást adjanak. Utoljára nyolc évvel ezelőtt, a CGRO végzett részletes megfigyeléseket, jelenleg is e műszer nevéhez fűződik a legnagyobb kitörés-adatbázis. A GLAST várhatóan mind az adatok terjedelmében, mind a részletességében meghaladja majd elődjét, és segítségével pontosabb ismereteink lesznek arról, mi zajlik le abban a néhány másodpercben, amelyben annyi energia szabadul fel, amihez hasonlót sehol máshol nem látunk. A 12. ábra egy ugyanolyan Delta II rakéta fellövését mutatja, mint amilyen majd pályára állítja a GLAST-műholdat. A címképen a rakéta orr-részeiben elhelyezett GLAST látható.

A GLAST két műszere, a LAT és a GBM jól kiegészítik egymást, előbbi a nagyobb, utóbbi a kisebb energiákon figyeli meg a gamma-kitöréseket. Mivel a GBM látótere a teljes égboltot lefedi, kitörés észlelése esetén időben jelezni tudja irányát a LAT-nak – és a többi, a földön vagy a világűrben elhelyezett teleszkóp-nak. A GBM méréseiből katalógust kívánnak létrehozni, amely többek között tartalmazza a kitörések fluenciáját, csúcspontosságát és időbeli lezajlását. Az állandó adatrögzítésnek köszönhetően utólag olyan gam-

ma-kitörések nyomai után is lehet majd keresni, amelyeket valós időben nem észleltek a detektorok. Ez háromszorosára növeli a GBM érzékenységet (0,35 foton/cm<sup>2</sup>/s). A két műszer együttes megfigyelései magyarázattal szolgálhatnak a kitörések alacsony-(keV/MeV) és nagyenergiájú (GeV) gamma-foton kibocsátása közötti kapcsolatra, amely megfelelő detektorok híján a mai napig nem tisztázott. Emellett az eddigieknél sokkal részletesebb energiaspektrumot adhatnak, ugyanis a jelenleg rendelkezésre álló adatok nem mutatják meg egyértelműen, milyen módon történik az energia kibocsátása.

A cikk szerzői, akik jelenleg is egy – az OTKA T048870 és T07507 számú témái által támogatott – gamma-kitörések vizsgálatával foglalkozó hazai kutatócsoport tagjai, nagy várakozással tekintenek a GLAST mérései által megnyíló lehetőségek felé.

Linkajánló:

GLAST-misszió: <http://glast.gsfc.nasa.gov/>  
LAT: <http://glast.stanford.edu/>  
GBM: <http://gammaray.nsstc.nasa.gov/gbm/>  
CGRO-misszió: <http://coss.gsfc.nasa.gov/docs/cgro/>  
EGRET: <http://coss.gsfc.nasa.gov/docs/cgro/egret/>  
BATSE: <http://batse.msfc.nasa.gov/batse/>

## FIZIKATÖRTÉNETI IRODALMUNK A 19. SZÁZADBAN

Magyarországon a fizikatörténeti kutatások a 19. században kezdődtek. Az akkor megjelent hazai szerzők munkái elsősorban életrajzi jelegűek voltak, akárcsak a magyarra lefordított művek. A Magyar Tudományos Akadémia is elsősorban arra törekedett, hogy az elhunyt fizikus-akadémikusokról önálló emlékfüzeteket jelentessen meg, s mára már egy-egy ilyen kis kötet értékes forrásul szolgál a fizikatörténészek számára. Nézzük át, hogy a 19. században akadémikussá lett fizikusainknak, fizikatanárainknak milyen emléket állítottak egykoron fiatalabb tudós kortársaik.

Az első fizikus-akadémikus *Tarczy Lajos* volt, akit 1838-ban fogadott tagjai sorába a testület, s akiről 1885-ben jelent meg önálló kiadványként tudománytörténeti visszaemlékezés. *Jedlik Ányos Sztoczek Józseffel* együtt 1858-ban lett a testület tagja, róluk az *Akadémiai Emlékbeszédek* sorozatban ugyan nem jelent meg kötet, de mindkettejükéről készült értékes, részletes, s szellemi utódaik számára is fontos visszaemlékezés. *Jedlikről Eötvös Loránd* írt egy nagyon gondosan előkészített emlékbeszédet, itt a gondosságot az jelentette, hogy Eötvös még *Jedlik győri rendtársaival* is levelezett, hogy minél objektívebben mutathassa be egykori tudóstársát. *Sztoczekről* ugyancsak fiatalabb tudóstársa, egyben utóda, *id. Szily Kálmán* értekezett, s ez a periodikában történt közlés után *Szily* 1898-as tanulmánykötetében ismét napvilágot látott.

A termodinamika kiváló tudója, *Greguss Gyula* 1864-ben lett akadémikus, aki sajnos fiatalon, 1869-ben elhunyt, s ezt követően testvére, a neves esztétikaprofesszor, *Greguss Ágost* állított neki emléket, közreadván legfontosabb fizikai és fizikatörténeti publikációit is. Életrajzát is ez a munka örökítette meg számunkra. Egy évvel később, 1865-ben lett akadémikus *id. Szily Kálmán*, a későbbi műegyetemi professzor, dékán és rektor, majd az Akadémia főtitkára, akinek 80. születésnapjára, 1918-ra jelent meg összefoglaló munka írásairól, munkásságáról. *Szily* 1924-ben hunyt el, rá egy későbbi akadémiai ülésen emlékeztek, s ennek kapcsán született egy nagy emlékbeszéd, amely 1933-ban került ki a sajtó alól.

*Eötvös Loránd* 1873-ban lett – igen fiatalon – a tudós testület tagja, 1919-ben hunyt el, de ez az időszak nemigen kedvezett az önálló emlékbeszédek kiadásának. Szerencsére az általa alapított társulat folyóirata, a *Fizikai Szemle* jogelődje, a *Mathematikai és Fizikai Lapok* már 1918-ban életművének összefoglalására törekedett, s másfél évtizedre rá közreadott a nagy *Eötvös-emlék-könyv* is, s utána még jó néhány fontos visszaemlékező írás készült. *Fröhlich Izidor* hosszú évtizedeken át vett részt az Akadémia munkájában, 1880-ban lett tag, s a róla készült emlékkötet 1936-ban látott napvilágot.

*Szily* legismertebb segítője, *Heller Ágoston*, a *Természettudományi Közlöny* szerkesztője, később az Akadémia főkönyvtárosa, aki előadóként részese volt az egykori műegyetemi fizikatanításnak is, 1887-ben lett a tudós testület tagja, 1902-ben hunyt el, s a következő évben jelent meg róla önálló kiadvány formájában akadémiai megemlékezés. Számunkra azért is fontos *Heller* személye, mert korának egyik legismertebb fizikatörténésze volt.

19. századi akadémikusaink sorát hadd zárjuk *Farkas Gyulával*, aki kolozsvári professzorként 1898-ban lett a Magyar Tudományos Akadémia levelező, 1914-ben pedig rendes tagja, s az 1930-ban elhunyt tudós fizikusról 1933-ban jelent meg, ugyancsak önálló kiadvány formájában akadémiai emlékbeszéd.



A 19. században több külföldi fizikust, fizikatanárt is tagjává választott az Akadémia, köztük *Jean Victor Poncelet* francia fizikus-matematikust 1847-ben. A következő nagy tagválasztás 1858-ban volt (a magyarországiak közül ekkor lett tag *Jedlik* és *Sztoczek*), a külföldiek közül ekkor került be a hazai tudós testületbe *Andreas Baumgartner* osztrák fizikus, *Andreas Ettingshausen* osztrák fizikus-matematikust és *Michael Faraday* angol fizikus.

A 19. század ezt követő négy évtizedében Akadémiánk tiszteleti tagjává fogadta a következő, fizikával is foglalkozó neves professzorokat: *Johann August Grunert* német fizikus-matematikust 1860-ban és *Henri Victor Regnault* francia fizikus-kémikust 1861-ben.

Az 1872-es év megint kiemelkedő a tiszteleti tagok megválasztásában, ekkor választották taggá *Rudolf Clausius*, *Gustav Robert Kirchhoff* és *Hermann von Helmholtz* német fizikusokat.

*William Thomson* angol fizikus-matematikus 1873-ban lett a testület tiszteleti tagja.

A századfordulói még három külföldi fizikust fogadott tagjai sorába az MTA: *Jacobus van't Hoff* holland fizikus-kémikust 1891-ben, *Hermann Walther Nernst* német fizikust 1899-ben és *Ludwig Boltzmann* osztrák fizikust 1900-ban.

Míg a magyar akadémikus-fizikusok, fizikatanárok többségéről készült nagyobb megemlékezés, addig külföldi akadémiai tagjaink közül csak néhányról írtak idehaza, de közöttük kémikusok is voltak. Megemlékezés készült Faradayról 1868-ban, Poncelet-ről 1878-ban, Regnault-ról 1879-ben és Thomsonról 1909-ben.



A 19. században természetesen néhány korábban élt neves fizikusról is jelent meg nagyobb tanulmány vagy önálló kötet. Fizikatanáraink közül a legtöbben *Newton*-ról értekeztek, s ne feledjük azt sem, hogy a legkorábbi magyar nyelvű fizikakönyveink egyike magát a newtoni fizikát mutatta be. A kötet szerzője *Molnár János* volt, maga a mű 1777-ben jelent meg *A természetiokról. Newton tanítványainak nyomdoka szerént hat könyv* címmel. A hat könyv itt hat nagy fejezetet jelent, maga a mű kétkötetes volt, és a Pozsonyhoz és Kassához kötődő (később a Martinovics-perben elítélt) *Landerer Mihály* adta közre.

1831-ben Marosvásárhelyen *Lokódi Sándor István* jóvoltából közlemény jelent meg, amelynek teljes címe így hangzott: *Newton, vagy a nagy ember képe, egy értekezésben, melyet rendszabás szerénti megpróbáltatására írt, s a Kolosvári unitarium nemes kollégium nagy auditoriumában, az 1826. év böjtmás havának 17-kén el is mondott: L\*\*\* S\*\* J\*\**. Ez a székfoglaló előadás 36 oldalas volt.

1834-ben *Kanya Emília* két kötetben tekintette át a múlt nevezetes férfait, s a Pozsonyban *Landerer Lajos* kiadásában megjelent munkájában *Pascal* és *Euler* mellett harmadik neves tudósként *Newton* nevével találkozhatunk.

A hódmezővásárhelyi református gimnáziumban tanított *Szikszi Károly* tanár úr, aki az iskola 1857/58-as és 1859–60-as értesítőjében kétrészes tanulmányt írt *Newton élete, iratai és felfedezései* címmel. A kétrészes publikáció mintegy 50 nyomtatott oldal terjedelmű, tehát komoly kutatómunkát igényelt annak összeállítása.

*Horváth Zsigmond* a ciszterci rend tanára volt, fizikával, meteorológiával és tudománytörténeti kérdésekkel is foglalkozott, mint az egri katolikus főgimnázium tanára. Itt már 1860-ban publikációja jelent meg a fizika történetéről, a következő évben pedig *Newton* és *Kepler* életrajzát adta közre. *Newton*-ról a Magyar Orvosok és Természetvizsgálók XIV. Nagygyűlésén is értekezett. Ugyanezen az ülésen *Jedlik Ányos* villamdelejes keresztrezgési készülékét mutatta be, de a találkozói igazi szenzációja *Rozsnyai Mátyásé* volt, aki a gyermekek számára elkészítette a nem keserű

kinint, amely azután évtizedeken át Magyarország egyik vezető gyógyszere volt.

A 19. század jelentős fizikusa volt *Faraday*, akit – mint említettük – Akadémiánk is tiszteleti tagjává választott, s akiről 1868-ban az Akadémia emlékbeszédet is megjelentetett. *Faraday*-ról azonban már jóval korábban is írtak, gondoljunk csak arra a főiskolai hallgatóra, nevezetesen *Vay Károly* grófra, aki a sárospataki kollégium új könyvtára kifestésére gyűjtött pénzt azáltal, hogy lefordította magyarra a híres *Schelling* egyik beszédét. A beszéd *Faraday*-ról szólt, s az 1832. március 28-án megtartott ülésre íródott. Ez bizony korai dátum abból a szempontból, hogy *Faraday* felfedezéseit még Európa felsőoktatási intézményei nem mindenütt ismerték és fogadták el, s különösen az váltott ki csodálatot és gerjesztett kételyeket, amikor a *Faraday* által megalkotott egyik eszköz esetében „közvetlen átmenetet” tapasztalhattak „csupa mágnetismusról elektrikai tüneményekre”. Később *Maxwell* már úgy fogalmaz: eme felfedezés lényege, hogy az időben változó mágneses tér elektromos teret kelt.

Vay utal arra a kiadványban, hogy a sárospataki iskola folyamatosan gyűjtötte azokat az eszközöket, amelyek az elektromos és mágneses jelenségek bemutatására szolgáltak. Különleges kiadványról van tehát szó: egy főiskolai hallgató *Faraday*-ról ír, *Schelling* közvetítésével, a neves angol tudós felfedezéseivel egy időben, 1834-ben Sárospatakon *A Faraday legujabb fölfedezéséről* címmel.

Az 1848-ban Kolozsváron közreadott *Ipar és Természetbarát* elnevezésű folyóiratban *Jakab József* tanár úr értekezett *Faraday*-ról. Ő egyébként egyetemi tanulmányait Göttingában végezte, ahol fizikát, matematikát és vegytant is tanult. Később Angliában is járt. Ez volt az utolsó természettudományi publikációja, mert az 1848/49-es szabadságharcban honvédtüzérként vett részt, később elfogták, Ausztriába, majd Görögországba került, s Magyarországra többé nem térhetett vissza. 1855-ben hunyt el Nápolyban.

A dévai főreáliskola értesítőjében 1881-ben *Darvai Móric* írt egy nagyobb tanulmányt *Faraday*-ról. Nevét jól ismerjük a természettudományi irodalomban, hiszen könyvei jelentek meg az üstökösökről és meteorokról.



A fenti dolgozatok tehát egy-egy fizikus életművét mutatták be, s ahhoz, hogy a fizikatörténettel foglalkozók a különböző összefüggésekre, intézménytörténeti mozzanatokra is ki tudjanak térni, s hogy az egyes fizikusok teljes műjegyékét is át tudják tekinteni, továbblépésre volt szükség. Ennek legfőbb alapja az volt, hogy hozzá kellett jutniuk nagy nemzetközi biográfiai gyűjteményekhez, valamint könyvészeti összeállításokhoz, akik pedig a reáلتudományok magyarországi múltját óhajtották kutatni, azoknak ilyen jellegű *bazai* összeállításokra volt szükségük.

A külföldi kötetek beszerzése elsősorban könyvtárosi figyelmet kívánt, hazai művek viszont hosszú ideig nem álltak a kutatók rendelkezésére, ezeket meg kellett íratni, az anyagi alapot pedig a pályázati források jelentették.

Hogyan történt mindez? Erről szólunk röviden az alábbiakban.



Fizikátörténeti kutatásaink kezdeti szervezője, koordinátora a Műegyetem neves professzora (dékánja, rektora), id. Szily Kálmán volt, akinek első két tudománytörténeti publikációja az általa elindított *Természettudományi Közlöny* első évfolyamában (1869) jelent meg, hat évvel *Johann Christian Poggendorff* nagy tudománytörténeti biobibliográfiája után. Szily itt régi tudósokról, s régi magyar tudományos könyvekről ír, s ezek megismeréséhez az indíttatást egyértelműen Poggendorfftól kapta, akinek a kétkötetes hatalmas munkáját 1871-ben már részleteiben is be tudta mutatni a *Természettudományi Közlönyben*.

Poggendorff összeállítása azért értékes számunkra, mert az 1711-es magyar könyvészet, majd az 1770-es években közreadott *Weszprémi István*-féle orvosi biobibliográfia, s a 19. század elején megjelent *Sándor István*-féle könyvészet óta a legnívósabb, magyar vonatkozásokat is felvonultató összeállítás. A tudománytörténet-írás aránylag későn nyert létjogosultságot nálunk, s hosszú időn keresztül csak az irodalomtörténeten belül, annak mintegy segédtudományaként kapott helyet. Az orvostörténet-írás volt az első, amely önálló helyet tudott kivívni magának a tudományok tárházában. A többi szakmatörténet csak afféle segédlet volt az irodalomtörténeten belül.

*Czittinger* 1711-es könyvésze annyit már bizonyított, hogy fontos reáltudományi művek is megjelentek magyar szerzők tollából itthon és külföldön, de a doktori értekezések feltárására ő sem nagyon tudott vállalkozni. A debreceni főorvos, *Weszprémi István* hihetetlen szorgalommal tárta fel a magyar orvosok által itthon és külföldön, önállóan vagy periodikákban közzétett publikációit, más szakmák képviselői azonban nem követték példáját. Holott voltak itt fontos fizikák és matematikák, csillagászatok és botanikák, de azok feldolgozása még váratott magára.

A 19. század elején munkálkodó *Sándor István* a maga könyvesházában már szépen pótolta ezeket a hiányokat, amelyekről tudomást vett az irodalomtörténet-írás is, gondoljunk csak *Toldy Ferenc* irodalomtörténeti áttekintéseinek reáltudományi fejezeteire.

A teljesség igényével senki sem mert előállni, mindenki csak szemezgetett, s ez látszik a *Pallas Nagy Lexikona* előtti évtizedek hazai lexikális kiadványainál is.

És akkor lépett színre J. Ch. Poggendorff, aki arra vállalkozott, hogy – az orvosokat leszámítva – a reáltudományok valamennyi múltbeli neves művelőjének rövid életrajzát, s publikációik lehetőleg teljes jegyzékét közreadja. Nem akármilyen feladatra vállalkozott ez a neves német szerkesztő, de feladatát becsületesen teljesítette. Olyan magyar tudósokra is ráirányította a figyelmet, akikről előtte nemigen olvashattunk a hazai történeti irodalomban, nyilván azért nem, mert elsősorban külföldön publikáltak, s műveiket is többnyire ott hasznosították. De szólt olyanokról is, akik külföldön tanultak, aztán Magyarországra tértek vissza, s egy-két publikációjuk később idehaza is megjelent.



Johann Christian Poggendorff

Id. Szily Kálmán Poggendorff közel 1500 hasábos, kétkötetes művében mintegy száz jelentős magyar matematikusra és természettudósra lelt (ismételten hadd tegyük hozzá, hogy ezzel párhuzamosan több száz orvosra *Weszprémi* már felhívta a figyelmet, orvosok azonban nem szerepelnek Poggendorff összeállításában).

Nézzük, hogy mit is írt Szily Kálmán Poggendorff nagy kézikönyvéről:

„J. Ch. Poggendorff, az *Annalen der Physik und Chemie* sok érdemű szerkesztője 1863-ban egy nagy terjedelmű s rendkívül becses munkát bocsátott közre *Biographisch-Literarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exacten Wissenschaften, enthaltend Nachweisungen über Lebensverhältnisse und Leistungen von Mathematikern, Astronomen, Physikern, Chemikern, Mineralogen, Geologen usw. aller Völker und Zeiten* cím alatt. E munkájában Poggendorff nem kevesebb mint 8447 természetbúvár életviszonyairól és tudományos működéséről közöl adatokat, a leghelettebb irodalmi forrásokat követve mindenütt, és figyelmét minden nép, minden kor természettudósaira kiterjesztve egyaránt. Poggendorff munkája valódi nemzetközi pantheon, amelyben helyet foglalhat és kell hogy helyet foglaljon minden tudós, ki az exact természettudományok terén irodalmilag működött, akárhol ringatták is bölcsőjét, és akármely nyelven művelte is a természettudományt.

A *Biographisch-Literarisches Handwörterbuch* megjelenése óta folyvást érdekelt megtudnom, mely arányban és mely tudósai által van Magyarország e pantheonban képviselve. Kitűnik, hogy a 8447 tudós közül 91 és így az egésznek körülbelül egy század része magyarországi, de kitűnik továbbá az is, hogy sok érdemes magyar tudós, kikről a jelenleg működő természetánrainknak még köztudomásuk van, *hiányzik a gyűjteményből*. E hiányért Poggendorffot legkevésbé sem lehet okolni.



id. Szily Kálmán

Szerencsére a baj olyan, hogy azon egy kis ügyszeretettel sokat lehet enyhíteni. A *Biographisch-Literarisches Handwörterbuch* oly természetű munka, mely soha sem lesz, mert nem is lehet teljes és tökéletes. Bármily gondal dolgozzák is ki az efféle lexicont, időjárával pótkötetre lesz szükség.

És éppen az a körülmény, hogy a Poggendorff-féle lexicon első pótkötetéhez már Európa-szerre gyűjtik az anyagot, indított bennünket e sorok közzétételére. Mint mondtuk, egy kis ügyszeretettel még kipótolhatnók a pótkötetben a törzsmunka észrevett hiányait. Irodalomtörténészeink, a főiskolák és tanító-szerzetek szaktanárai, könyvtárnokai pár hó alatt összeadhatnák a szükséges anyagot. A *Természettudományi Közlöny* szerkesztősege a legnagyobb örömmel közölni fog minden megbízható adatot, s a legnagyobb készséggel vállalkozik arra is, hogy a hozzá beküldött adatokat rendszeresen egybe állítva Poggendorff-nak kezeihez juttassa.

Az érdeklött tudománybarátokat végül arra kérjük, szíveskednének a birtokukban levő adatokat, bármily csekélyeknek látszassanak is, minden aggodalom nélkül beküldeni. A világ is csak parányi részecsek összetételéből áll.”



A Poggendorff-féle kézikönyv összeállítói lényegében minden jelentős magyarországi fizikusról, fizikatanárról, természetfilozófusról tudtak, s nem csak munkahelyük megjelölése szerepel az összeállításban, hanem az általuk írt művek pontos bibliográfiai adatait is közlik. 1863-tól tehát ez a kézikönyv a kutatók rendelkezésére állt, de többen nyilván csak a Szily-féle 1871-es közlés után vettek tudomást e kétkötetes kiadványról.

Többen is hozzászóltak a Szily-féle közléshez, s ő is megpróbált utánajárni a hiányzó adatoknak, de belátta, hogy nagy feladatról van szó, ezért úgy vélte, pályázatot írat ki a teljes magyar természettudományi könyv-

szet összeállítására, mert akkor jóval könnyebb lesz a német mű hiányzó adatait pótolni.

Az 1876. január 19-én kiírt pályázat szövege a következő volt: „Előkészítendő a magyar természettudományi és matematikai irodalom történetének megírását, kívántatik ezen irodalom lehetőleg teljes könyvésze 1875 végéig, a magyar nyelven, Magyarországon bármely nyelven s magyarországi tudósoktól bárhol kiadott munkák, s magyarországiaktól külföldi folyóiratokban közzétett értekezések alapján. Jutalma a Természettudományi Társulat forgó tőkéjéből 100 arany.”

Szily – aki akkor a Királyi Magyar Természettudományi Társulat titkára volt – 1878. szeptember 1-jén megállapította, hogy a beérkezett tervezetek elbírálására kiküldött hétagú bizottság *id. Szinnyei József* és *iff. Szinnyei József* tervezetét fogadta el, s megbízta őket, hogy az 1877-es év végéig készítsék el a művet. Lektorálás után, 1877. január 12-én engedélyezték a természettudományi könyvészet kinyomtatását. A kötet 1878-ban meg is jelent, *Magyarország természettudományi és matematikai könyvésze 1472–1875* címmel, terjedelme 1008 hasáb lett. Ez az első olyan magyarországi könyvészeti összeállítás, amely valamennyi fizikai kiadvány címét, adatsorát is tartalmazta. A kötet használatát megnehezíti, hogy anyagát csak szerzői betűrendben dolgozták fel, s sem időrendi, sem szakrendi mutatót nem csatoltak hozzá. Komoly értéke viszont, hogy bevezetőjében valamennyi korábbi fontos könyvésztre felhívják az olvasók figyelmét, nagyban megkönnyítvén ezzel a későbbi tudománytörténeti kutatásokat.

Mindez tehát 1878-ban történt; időközben azonban *id. Szinnyei József* jóvoltából a Magyar Tudományos Akadémia kiadásában is megjelent egy reáltudományi könyvészet, mégpedig a hazai szaklapokban, folyóiratokban, évkönyvekben, naptárakban és iskolai értesítőekben 1778 és 1874 között közreadott matematikai és természettudományi cikkek, ugyancsak szerzői betűrendbe foglalt jegyzéke, *Hazai és külföldi folyóiratok magyar tudományos repertóriumma. Természettudomány és matematika* címmel. A kötet 1876-ban került ki a sajtó alól 1680 hasáb terjedelemben.

A repertórium megjelenését Szily Kálmán és két tudóstársa, *Szabó József* és *Balogh Kálmán* szorgalmazta, tehát e feladatsor egyik mozgatója ismét Szily volt. Szinnyei és fia könyvészetében 8912 mű címléírása olvasható, ezek magyar szerzők Magyarországon és külföldön magyar vagy idegen nyelven megjelent művei voltak, amelyekhez 2834 cikk adatsorát is mellékeltek. A másik kötetben, amelyben tehát csak cikkek szerepelnek, 34641 publikáció címléírása kapott helyet, közöttük külföldi szerzők magyarra lefordított írásai is.

A két kötet az 1870-es évek közepéig szinte teljes egészében tartalmazta mindazt, ami hazánkban a fizika és társtudományai területén megjelent, tehát ami a jelen breviárium témája. Mint említettük, e könyvészetekben nem könnyű visszakeresni az adatokat, hiszen mutatót nem tartalmaznak, a másik gond pedig az, hogy a cikkek esetében mindig csak a kezdő lapszámot közlik, s ezért a címléírásokból nehéz megállapítani, hogy rövid vagy hosszú publikációról van-e szó.



Ily módon elindultak azok a könyvészeti összeállítások, amelyek biztos alapot adtak a magyarországi fizika múltját feldolgozó kutatásokhoz. Ezekhez azonban mintákra is szükség volt, először tehát azt kellett látniuk a kutatóknak, hogyan írnak fizikatörténetet a külföldi szaktekintélyek, s Szily arra is gondolt, hogy a nagy nemzetközi forrásmunkák alapján talán magyar nyelvű egyetemes fizikatörténetet is érdemes lenne kiadni, mielőtt megindulnak a fizika magyarországi irodalmát feltáró kutatások.

Szily kezdeményezésére a Kir. Magy. Természettudományi Társulat 1878-ik évi január havában tartott közgyűlésén a Bugát-féle 300 frt-os pályadíjra a következő feladatot tűzte ki: „Kívántatik kiváló physikusok életrajzainak gyűjteménye oly módon összeállítva, hogy az a legfontosabb physikai tanok fejlődésének történetét magában foglalja.” Az 1880-as év végén értékelték ki a beérkezett pályaműveket. Az alábbiakban tekintsük át a zsűri döntését.

*Három pályázat érkezett, a kettes és hármas sorozámút tartották érdemesnek arra, hogy díjazzák.*

*Az egyikről így hangzik a zsűri összesített véleménye: „Egy nagy könyv ez, mely 1149 sűrűen beírt oldalon a physika történetét adja elő a legkiválóbb tudósok lendítő befolyásának és életviszonyainak kiemelésével, oly modorban, mint azt a feladat szelleme megkívánta. Az ó-kor s közép-kor mintegy 50 oldalra terjedő bevezetésében van ismertetve, erre következnek az életrajzok, melyeknek sorát *Leonardo da Vinci* nyitja meg s *Robert Mayer* zárja be. Végül a tartalomjegyzéken kívül betűrendes névmutatót s tárgymutatót is találunk.*

A munka első átlapozása rendkívül jó benyomást kelt. A tárgy beosztása, egyes részeinek aránya arról tanúskodnak, hogy itt nem terv nélkül összehordott ismerethalmazzal, hanem rendszeresen írott könyvvel van dolgunk. Kedvező véleményünk még erősödik a bevezetés olvasása által, melyben szerző az ó-kor és közép-kor tudományos törekvéseit élvezhető modorban tárgyalva, egyszersmind indokolja azt is, miért nem foglalozzik velük részletesebben.

Részben elrontja e jó benyomást életrajzoknak figyelmes olvasása, mely azt mutatja, hogy szerző az általa jellemzett tudósok munkáit maga nem tanulmányozta, hanem forrásul különösen *Arago* és *Dübring* műveit használva, ezeknek állításait kritika nélkül elfogadta, sőt azokat sok helyen egyszerűen kivonatolta. Szerző jobb phylosophus, mint physikus, s innét van, hogy a történet forrásaiban talált részleteket kritikailag feldolgozni, azaz a physika haladására nézve fontosat kiemelni, a mellékeset pedig elhanyagolni nem tudta. Innét van az is, hogy oly fontos momentumok, melyeket említett forrásaiban történelmileg feldolgozva nem talált, figyelmét egészen kikerülték. Így például a mechanikai mértékrendszer megállapítása Gauss által, melynél fontosabb s a physika fejlesztésére eredménydúsabb lépés e században nem történt: az előttünk fekvő pályamunkában még említve sincs. A physikai ismeretekben való hiányosság dacára, bírálók örömmel elismerik a szorgalmat s nem közönséges ügyességet, mellyel e mű szerkesztve van.”

*A másíkról* így hangzott a bírálók (Eötvös Loránd és *Schuller Alajos*) összegzett véleménye: „Szerzője a kritikailag gondolkozó fő aggályaiával fogott munkájához. Érezte, hogy nem elég a másodlagos források használata, hanem szükséges, hogy a tudomány történetírója megismerkedjék azon művekkel is, melyek a haladásnak alapját vetették. A physika egész történetének megírására, a pályázásra kitűzött rövid idő alatt vállalkozni nem mert, hanem történetírását *Aristoteles*szel kezdve, annak határát Newtonnal jelölte ki.

E pályamű a másik kettőhöz mérve rövid (261 írott oldal), de mégis a legnagyobb tudományos munkálkodásról tanúskodik s a második számúnál is kétségtelenül alaposabb. Előnyére válik, hogy, mint látszik, szerzője az idézett forrás-munkákat csakugyan tanulmányozta s nemcsak a physika történetének irodalmát ismeri, de magában a physikában és annak irodalmában is jártas.”

Az előbbi pályaművet *Czögler Alajos*, az utóbbit *Heller Ágoston* írta. Végül is abban állapodtak meg, hogy mindkét mű megjelenik, *Heller* az anyagot teljesebbé tette, s így egy hatalmas kétkötetes egyetemes fizikatörténet jelenhetett meg tollából. *Czögler* kétkötetes műve 1882-ben, *Heller* hasonló terjedelmű munkája pedig 1891-ben, illetve 1902-ben került ki a sajtó alól. *Czögler* kötetét 23 szép metszetes portré is kíséri.

Maga a Társulat „belelendült” az értékes reáltudományi művek kiadásába, közreadták *Tyndall*nak *A hő, mint a mozgás egyik neme* című munkáját, amelyhez a termodinamikában igencsak jártas *Szily Kálmán* írt kísérőtanulmányt. Megjelent egy válogatás *Helmholtz*tól, később pedig egy tanulmánykötet, amelyben *Arago*, *Kirchhoff* és mások tanulmányai olvashatók, azután egy szép kiállítású monográfia a mágnességről és elektromosságról (*Guillemin* munkája). Megemlítjük, hogy *Aragótól* egy önálló kötet is megjelent magyar fordításban, mégpedig a *Franklin Társulat* gondozásában 1879-ben: Ebben a munkában négy nagy életrajzi visszaemlékezés olvasható, mégpedig *Carnot*, *Monge*, *Volta* és *Ampère* életrajza. Értékes munka, sajnos nagyon kis példányszámban jelent meg.



Ezek voltak a legfontosabb fizikatörténeti dolgozatok, amelyek 19. századi fizikánkhoz kapcsolódtak, s azon belül is nagyobb részben az egyetemes fizika, s csak kisebb részben a magyarországi fizika történetéhez.

Igaz ugyan, hogy *Poggendorff* 1863-as kötete már kiemelt néhány jelentős magyar fizikust a 18. századból, s rájuk több tanulmányában is hivatkozott *Szily Kálmán*, életművük, s ezzel együtt a teljes klasszikus magyar fizikai irodalom feldolgozása csak a 20. században kezdődött el. *Szily* javaslatára 1918-ban írtak ki pályázatot *Adassék elő a physikai tudományok hazai irodalmának története és magyar műnyelvének fejlődése 1867-ig, az alkotmány visszaállításáig* címmel.

A pályázatot *Batta István*, sárospataki fizika-professzor dolgozata nyerte el, s vele indult el egy új korszak a magyarországi fizikatörténeti kutatásokban, amelynek szerencsére sok-sok szereplője volt.

*Gazda István*

# MIKOLA-DÖNTŐ GYÖNGYÖSÖN

Kissné Császár Erzsébet, Kiss Miklós  
Berze Nagy János Gimnázium, Gyöngyös

Huszonhetedik alkalommal került megrendezésre a Mikola Sándor Országos Tehetségkutató Fizikaverseny. A verseny tizedik évfolyamú döntője május 2–4-ig Sopronban, a kilencedik évfolyamú döntő május 4–6-ig Gyöngyösön volt. A versenyt a Vermes Miklós Országos Fizikus Tehetségápoló Alapítvány hirdette meg, az Oktatási Minisztérium, a gyöngyösi Berze Nagy János Gimnázium, a GYÖNGYÖK Mátra Művelődési Központ és Gyöngyös város támogatásával. A döntőt a Berze Nagy János Gimnázium és a GYÖNGYÖK Mátra Művelődési Központ szervezte.

Sajnos már eggyel több verseny volt a gyöngyösi, kilencedik évfolyamú döntő megálmodója, *Kiss Lajos* tanár úr nélkül, mint vele.

Az első fordulóban induló mintegy 3000 tanuló közel tizede írhatta meg a második forduló dolgozatát, és ennek alapján ötvenen jutottak a gyöngyösi döntőbe. A döntősök 16 település 22 iskolájából érkeztek.

A korábban megszokott menetrendtől eltérően a döntő résztvevői vasárnap délben érkeztek Gyöngyösre.

A verseny kezdetét egy rézfúvós trió jelezte, amelynek tagjai két diákunk, *Pintér Ábel* és *Nagy Ádám*, valamint a gyöngyösi Pátzay János Zeneiskola igazgatója, *Jakkel Mibály Zsolt* voltak.

A versenyt *Czinder Péter*, iskolánk igazgatója nyitotta meg. A zsűri elnöke *Simon Péter*, a pécsi Leőwey Klára

Gimnázium tanára, tagjai *Holics László*, az ELTE Apáczai Csere János Gyakorló Gimnázium, *Subajda János*, a kiskőrösi Petőfi Sándor Gimnázium és *Farkas Béláné*, a gyöngyösi Berze Nagy János Gimnázium tanára.

A megnyitót a 200 perces írásbeli forduló követte. Közben a kísérő tanárok Magyarország második leggazdagabb katolikus egyházi gyűjteményét nézték meg a Szent Bertalan-templom Kincstárában *Jubász Ferenc* esperes úr segítségével, *Benyouszky Péter* kalauzolásával. Utána Gyöngyös történelmével ismerkedhettek *Gruber Csilla* tanárnő vezetésével, most már együtt a versenyzők és az őket elkísérő tanárok.

A hétfő a mérés és a megoldások ismertetésének napja volt.

A verseny izgalmait az esti táncház segítette feloldani, amelyet iskolánk tanárai, *Ombódiné Madai Judit*

és *Ombódi András* vezettek. A versenyzők itt is bizonyították lelkesedésüket és rátermettségüket.

A keddi eredményhirdetés előtt *Várkonyi Péter* kutató, a gömböc egyik feltalálója, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszékéről – aki 1994-ben első lett a soproni Mikola-döntőben – tartott előadást *A gömböc története* címmel.

A zsűri úgy ítélte meg, hogy a diákok jó munkát végeztek. Volt egy hibátlan elméleti munka, és néhány szinte hibátlan mérés.



Kiss Lajos (1939–1995)

A rézfúvósok megnyitják a versenyt



Összpontosítás a mérési feladatra





Simon Péter, a zsűri elnöke átadja az oklevelet Varga Ádámnak, aki a Szilárd Leó Verseny után a Mikola-versenyt is megnyerte

#### A Gimnázium kategória legjobb versenyzői:

1. *Varga Ádám*, a szegedi SZTE Ságvári Endre Gyakorló Gimnázium tanulója, tanára *Tóth Károly*, 100%-os elméleti és 90%-os mérési teljesítménnyel,
2. *Tamás Bence* (kalocsai Szent István Gimnázium, *Szőke Imre*, 84% és 90%),
3. *Maknics András* (szentendrei Móricz Zsigmond Gimnázium, *Maknics Gábor* és *Rózsa Sándor*, 84% és 74%).

#### A Szakközépiskola kategória legjobb versenyzője:

1. *Béres Bertold* (budapesti Puskás Tivadar Távközlési Technikum, *Beregszászi Zoltán*, 76% és 94%)

#### Különdíjasok:

Különdíjat kapott elméleti munkája alapján *Varga Ádám*, és mérési munkája alapján *Balási Szabolcs* (budapesti Fazekas Mihály Fővárosi Gyakorló Gimnázium, *Szokolai Tibor*).

Várkonyi Péter előadás közben



Minden döntős oklevelet és ajándékot vehetett át, a legjobbak értékes díjakat, amelyeket a Mátrai Erőmű Zrt., a B. Braun Medical Kft., a Xella Magyarország Kft., a DEVON Kft., a Digiterm Kft., a Proftec Számítástechnikai és Kereskedelmi Kft., az Ecoplan, a GYÖNGYÖK Mátra Művelődési Központ és Gyöngyös Városa ajánlott fel.

A döntő nem jöhetett volna létre egy volt Mikola-döntős berzés (aki évek óta nagy segítséget nyújt), és egy 2004-ben Mikola döntős budapesti versenyző édesapja anyagi támogatása nélkül. Ezúton is köszönjük!

További eredmények és részletek a verseny honlapján (<http://www.berze-nagy.sulinet.hu/mikola>) található.

## Elméleti feladatok

### Szakközépiskola

1. Egyik végén rögzített  $l$  hosszúságú fonálból és a másik végére akasztott  $m$  tömegű testből álló rendszer kúpingaként mozog úgy, hogy a fonál a függőlegessel  $30^\circ$ -os szöveget alkot. Mennyi munka árán lehet a rendszert olyan helyzetbe hozni, hogy ez a szög  $45^\circ$ -os legyen? (Legyen  $l = 90$  cm és  $m = 300$  g!)

(Dudics Pál)

2. Egy kis méretű gumilabdát  $30^\circ$ -os hajlásszögű síma, rögzített lejtő felett, kezdősebesség nélkül elengedve az a lejtő aljától 80 cm távolságban, vízszintes irányban pattan vissza a felületről.

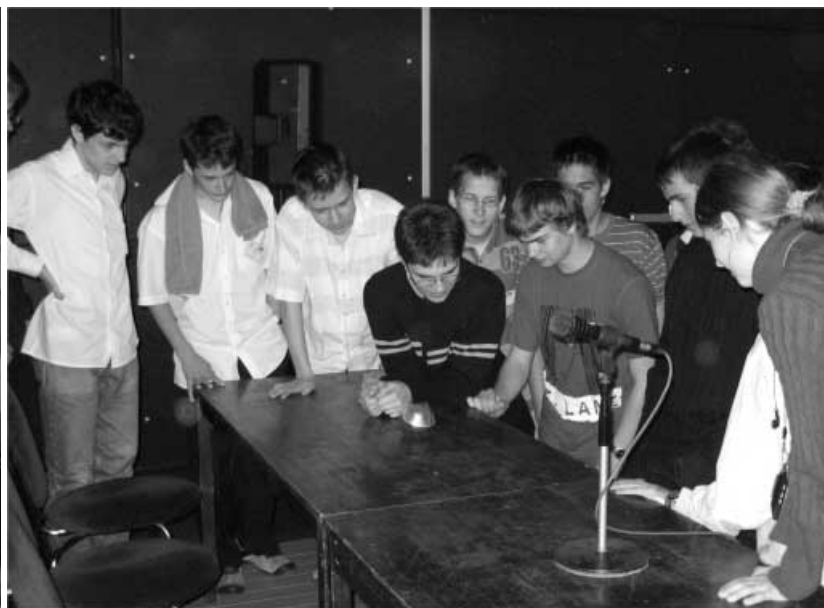
a) Hány százalékos az ütközéskor fellépő mechanikai energiavesztés?

b) Milyen magasról ejtsük a labdát, hogy az ne ütközzön még egyszer a lejtővel?

(A közegellenállás és a súrlódás elhanyagolható. Számoljunk  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>-tel!)

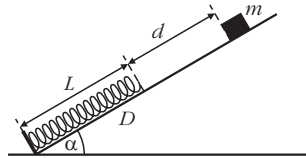
(Szkkladányi András)

Gömböc-próba az előadás után





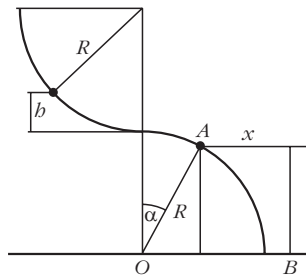
3.  $\alpha = 30^\circ$ -os hajlásszögű lejtő alján  $L = 1,8$  m hosszú,  $D = 12$  N/m direkciós erejű csavarrugó van kitámasztva az *ábra* szerint. A rugó felső végétől  $d = 1$  m-re elhelyezett, kisméretű,  $m = 1,6$  kg tömegű test kezdősebesség nélkül lecsúszik, és a rugónak ütközik. Mekkora lesz mozgása során a test legnagyobb sebessége, ha



- a súrlódás elhanyagolhatóan kicsiny,
- ha a súrlódás együtthatója  $\mu = 0,2$ ?

(Holics László)

4. Kis méretű test súrlódásmentesen mozog, az *ábrán* látható módon, két csatlakozó körívbeli kialakított jeges pályán.



- Mekkora  $b$  magasságból kell elindítani a testet, hogy  $\alpha = 30^\circ$ -nál váljon el a kör alakú lejtőtől?

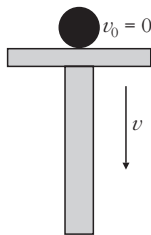
- Hol érkezik a vízszintes talajra az elválás helyéhez viszonyítva?

A két körív sugara:  $15 \cdot 3^{1/2} \text{ m} \approx 26 \text{ m}$  ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ). A súrlódás és közegellenállás elhanyagolható.

(Kiss Miklós)

## Gimnázium

1. Egy nagy tömegű dugattyú lefelé mozog állandó,  $2 \text{ m/s}$  sebességgel, amelyet elhanyagolható idő alatt, hirtelen vett fel. A dugattyún kezdetben egy kis tömegű golyó nyugodott, amely a dugattyú indulása után szabadon kezdett esni. Amikor utolérte a dugattyút, azzal rugalmasan ütközött.

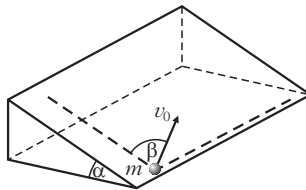


- Mennyi idő alatt ütközött a golyó tízszer?
- Mekkora utat tett meg a golyó az indulástól a tizedik ütközésig?

(Vegyük a nehézségi gyorsulás nagyságát  $10 \text{ m/s}^2$ -nek, az ütközéseket tekintsük pillanatszerűnek!)

(Kiss Miklós)

2.  $m = 2 \text{ g}$  tömegű kicsiny testet  $v = 5 \text{ m/s}$  kezdősebességgel felfelé lökünk egy  $\alpha = 30^\circ$ -os hajlásszögű lejtő síkjában. A sebességvektor a lejtő oldalával  $\beta = 60^\circ$ -os szöget zár be.



- Mennyi idő alatt éri el a kis test a minimális mozgási energiájú állapotát?

- Adjuk meg és ábrázoljuk a test mozgási energiáját az idő függvényében addig, ameddig a sebességének iránya  $60^\circ$ -kal tér el az eredeti irányától! (Minden súrlódás, közegellenállás elhanyagolható. Számoljunk  $g = 10 \text{ m/s}^2$ -tel!)

(Horváth Gábor)

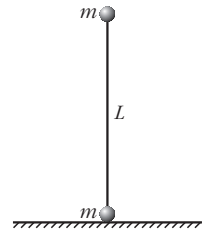
3. Vízszintes, érdes síkon nyugvó kisméretű,  $m = 0,5$  kg tömegű korong  $L = 2,5$  m hosszú fonállal van kötve egy cövekhez. Az egyenes fonálra merőleges pályán egy  $2m$  tömegű korong  $v = 6 \text{ m/s}$  sebességgel érkezik, és abszolút rugalmasan ütközik a fonál végéhez kötött koronggal.

- Mekkora a fonálban ható erő akkor, amikor a fonál  $\varphi = 120^\circ$ -kal elfordult? A talaj és a korongok közötti súrlódási együttható  $\mu = 0,4$ . Az ütközés pillanatszerű.

- Mekkora ebben a pillanatban a korongra ható eredő erő?

- Milyen távol lesz egymástól ekkor a két korong? (Holics László)

4. Vízszintes, súrlódásmentes felületen egy  $L = 35 \text{ cm}$  hosszú, elhanyagolható tömegű rudat tartunk labilis egyensúlyi helyzetben. A rúd végeihez kis méretű,  $m = 0,2$  kg tömegű golyókat erősítettünk. Egy adott pillanatban a rudat elengedjük.



- Mekkora a golyók mozgási energiája akkor, amikor a felső golyó a talajba csapódik?

- Mekkora a golyók sebessége abban a pillanatban, amikor a rúd  $\alpha = 60^\circ$ -os szöget zár be a függőleges iránnyal? (Kotek László)

## Mérési feladat

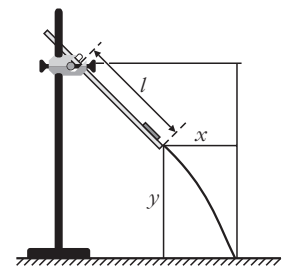
### Csúszási súrlódás vizsgálata

#### Eszközök

Bunsen-állvány, rögzítő dióval és kémcsőfogóval; lécz (favonalzó) befogatva; cérna nehezékkel; pénzérme (100 Ft-os); indigópapír; 30 cm-es műanyagvonalzó; papír és mm-papír; rajztábla.

#### A mérés menete

A lécz  $45^\circ$ -os szögben rögzítve van a kémcsőfogó és a szorítódió segítségével. Helyezd el az érmét a lécen, és engedd lecsúszni! Mérd meg az *ábrán* bejelölt értékeket, és ezek segítségével határozd meg a fa és az érme közötti csúszási súrlódási együtthatót. (A berendezést nem célszerű szétszedni, elállítani, az adott elrendezésből hozd ki a legtöbbet!)



A becsapódó érme nyoma



A mérésben segítségedre van az indigópapír, amelyre az érme, ha ráesik, megjelöli az alatta lévő papíron a becsapódás helyét. A papírt a rajztáblához tudod rögzíteni.

### Feladatok

1. Mérd meg a szükséges adatokat: a lejtő  $l$  hosszát, a lejtő aljának a vízszintes feletti  $y$  magasságát, majd a lecsúszó és utána repülő érme becsapódásának  $x$  helyét!

2. Tervezd meg, hogy ezekből az adatokból hogyan határozható meg a csúszási súrlódási együttható!

3. Számold ki mérési adataid alapján a  $\mu$  értékét!

4. Mekkora az érme  $v$  sebessége a léctől való elválás pillanatában?

5. Mennyi idő alatt csúszik az érme végig a lécen?

A becsapódásokat rögzítő lapot is mellékelj a mérési jegyzőkönyvedhez!

A mérést a feladatban megadott módon kell elvégezned! Nem értékeljük a  $\mu$  értékének bármilyen más módon való meghatározását!  
(Kiss Miklós)

## GIMNAZISTÁBÓL RÉSZECSEFIZIKUS – EGY NAP ALATT

Részecskefizikus diákműhely Budapesten, Debrecenben és Székesfehérváron

(2008. március 11–14.)

Az európai részecskefizikai ismeretterjesztő csoport (European Particle Physics Outreach Group, EPPOG) idén tavasszal is megrendezte immár hagyományos részecskefizikai diákműhelyét. Magyarországról három intézet vett részt benne: a KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet (RMKI, Budapest), a Debreceni Egyetem Kísérleti Fizikai Intézete (KFI, Debrecen) és a Budapesti Műszaki Főiskola (BMF) székesfehérvári tagozata.

Ezek a napokon középiskolások látogatnak egy egyetemi vagy kutatóintézeti laboratóriumba, és belekóstolnak a CERN (az európai országok egyesített részecskefizikai laboratóriuma) két óriási kísérlete által gyűjtött adatok értékelésébe. A résztvevő diákokat, iskolánként 1–3 főt, a fizikatanárok jelölik ki. A foglalkozás egy egész napot vesz igénybe: a tanulók délelőtt előadásokat hallgatnak, majd ebéd után számítógépek segítségével szemügyre veszik és elemzik a nagyenergiájú elektron–pozitron ütközések kiváltotta eseményeket, amelyeket a CERN 27 km-es gyorsítógyűrűjében az OPAL és DELPHI kísérletek észleltek. A nap végén kitöltenek egy tízpontos tesztlapot, majd internetes videokonferencián hasonlítják össze és vitatják meg eredményeiket más országok diákjaival, ugyanúgy, mint a nagy nemzetközi együttműködések részecskefizikusai. A napot a tapasztalatokat felmérő kérdőív kitöltése zárja.

A diákműhelyek tapasztalatai igen kedvezőek: a gyerekek rendkívül lelkesek, hogy hiteles környezetben kóstolhatnak bele a modern fizikai kísérletek eszköztárába. Értékelik, hogy bepillanthatnak a nagy nemzetközi kutatói együttműködésekbe és közben sok mindent megtudnak a mikrofizika világáról részecskefizikusok könnyen érthető előadásaiból és kézzelfogható bemutatóiból. „Úgy érzem, valami olyasmit csinállok, amellyel igazi részecskefizikusok foglalkoznak minden nap” mondta egy 17 éves diák a foglalkozás után. A résztvevők háromnegyede szerint

a modern fizikának a jelenleginél nagyobb szerepet kellene játszania a középiskolai oktatásban.

Idén először tanári napok is szerveztek, amelyeken tanárok válhattak részecskefizikussá egy napra és megvitathatták, hogyan lehetne a modern fizikát közelebb hozni a diákokhoz. A CERN egyébként igen nagy figyelmet fordít részecskefizikai oktatásra. Minden évben többszáz nyári diákot lát hónapokra vendégül, akik oktatásban és aktuális kutatómunkában vesznek részt. Ugyancsak nyaranta egy-egy hetes anyanyelvű továbbképzést szervez fizikatanárok részére, az első ilyen iskolán, 2006 augusztusában, magyarok vettek részt és azóta is évente 40 magyar fizikatanár hallgat előadásokat, látogat laboratóriumokat és vesz részt gyakorlati foglalkozásokon a CERN-ben. A legutóbbi iskola teljes anyaga megtalálható a <http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confid=19196> lapon.

Ezek a diákműhelyek Angliában kezdődtek és 2005-ben, mindössze 3 évvel ezelőtt lettek nemzetközivé. Idén a CERN szervezése mellett már több, mint 6000 diák vett részt rajtuk 23 ország 113 egyetemén és kutatóintézetében. A legnagyobb részvételt Anglia (20 intézmény), az USA és Németország (13-13), valamint Olaszország (10 intézet) adták. Amerika súlyos jelenléte és Brazília ideai csatlakozása mutatja, mennyire túlnötte ez az európai kezdeményezés kontinensünk kereteit, követve a részecskefizikai kutatás világméretűvé válását. A résztvevő országok és intézmények listája megtekinthető az EPPOG honlapján: <http://www.physicsmasterclasses.org/institutes/institutes.htm>

A magyarországi foglalkozásokra március 11-én Budapesten, március 14-én Debrecenben és Székesfehérváron került sor.

A budapesti műhelyt *Jancsó Gábor* (RMKI) vezette. Két tanár kíséretében 17 diák vett rajta részt tíz középiskolából, az utóbbiak közül hat budapesti, a többi pedig egri, isaszegi, szombathelyi és váci volt.



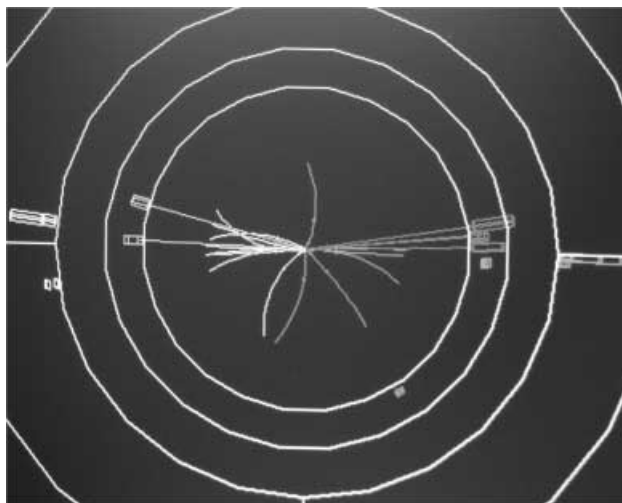


Látogatás az RMKI gyorsítójához

A debreceni program *Trócsányi Zoltán* vezette, 20 diák és három tanár vett részt rajta. A 11 középiskola között négy volt Debrecenből, kettő-kettő Egerből és Miskolcra, valamint egy-egy Gyöngyösről, Hevesből és Nagyváradról.

A székesfehérvári diákműhely számára a szervezője, *Horváth Árpád*, honlapot készített: <http://www.roik.bmf.hu/diakmuhely/>, rengeteg információval. Négy győri, három székesfehérvári és egy dunaújvárosi középiskola 19 diákja vett részt rajta.

A fizika iránt érdeklődő diákok között változatlanul kevés a lány: a budapesti műhelyen csak fiúk voltak,



Egy részecskeütkezés eredménye

a debrecenin két lány vett részt, a székesfehérvárin viszont, öröndetes módon, már hat.

A tesztlapot általában sikeresen töltötték ki a gyerekek. A tíz kérdés között volt jónéhány részecskefizikai, amelyekre elvileg előtte megkapták a választ, volt tréfás és beugrató is. A fizikaiakra többségében jó válaszok születtek, a többire vegyes volt a reakció. A legjobban sikerült budapesti tesztlap, például, nyolc jó választ tartalmazott a tizből.

*Horváth Dezső*

A diákműhelyek honlapja: <http://www.physicsmasterclasses.org>  
EPPOG: <http://eppog.web.cern.ch/eppog>

## A MAGFIZIKAI KUTATÁSOK HŐSKORA – NŐI SZEMMEL III.

### A mesterséges radioaktivitás, a neutron és a maghasadás felfedezése

**Radnóti Katalin**  
ELTE TTK Fizikai Intézet

*Irène Joliot-Curie* (1897–1956), *Marie Curie* lánya volt és szintén Nobel-díjas fizikus lett, noha férjével együtt kémiai Nobel-díjat kapott. Munkájuk során elő tudtak állítani mesterségesen olyan atommagokat, amelyek instabilak voltak. Az 1935. évi Nobel-díj indoklása: „új, mesterséges radioaktív izotópok kémiaja területén végzett munkájukért”. Ez a felfedezés óriási lehetőséget adott az orvosi alkalmazások körének.

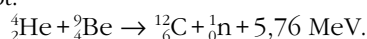


#### A neutron felfedezése

Irène Curie hosszú éveken keresztül a polónium vizsgálatára szakosodott. A Joliot-Curie házaspár polóniumból kibocsátott  $\alpha$ -részecskékkal kísérletezett 1931-

ben. Bór és berillium elemeket sugároztak be, és azt figyelték meg, hogy igen nagy áthatoló képességű, csekély intenzitású sugárzás keletkezett. Amikor a sugárzást hidrogéntartalmú lemezbe, nevezetesen paraffinrétegbe vezették, akkor váratlan és meglepő dolgot tapasztaltak. A sugárzás protonokat lökött ki a viaszból. Megmérték a protonok energiáját, amelyet 5,3 MeV nagyságúnak találtak. A jelenséget úgy magyarázták, hogy a protonok megjelenéséért gamma-fotonok lehetnek a felelősek, amelyeknek az energiája 50 MeV körül van. Ez legalább tízszer akkora energia, mint az addig ismert gamma-energiák.

*Chadwick* egészen másképpen magyarázta a jelenséget 1932-ben. Mégpedig úgy, hogy egy olyan elektromosan semleges részecske keletkezett, amelynek tömege közelítőleg egyenlő a proton tömegével. Neutronnak nevezte el. Mai jelöléseinkkel a következőképp írhatjuk le a reakciót:



Felmerül a kérdés, hogy miért nem a Joliot-Curie házaspár jutott erre a kulcsfontosságú felfedezésre? Ennek legvalószínűbb oka az lehetett, hogy nem voltak felkészülve rá. Chadwick *Rutherford* tanítványa volt, aki már az 1920-as évektől kezdve azt hangoztatta, hogy szerinte az atommagban kell lennie egy, a protonéval közel azonos tömegű, de semleges töltésű részecskének. Ezt 1932-ben elnevezte neutronnak.

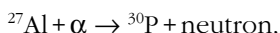
A házaspár (1. ábra) a pozitront is felfedezhette volna. Ugyanis 1932 áprilisában Svájcban 3500 m magasságban tanulmányozták a kozmikus sugárzás hatását az atommagokra. Wilson-kamrájukban észlelték, hogy az elektronnyomvonalak közül néhány ellenkező irányban hajlik. Még ugyanezen évben *Carl Anderson* sok ezrenyi nyom vizsgálata alapján vezette be a pozitront az elemi részecskék sorába.



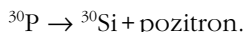
1. ábra. Irène és Pierre Joliot-Curie

## A mesterséges radioaktivitás felfedezése

A Joliot-Curie házaspár igazi nagy felfedezése azonban nem sokáig váratott magára. Alumínium atommagok bombázása során a következő magreakció jött létre:



majd a keletkezett foszforizotóp tovább bomlott,



A keletkező pozitron spektruma is folytonos volt, a természetes radioaktív izotópok béta-sugárzásához hasonlóan. Továbbá a besugárzott anyag részecskébocsátása a besugárzást követően csak bizonyos idő után csökkent, akárcsak egy természetes radioaktivitással rendelkező anyag esetében.

A felfedezés óriási jelentőségű napjainkban is, hiszen például így lehet pozitronkibocsátó izotópot létrehozni az orvostudomány számára fontos PET-vizsgálatok céljára.

Irène Curie élete további részében részt vett a francia atomenergia-bizottságban, 1948-ban átvette az édesanyja által alapított Rádium Intézet vezetését, amit professzori katedrájával együtt haláláig megtartott. Továbbá irányította a Párizshoz közeli Orsay-i nagy magfizikai kutatóközpont építését, amely tervei alapján készült el [1].

## A maghasadás felfedezése

Másfajta magátalakulás (nukleáris jelenség) a maghasadás, amely a természetben végbemegy (a Földön csak az urán 235-ös izotópjá esetében), de lassú neutronok felhasználásával mesterségesen is elő lehet segíteni. A maghasadás felfedezésének előkészítése *Enrico Fermi* (1901–1954) kísérleteivel kezdődött.

Kísérleteihez a Joliot-Curie házaspártól kapta az ötletet, akik írásukban jelezték, hogy ugyan ők a polónium által kibocsátott alfa-részecskéket használták, de minden bizonnyal érdemes más részecskékkel is atommagokat bombázni. Így esett Fermi választása az éppen ak-

koriban felfedezett neutronra. Mivel a részecske semleges, az atommag nem taszítja a felé közeledő neutron. Fermi és munkatársai szisztematikus kísérletezésbe kezdtek. A periódusos rendszer összes elemének atommagját neutronokkal bombázták, majd a keletkezett termékeket azonosították. Módszeresen jártak el, szigorú rendben végigmentek az egész periódusos rendszeren: a hidrogénnel kezdtek és az uránnal fejezték be.

Az urán esetében sokféle sugárzó anyag keletkezését tapasztalták. Az egyik, 13 perces felezési idejű izotóp különösen érdekesnek tűnt. De a kor szemléletmódjának megfelelően a keletkező új atommagokat mind a besugárzott anyaghoz a periódusos rendszerben közel állónak gondolták.

A maghasadás folyamatát csak 1939 elején fedezték fel, bár *Ida Noddack* német vegyész már 1934-ben írt cikkében felvetett egy ilyen magátalakulási lehetőséget [2]. Cikkében élesen támadta Fermi, mivel szerinte nem járt el elég körültekintően és alaposan a kémiai azonosításban és a radioaktivitás okának kivizsgálásában, különösen egy 13 perces felezési idejű anyag esetében. (Ez valószínűleg az urán hasadása során keletkező bárium 12 s-os felezési idejű béta bomlásakor keletkező lantán lehetett, amelynek 14 perces a felezési ideje.)

Cikkében elsősorban a különböző elemek kémiai azonosításának hiányosságairól írt. Hiányolta, hogy Fermi nem végezte el jóval több elemre az azonosítást, mint például polóniumra, illetve az összes ismert elemre. Majd megjegyzi a következőket:

„De éppolyan módon feltételezhető, hogy ha neutronokat használunk magátalakítás céljára, valami teljesen új típusú magreakció megy végbe, (...) elképzelhető, hogy az atommag széthasad több nagy töredékre, amelyek természetesen ismert elemek izotópjai lennének, de egyáltalán nem a besugárzott elem szomszédságában.”<sup>1</sup> Itt merül fel először a maghasadás gondolata [3].

<sup>1</sup> „Es ware denkbar, dass bei der Beschiessung schwerer Kerne mit Neutronen diese Kerne in mehrere grössere Bruchstücke zerfallen, die zwar Isotope bekannter Elemente, aber nicht Nachbarn der bestrahlten Elemente sind.“

1 H 1,0080																	2 He 4,0026
3 Li 6,941	4 Be 9,0122																
11 Na 22,9898	12 Mg 24,305																
19 K 39,102	20 Ca 40,08	21 Sc 44,956	22 Ti 47,90	23 V 50,941	24 Cr 51,996	25 Mn 54,9380	26 Fe 55,847	27 Co 58,9332	28 Ni 58,71	29 Cu 63,54	30 Zn 65,37	31 Ga 69,72	32 Ge 72,59	33 As 74,9216	34 Se 78,96	35 Br 79,909	36 Kr 83,80
37 Rb 85,467	38 Sr 87,62	39 Y 88,906	40 Zr 91,22	41 Nb 92,906	42 Mo 95,94	43 Tc (99)	44 Ru 101,07	45 Rh 102,906	46 Pd 106,4	47 Ag 107,870	48 Cd 112,40	49 In 114,82	50 Sn 118,69	51 Sb 121,75	52 Te 127,60	53 I 126,905	54 Xe 131,30
55 Cs 132,905	56 Ba 137,34	57 La 138,906	58 Ce 140,12	59 Pr 140,908	60 Nd 144,24	61 Pm (147)	62 Sm 150,4	63 Eu 151,96	64 Gd 157,25	65 Tb 158,925	66 Dy 162,50	67 Ho 164,930	68 Er 167,26	69 Tm 168,934	70 Yb 173,04	71 Lu 174,97	
87 Fr (223)	88 Ra (226)	89 Ac (227)															

#### Lantanidák

58 Ce 140,12	59 Pr 140,908	60 Nd 144,24	61 Pm (147)	62 Sm 150,4	63 Eu 151,96	64 Gd 157,25	65 Tb 158,925	66 Dy 162,50	67 Ho 164,930	68 Er 167,26	69 Tm 168,934	70 Yb 173,04	71 Lu 174,97
--------------------	---------------------	--------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	---------------------	--------------------	---------------------	--------------------	---------------------	--------------------	--------------------

#### Aktinidák

90 Th (232)	91 Pa (231)	92 U (238)	93 Np (237)	94 Pu (242)
-------------------	-------------------	------------------	-------------------	-------------------

2. ábra. A periódusos rendszer

*Inzelt György* a következőképp jellemzi a helyzetet: „A fizikusok saját elméletük csapdájában vergődtek, ugyanis úgy gondolták, hogy az atommag lényegi tulajdonsága a nagyfokú stabilitás, és a magban bekövetkező változások jellemzően csak kicsik lehetnek.” [4]

A periódusos rendszert (2. ábra) szemlélve látható, hogy mely elemet melyikkel tévesztették „szándékosan” össze: Bárium (Ba) és rádium (Ra), továbbá lantán (La) és aktínium (Ac), mivel egymás alatt vannak a rendszerben, kémiai tulajdonságaik hasonlóak.

*Ida Noddack Tacke* (1896–1978) elismert német vegyész volt, 1919-ben doktorált a Berlieni Műszaki Egyetemen. Férjével, *Walter Noddack*kal együtt többek közt felfedezték a rénum elemet. A technécium elem felfedezésében is részt vettek, de mivel nem ők izolálták először, így nem őket tekintik a felfedezőnek. Három alkalommal is jelölték kémiai Nobel-díjra.



Ida Noddack írása azonban nem keltett feltűnést, bár ismert volt magfizikai körökben. A cikk hatására Fermi végzett is ezzel kapcsolatos számításokat, de az akkor rendelkezésre álló adatok még nem voltak elég pontosak. Az atommagok tömegének mérése nem volt elég pontos – a *J.J. Thomson* ötlete nyomán *Aston* által tökéletesített tömegspektroszkópia még csak ígéretes eljárás volt.

Az atommag kötési energiája a következő módon „mérhető” meg: Az atommag  $Z$  számú protonból és  $N = A - Z$  számú neutronból áll, ahol  $A$  a nukleonok száma, a tömegszám. Az  $M_{mért}$  tömegű atommag nukleonjainak  $M_{számolt}$  össztömege:

$$M_{számolt} = Z m_p + (A - Z) m_n,$$

ahol  $m_p$  a proton,  $m_n$  a neutron tömege. Azonban a tömegmérések az ily módon számított tömegnél mindig kisebb értéket szolgáltatottak az atomtömegekre (2. ábra). A tömegkülönbség:

$$\Delta M = M_{számolt} - M_{mért} = [Z m_p + (A - Z) m_n] - M_{mért},$$

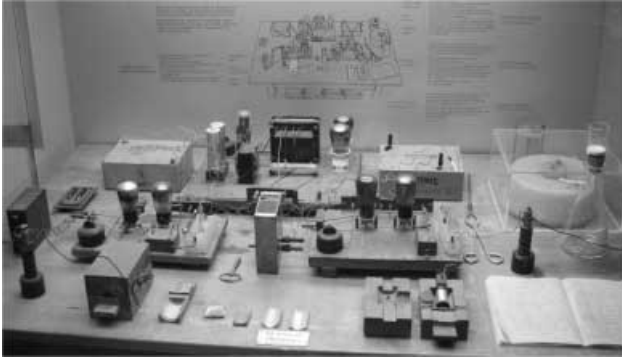
amelyet tömegdefektusnak nevezünk. Ez a tömegdefektus szorozva fénysebesség négyzetével adja a mag kötési energiáját.

1938-ban *Irène Joliot-Curie* laboratóriumából is érkeztek olyan hírek, hogy az urán neutronnal történő besugárzásakor kisebb rendszámú elemek is keletkeznek. A nyert anyag esetében lantánra és aktíniumra gyanakodtak. (A lantán a bárium hasadási terméke.) Fermihez hasonlóan a *Joliot-Curie* házaspár és *Pavle Savić* is létrehozott mesterséges maghasadást, de a jelenségre – a kísérleti evidencia ellenére – teljesen más magyarázatot adtak. Ők is uránt sugároztak be neutronokkal, de szerintük ekkor a 89-es rendszámú aktínium keletkezett. A periódusos rendszerben az aktínium felett található az 57-es rendszámú lantán, vagyis ezek kémiaiailag hasonlóan viselkednek. Szétválasztásuk frakcionált kristályosítással történhet. (Kisebbsúlyú miatt a lantán előbb kristályosodik.) A radioaktivitás azonban a lantánt látszott követni. Végül kimutatták, hogy a radioaktivitás az aktíniumtól származott. Ezután döntött *Otto Hahn* (1879–1968) úgy, hogy részletesen megvizsgálja a kérdést, és ő is elvégzi a kísérleteket, az urán neutronnal történő besugárzását, valamint a kémiai azonosításokat. Ma már tudjuk, hogy a radioaktivitás a lantántól származott. Így *Joliot-Curie*-ék egy hasadási terméket fedeztek fel, de szinte szándékosan félreértelmezték a kísérletek eredményét, annyira hihetetlen volt számukra a helyes következtetés.

Végül *Otto Hahn* és *Fritz Strassmann* (1902–1980) vegyészek, valamint *Lise Meitner* fizikus szisztematikus kísérletei és pontosabb adatokkal, a cseppmodell felhasználásával végzett számításai segítségével fedezték fel a maghasadást (3. ábra). *Lise Meitner* unokaöccsével, *Otto R. Frisch*sel közösen írt, 1939. február 11-én megjelent cikkükben adták meg a folyamat magyarázatát.<sup>2</sup> A felszabaduló összes mozgási energiára napjainkban is elfogadott becslést adtak, amely 200 MeV [5].

A maghasadás elméletének alapgondolata az atommag cseppmodellje alapján röviden a következő: Két energiatagot kell figyelembe venni, a Coulomb-energiát és a felületi energiát. Az utóbbi annak következménye, hogy az atommag felületén lévő nukleonok kevésbé járulnak hozzá az atommag kötési energiájához, mint a mag belsejében lévők.

<sup>2</sup> “possible that the uranium nucleus has only small stability of form, and may, after neutron capture, divide itself into two nuclei of roughly equal size (the precise ratio of sizes depending on finer structural features and perhaps partly on chance). These two nuclei will repel each other and should gain a total kinetic energy of c. 200 MeV, as calculated from nuclear radius and charge.”



3. ábra. A mérési összeállítás – amellyel Otto Hahn, Lise Meitner és Fritz Strassmann felfedezte a maghasadást – rekonstrukciója a müncheni Deutsches Múzeumban.

Az atommagot gerjesztve, például egy neutron befogódása során felszabaduló energiával, a mag oszcillálni kezd, felülete, ezzel együtt a felületi energiája is megnövekszik, amely a mag eredeti alakjának visszaállítására törekszik. Az elektrosztatikus taszítás azonban a mag még nagyobb deformációját segíti elő. Amennyiben az elektrosztatikus erő nagyobb lesz a felületi feszültségnél, a deformáció tovább növekszik, és a mag széthasadhat. A legtöbb atommag esetében a felületi feszültség sokkal nagyobb, mint a Coulomb-taszítás, és gyorsan helyreáll a stabil magalak. A gerjesztést a mag gamma-sugárzással, vagy nukleonok kibocsátásával leadja. Csak a legnehezebb elemek atommagjaiban akkora a protonok száma, hogy az atommag viszonylag kis deformációja hasadáshoz vezethet. A Földön csak egyetlen ilyen természetes atommag létezik, az urán 235-ös tömegszámú izotópjá.

Az egy nukleonra jutó átlagos energia a következőképp írható fel:

$$\epsilon = \frac{E}{A} = -\epsilon_V + \epsilon_F A^{-1/3} + \epsilon_C A^{-4/3} Z^2 + \epsilon_p (A - 2Z)^2 A^{-2},$$

amelyben  $E$  az energia,  $A$  a tömegszám,  $Z$  a protonok száma (a rendszám),  $\epsilon_V$  térfogati,  $\epsilon_F$  felületi,  $\epsilon_C$  Coulomb- és  $\epsilon_p$  Pauli-tagok, amelyek állandók és minden mag esetében azonosak. A függvény minimumhellyel rendelkezik, amelyet meghatározva a tömegszámra közelítőleg 52 adódik, amelyhez a 26-os rendszámú vas tartozik.

Összefüggésünk segítségével azt is meg lehet becsülni, hogy a maghasadás mekkora protonszám felett járna energiaszabadulással. Egyszerűség kedvéért a könnyű magokra érvényes fele proton, fele neutron arányt használva, továbbá feltételezve azt, hogy két egyforma mag keletkezik, a  $Z = 36$ , vagyis a kripton-tól kezdve a maghasadás energia felszabadulással jár. Ez azért nem következik be mégsem, vagyis a nagyobb rendszámú atommagok azért stabilak, mert a gömb alakú mag deformációja két egymást érintő kisebb gömb alakú hasadvánnyá a felületi energia erőteljes növekedésével jár, azaz potenciálgátat kell leküzdeni. Csak ez után repül szét a két hasadványmag, ami a Coulomb-taszítás folytán jelentős energiaszabadulás mellett történik.

A nehéz magok teljes  $E$  kötési energiája a következő összefüggéssel becsülhető meg:

$$E(A, Z) = -\epsilon_V A + \epsilon_F A^{2/3} + \epsilon_C \frac{Z^2}{A^{1/3}} + \epsilon_p \frac{(N - Z)^2}{A}.$$

Ennek segítségével az urán esetében valóban megkapható a körülbelül 200 MeV hasadási energia.

A hasadás energianyereséges, ha a Coulomb-energiatag nagyobb értékkel csökken, mint amennyivel a felületi tag növekszik. A hasadás  $E_b$  energiáját megbe-csülő modellszámításunkban vegyük azt, hogy két feleakkora tömegszámú és feleakkora magra hasad szét az urán 235-ös izotópjá!

$$E_b = E(A, Z) - 2E\left(\frac{A}{2}, \frac{Z}{2}\right).$$

Írjuk fel a második tagot!

$$2E\left(\frac{A}{2}, \frac{Z}{2}\right) = 2\left[-\epsilon_V \frac{A}{2} + \epsilon_F \left(\frac{A}{2}\right)^{2/3} + \epsilon_C \left(\frac{Z}{2}\right)^2 \left(\frac{A}{2}\right)^{-1/3} + \epsilon_p \left(\frac{A}{2} - Z\right)^2 \left(\frac{A}{2}\right)^{-1}\right]$$

Írjuk fel a hasadás során felszabaduló energiát! Vegyük észre, hogy eben már csak a felületi tag és a Coulomb tag marad meg!

$$E_b = \epsilon_F A^{2/3} \left[1 - 2\left(\frac{1}{2}\right)^{2/3}\right] + \epsilon_C Z^2 A^{1/3} \left[1 - 2\left(\frac{1}{2}\right)^2 \left(\frac{1}{2}\right)^{-1/3}\right]$$

A számításokat elvégezve:

$$E_b \approx -0,74 \text{ pJ } A^{2/3} + 0,04 \text{ pJ } Z^2 A^{1/3} \approx 0,04 \text{ pJ } A^{2/3} \left(\frac{Z^2}{A} - 19\right).$$

Helyettesítsük be az  $A = 235$ , és a  $Z = 92$  értékeket, akkor a hasadás energiájára körülbelül 27 pJ adódik. Egy 235-ös uránmag hasadásakor körülbelül 30 pJ energia szabadul fel, ami nagyjából 200 MeV.

Lise Meitner (1878–1968) *Boltzmann* tanítványa volt. 1906-ban doktorált Bécsben, értekezésének témája: *Hővezetés homogén testekben*. 1907-ben ment Berlinbe, ahol Otto Hahnnal dolgozott 30 éven keresztül a Vilmos Császár Intézetben. Az első években csak az alagsorban dolgozhatott, mint fizetés nélküli segédező. 1907-ben kimérte a béta-sugárzás energiaspektrumát, amely folytonos, nem pedig az atomok esetében megszokott diszkrét szintekből áll. Gammaspektrum-méréseket is végzett. 1917-ben Hahnnal közösen felfedezték a tórium és az urán közt lévő elemet, amely a protaktínium nevet kapta. 1919-ben kinevezték az első női profesz-



szornak Németországban. 1932-ben a neutron tömegének pontos megmérése fűződik a nevéhez. Az általa meghatározott neutrontömeg kicsit nagyobb a proton tömegénél – ez a különbség sokáig vita tárgya volt abban az időben. Ő mutatta ki először az elektron–pozitron párképződést.

1938-ban Németország bekebelezte Ausztriát, és Meitnernek, zsidó származása miatt, menekülnie kellett. Végül Svédországba ment. Élete további részét Svédországban töltötte, ahol az atomerőművekkel kapcsolatos program egyik fontos személyiségként tevékenykedett. Emlékére a 109-es rendszámú elem a meitnerium (Mt) nevet kapta.



Cikksorozatunkban néhány, a radioaktivitás korai történetéhez tartozó felfedezést, kutatót mutattunk be, különös tekintettel a nőkre. Célunk az emlékezés, a múlt azon értékeinek bemutatása volt, amelyre büszkék lehetünk.

De ezen kívül célunk volt az is, hogy olyan gondolatmeneteket ismertessünk meg, amelyekről úgy gon-

doljunk, hogy az oktatás számára hasznosak lehetnek – nem csak a közoktatásban, hanem a felsőoktatásban is. A történet során alkalmunk adódott, hogy ne csak a végeredményt mutassuk be, hanem az ahhoz vezető utat, megvitassuk a felmerült kérdéseket, elemezzük a nemegyszer rendkívül ötletes kísérleti elrendezéseket is. Az első részben bemutatott számításaink, becsléseink érdekessé tehetik a feladatmegoldó órákat, gyakorlatokat, hiszen konkrét kutatások során felmerült kvantitatív problémákat lehet megoldani.

#### Irodalom

1. Goldsmith, M.: *Frédéric Joliot-Curie*. Gondolat Könyvkiadó, Budapest, 1979.
2. Hráskó P.: Epizódok a maghasadás felfedezésének történetéből. *Természet Világa* különszám (2006) 59–66.
3. Noddack, I.: On Element 93. *Zeitschrift für Angewandte Chemie* 47 (September, 1934) 653.
4. Inzelt G.: *Vegykönyhájában szintén megteszi*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2006.
5. Meitner, L., Frisch, O.R.: Disintegration of Uranium by Neutrons: A New Type of Nuclear Reaction. *Nature* 143 (Febr. 11, 1939) 239–240.

## MINDENTUDÁS AZ ISKOLÁBAN

# SZÉNHYDROGÉNEK SZEREPE A JÖVŐ ENERGIAELLÁTÁSÁBAN

Az utóbbi időben hazánk és a világ energiaellátása az érdeklődés homlokterébe került. Napjainkban a világ energiafelhasználásának közel 60 százalékát a kőolaj és a földgáz szolgáltatja. Ugyanakkor az optimista előrejelzéseket megcáfolva a kőolaj ára az utóbbi hónapokban eddig sohasem látott magasságokba szökkent. Meggyőződésem, hogy a jövő kilátásait nem lehet a geológiai adottságok figyelembe vétele nélkül helyesen megítélni. Ezt kívánja elősegíteni ez a rövid ismertetés.

A szénhidrogén-előfordulásokat konvencionális és nem-konvencionális csoportra osztják. Ezek évmilliókkal ezelőtt élt tengeri élőlények szerves anyagának 80–110 fokos hőmérsékleten és nagy nyomáson történt vegyi átalakulása révén jöttek létre. A keletkezett kőolaj és földgáz elkezdett a kisebb nyomás irányába vándorolni, amíg egy záró kőzet meg nem akadályozta a vándorlást. Csapdákknak nevezik ezeket a földtani szerkezeteket. Ezek többnyire boltozatok, vagy törésvonalak menti kiemelkedések (1. ábra). A csapdák felső részén helyezkedik el a földgáz, alatta a kőolaj és legalul víz. A mai termelés zöme konvencionális előfordulásokból történik.

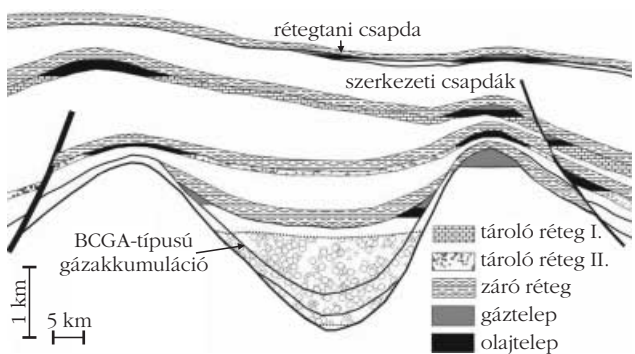
A nem-konvencionális kőolaj-előfordulásokhoz tartoznak az *olajhomokok*, amelyek erősen viszkózus bitument tartalmaznak. Legnagyobb ismert előfordulásuk Kanadában, Alberta tartományban van, ahol e homokok nagy területen a felszínre is kibukkannak. Itt nagy külfejtésekben, hagyományos bányászati

módszerekkel termelhetők ki. A költségeket nagyon megnöveli, hogy a bitument csak forró gőzzel és kémiai oldószerekkel lehet a homoktól elválasztani.

A közepesen viszkózus *nehéz olajok* átmenetet képeznek a hagyományos kőolaj és a bitumen között. Legnagyobb ismert előfordulásuk Venezuelában, az Orinoco torkolatvidékén van. Gazdaságos kitermelésük ma még nem megoldott.

Az *olajpalák* olyan márgás kőzetek, melyek pórusait kerogén tölti ki. Erősen viszkózus, éretlen kőolaj ez. Fő ismert előfordulásai az Egyesült Államokban, Utah, Colorado és Wyoming államokban vannak. Hatalmas készletekről van szó, de gazdaságos kitermelésüket és feldolgozásukat eddig nem sikerült megoldani.

1. ábra. Kőolaj- és földgázlelőhelyek kialakulása



A nem-konvencionális földgáz-előfordulások legfontosabbjai az úgynevezett *BCGA-típusú előfordulások* (Basin Centered Gas Accumulations) több ezer méter mélységben a szokásosnál nagyobb nyomáson és hőmérsékleten halmozódtak fel. A nagy nyomás miatt a kőzet pórusai nagyrészt elzáródtak és ez nagy akadályt jelent a földgáz kitermelésének. Hazánkban a Makói-árokban található egy ilyen előfordulás. Legfontosabb ismert telepei az Egyesült Államokban, a Sziklás-hegység keleti előterében találhatók.

A legkevésbé megismert nem-konvencionális gáz-előfordulások a *metán-klatrátok*. A metán-hidrát kristályok belsejében helyezkedik el. Hideg égővek óceáni üledékeiben és az örök fagy talajaiban találhatók. Hatalmas készleteket képeznek, de kinyerésük és feldolgozásuk még a jövő feladata.

## A kutatás és a kitermelés módszerei

A kutatások első lépése a földtani térképezés annak megállapítására, hogy vannak-e az adott területen szénhidrogén-előfordulások jelenlétére utaló földtani szerkezetek. *Eötvös Loránd* nevéhez fűződik a torziós inga megalkotása, amely a geofizikai szénhidrogén-kutatás alapjait vetette meg. Napjainkra a geofizika a szénhidrogén-kutatás egyik legfontosabb eszközévé vált. Legsikeresebb módszere a szeizmika, amely robbantással, vagy vibrációval állít elő mesterséges földrengéshullámokat. Ezek számítógépes kiértékelése lehetővé teszi a tároló szerkezetek (rezervoárok) térbeli helyzetének meghatározását.

A felszíni kutatásokat követik a *fúrások*. Az első sikeres olajkutató fúrást 1848-ban Baku térségében *F.N. Szemjonov* orosz mérnök mélyítette. A fúrási technológia azóta óriásit fejlődött. A függőleges fúrások mellett ferde, sőt vízszintesre elterelt fúrások is megvalósultak, amelyek a kutatás mellett a kitermelést is szolgálják. A fúrások 6–8000 méterre is lehatolnak. Hazánkban az eddigi legmélyebb fúrás a Makó 7 számú 6085 méter mélységgel (2006).

A fúrások kezdetben csak a szárazföldön folytak, majd kiterjedtek a „kontinentális talapzatok” sekély, 50–500 méter mély részeire, például az Északi-tengerben. A fúrás ilyenkor mesterséges szigeteken történik. Az utóbbi években a fúrások 1000–3000 méter mély tengerrészekre is kiterjedtek, például a Mexikói-öbölben és Brazília délkeleti partjai mentén. Ezek jóval költségesebbek a szárazföldi fúrásoknál.

## A készletszámítások bizonytalansága

Hazánkban a közvélemény, a gazdaság és a politika szereplőinek nagy része a Föld szénhidrogénkészleteit szinte kimeríthetetlennek tartja, de legalábbis a 21. század végéig elégségesnek véli. Pedig a szénhidrogének nem megújuló erőforrások, készleteik végesek. A nyilvántartott készletek ismeretességük szerint két fő csoportra oszthatók: a reménybeli és az ismert készle-

tekre. A *reménybeli készletek* csak földtani és geofizikai ismeretekre alapozott szakértői vélemények. Lehet, hogy az adott helyen a mélyben a feltételezettnél sokkal több szénhidrogén van, de lehet, hogy egyáltalában nincsen. Az *ismert készletek* fúrások eredményeire alapulnak, de a földtani szerkezetek változékonysága miatt ezeknek is nagy a bizonytalansága. A bizonytalanság mértéke szerint *lehetséges, valószínű* és *bizonyított* készleteket különböztetnek meg. Az utóbbiak bizonytalansága a legkisebb, de még mindig 10–30%. Földtani vagyonnak nevezik a föld mélyében ténylegesen jelen levő szénhidrogén-mennyiséget. A *kitermelhető vagyon* ennek a gazdaságosan kitermelhető része. A technika jelenlegi szintjén a tényleges (földtani) kőolajkészlet 30–40%-a, a földgáz 75–90%-a termelhető ki. Világszerte nagy erőfeszítéseket tesznek a kitermelhető arány megnövelésére.

A *kitermelhető vagyont* szénhidrogénmezőnként és országonként összesítik. Egyes állami intézmények, például az USA Földtani Szolgálat (USGS), vagy multinacionális cégek évente globális összesítéseket készítenek. Ezek eredményei sajnos lényegesen eltérnek egymástól. Ennek egyik oka a készletszámítások bizonytalansága, a másik a manipulálások lehetősége. Sajnos ma a készletek körülbelül 90%-a nem auditált, azaz független külső szakértők által nem ellenőrzött, tehát „bemondásos” alapon jelenik meg. Tapasztalataim szerint főleg a Közel-Kelet országaiban gyakori a készletek manipulálása. Az is megtévesztő, hogy ezek a globális táblázatok országonként egyetlen számot közölnek, mintha ezek teljes pontosságot fejeznének ki.

## A mai készletek és termelés

Tapasztalataim szerint a British Petroleum (BP) éves készlet- és termelés-kimutatásai a legmegbízhatóbbak, ezért a következőkben legutolsó, 2007 júniusában megjelent kimutatásait ismertetem, amelyek a 2006. évre vonatkoznak. E szerint ez év végén a világ „bizonyított” kőolajkészlete 164,5 gigatonna, illetve 1198,0 gigahordó volt. (Egy hordó, angolul barrel, 157,35 liternek felel meg.) Persze ehhez  $\pm 30\%$  bizonytalanságot kell figyelembe venni. E készletek mintegy 77%-a állami kézben van, a nagy multinacionális cégek részesedése fokozatosan körülbelül 10%-ra csökkent.

A világ legnagyobb, „bizonyított” kőolajkészletekkel rendelkező országai: 1. Szaúd-Arábia 36,3 Mrd tonnával, 2. Irán, 18,9 Mrd t; 3. Irak, 15,5 Mrd t; 4. Kuvait, 14,0 Mrd t; 5. Egyesült Arab Emírségek, 13,0 Mrd t. A Közel-Kelet országaiban van az ismert kőolajkészletek 65%-a.

Hazánk az Országos Bányászati és Földtani Hivatal (OBFH) kimutatása szerint 0,016 Mrd tonna bizonyított kőolajkészlettel rendelkezik. A legnagyobb olajmezők Algyő, Nagylengyel, Lovászi és Budafa.

A világ legnagyobb kőolaj termelő országai 2006-ban: 1. Szaúd-Arábia, 13,1%; 2. Oroszország, 12,3%; 3. Egyesült Államok, 8,0%; 4. Irán, 5,4%; 5. Mexikó, 4,7%; 6. Kína, 4,6%.



A világ kőolajtermelése 2005-től 2006-ra csak 0,4%-kal nőtt, tehát stagnál.

A világ „bizonyított” földgázkészlete a kimutatás szerint 181,5 tera m<sup>3</sup>. A legnagyobb készletekkel rendelkező országok: 1. Oroszország, 47,6 Tm<sup>3</sup>; 2. Irán, 28,1 Tm<sup>3</sup>; 3. Katar, 25,4 Tm<sup>3</sup>; 4. Szaúd-Arábia, 7,1 Tm<sup>3</sup>; 5. Egyesült Arab Emírségek, 6,1 Tm<sup>3</sup>; 6. Egyesült Államok, 5,9 Tm<sup>3</sup>.

Hazánk az OBFH kimutatása szerint 0,06 Tm<sup>3</sup> ismert földgázkészlettel rendelkezik.

A legnagyobb földgáztermelő országok 2006-ban: 1. Oroszország, 40,4%; 2. Egyesült Államok, 18,5%; 3. Kanada, 6,5%; 4. Irán, 3,7%; 5. Norvégia, 3,0%; 6. Algéria, 2,9%.

A világ földgáztermelése 2005-ről 2006-ra a kőolajénál jóval dinamikusabban, 3,0%-kal nőtt.

## A jövő kilátásai

A jövő kilátásaira nézve a következő négy kérdést tartom a legfontosabbnak:

1. Mennyi szénhidrogén felkutatására van még remény és hol?

2. Mekkora lesznek e kutatások költségei és kockázatai?

3. Milyen ütemben fognak nőni a világ gazdaság szénhidrogénigényei?

4. Miként alakulhat a szénhidrogén-termelés az elkövetkező évtizedekben?

*1. kérdéshez:* A mérsékelt égövi, szárazföldi területeken érdemi készletnövekedést nem várok. Ezt bizonyítja az ismert készletek mintegy 65%-át adó *óriás mezők* megtalálási arányának rohamos csökkenése az utóbbi három évtizedben. A szub-poláris és poláris térségekben (Alaska, Észak-Kanada, Észak-Szibéria) nem kizárt jelentős készletek jelenléte. Súlyos akadály a zord éghajlat és az infrastruktúra hiánya. A sekély tengerek térségein az utóbbi évtizedekben intenzív kutatás folyt. A kimutatott mezőkön azonban a termelés csökken. Itt sem számítok érdemi készletnövekedésre. A mélyvízi óceánpart-menti övezetekben (Mexikói-öböl, Brazília, Angola és Nigéria parti övezetei) az utóbbi években új mezőket találtak 1000–3000 méter tengerszélvonal alatt. Itt további készletnövekedés remélhető. A nem-konvencionális kőolajkészletek közül az olajhomokok főleg Kanadában jelentősek. Ugyancsak jelentősek a BCGA-típusú földgáz-előfordulások.

*2. kérdéshez:* A szubpoláris és a poláris, valamint a mélyvízi térségekben a kutatások költsége messze meghaladja a hagyományos szárazföldi kutatások költségeit. A tengeri szénhidrogén-kutatást a tengeri viharok súlyosan veszélyeztetik. Jó példa erre a 2005-ös hurrikán, amely a Mexikói-öbölben számos kutatófűrészt elpusztított, milliárd dolláros kárt okozva. További súlyos költségnövelő tényező a kutatási infrastruktúra nem várt gyors elhasználódása (korrózió stb.). Növekvő kockázati tényező a Közel-Keleten a fundamentalista terrorizmus, amelynek további ala-

kulása ma kiszámíthatatlan. A nem-konvencionális kőolajhomokok és a BCGA-típusú földgáz-előfordulások kitermelése és feldolgozása is jóval költségesebb a hagyományosaknál, sőt számos esetben maga a gazdaságos kitermelhetőség is kérdéses. Mindezeket figyelembe véve az utóbbi hónapok rohamos kőolajár-növekedését sem lehet kizárólag a termelők profitérvelésével magyarázni, hanem a termelés és feldolgozás növekvő költségei is jelentős szerepet játszanak ebben. Tévesek szerintem egyes közgazdászok várakozásai, amelyek jelentős és tartós árcsökkenéssel számolnak.

*3. kérdéshez:* A világgazdaság szénhidrogénigényeinek növekedését közelítően lehet előre jelezni. A British Petroleum 2007-ben készült értékelése szerint 1996 és 2006 között a globális növekedés évi 3–4% volt. A 2050-ig terjedő időszakra óvatos becsléssel 2–3% éves növekedést tételeznek fel. A világgazdaság kőolajfogyasztása 1996 és 2006 között évente 1,5%-kal, a földgázfogyasztás pedig 2,5%-kal nőtt. Az előrejelzés szerint a kereslet 2050-ig évente kőolajra 1–2%-kal, a földgázra 2–3%-kal fog nőni.

*4. kérdéshez:* A közvélekedés nagy tévedése az, hogy a jövő évtizedek szénhidrogén-termelését a kereslet fogja meghatározni. Szerintem a földtani, a technikai feltételek, valamint a kitermelés költségei együttesen fogják megszabni az elérhető maximális termelést. A termelés minden mezőn szükségszerűen a lassú növekedés után egy csúcspontot ér el és onnan fokozatosan csökken a mező lezárásáig. Ma globálisan körülbelül négyszer annyi olajat termelünk, mint amennyit új kutatással megtalálunk. Azt, hogy a globális termelési csúcspont mikor következik be a szakértők és intézmények eltérően ítélik meg. Becsléseik 2007 és 2037 között mozognak. (Szerintem a korábbi évhez állunk közelebb.) Földgázra a termelési csúcspont 2035 és 2045 között tételezik fel.

## Következtetések

1. Nem tudjuk egyértelműen megmondani, hogy melyik előrejelzésnek van igaza, mert a készletek körülbelül 90%-a nem auditált. Nem látok reményt az auditálás érdemi kiterjesztésére a közeli jövőben.

2. Kicsiny a valószínűsége a hazai konvencionális készletek érdemi megnövelésének. A földtani, geofizikai és fúrásos kutatást mégis folytatni kell, mert kis mezők is lehetnek gazdaságosak.

3. A makói árok BCGA-típusú földgáz-előfordulásának továbbkutatása indokolt a gazdaságos kitermelhetőség megállapítása céljából.

4. Hazánkban fokozott erőfeszítéseket kellene tenni a megújuló alternatív energiaforrások alkalmazására.

5. *A paksi atomerőmű élettartam-hosszabbítását és egy harmadik generációs új blokk építését tartom energiaellátásunk leg gazdaságosabb forrásának.*

Bárdossy György  
az MTA rendes tagja

# Lacza Tihamér: BŰVÖS TÁBLÁZAT – A KÉMIAI ELEMEEK KULTÚRTÖRTÉNETE

Lilium Aurum, Dunaszerdahely, 2006., 263 o.

A nagyalakú, tetszetős kivitelű könyv formálisan hat fejezetre tagolódik, valójában azonban két részre osztható. Az első rész öt fejezete alig több mint felé teszi a könyvnek, és lényegét tekintve tudománytörténeti tartalmú. A tudománytörténet jelentőségét hangsúlyozza is a szerző a bevezetésben, hangoztatva, „...hogya a történelmi vonatkozások és összefüggések ismeretének birtokában jelentősen könnyebbé válik az új tények és tudnivalók befogadása és elrendezése. Sajnos a tudománytörténet még ma is afféle mostohagyereke az általános és középiskolai oktatásnak.” Ugyancsak a bevezetésben olvashatjuk, hogy a könyvet a szerző elsősorban diákoknak és tanároknak, de természetesen más érdeklődőknek is szánja.

A tudósok és kísérleti berendezések képeivel bőségesen illusztrált első rész fejezeteinek tárgya mindenekelőtt a kémia és fizika összefonódott története, az atomelmélet fejlődésének különleges szempontjából tekintve.

Később egy további rövid fejezetben kitér az ókor vegyészeire is, megállapítva mindjárt az első mondatban, hogy „...egyetlen olyan személyt sem tudunk név szerint említeni az ókorból, akiről elmondható volna, hogy a vegytan művelője és tudósa volt”. Az alkímia történetét egy külön fejezetben elég hosszan tárgyalja. Az alkímiánál „...a legfontosabb cél az arany és a bölcsek kövének az előállítása...” volt, az alkímisták mégis számos hasznos tapasztalatot szereztek. Egy korábbi fejezet szól még az elemek születéséről a kozmoszban, végül az első részt lezáró fejezet magát az elemek periódusos rendszerét, előzményeit, kialakulását, változatait tárgyalja. *Lothar Meyer* és *Mengyelejev* szinte egyidejűleg szerkesztették meg táblázatukat az akkor ismert 63 elemre vonatkozólag 1869-ben. „Meyer elsősorban a fizikai jellemzőket, Mengyelejev viszont a kémiai sajátságokat tartotta fontosnak.”

A második rész (a teljes VI. fejezet) az elemek csoportjai szerint van elrendezve és az első részhez hasonlóan képekkel bőven illusztrálva. E szerint a tár-

gyalás a hidrogén-„csoporttal” kezdődik (ebben a csoportban csak a hidrogén van), folytatva a nemesgázokkal, majd sorban következnek a további csoportok egészen a transzurán elemekig (*Az uránon túli világ* címmel). Jelenleg 117 elemet ismerünk, de a sorban az utolsó a 118. rendszámú elem, tudniillik a 117. rendszámúról semmiféle ismeretünk nincs. Meg kell jegyezni, hogy a 104. rendszámú elemtől fölfelé legtöbbször csak néhány atomot sikerült előállítani, a 112. és az ennél magasabb rendszámú elemek pedig nincsenek még elnevezve.

Az elemek egyes csoportjairól a beszámoló egy táblázattal kezdődik, amely összefoglalja a csoport elemeinek legfontosabb tulajdonságait a vegyjellel kezdve egészen a sűrűségig. Ezután következik minden esetben a csoportba tartozó egyes elemek tulajdonságainak, felhasználásának bemutatása. Ezen túlmenően azonban minden elemnél megtaláljuk a szóban forgó elem felfedezésének történetét, a felfedzők nevével együtt. Nem egy elem felfedezésénél elsőségi viták is előfordultak, más esetekben ugyanazt az elemet más kutatók többször is felfedezték, és egy ideig ugyanaz az elem különböző neveken is futott (pl. vanádium, promécium).

Az alkalmazások ismertetésénél sokszor megdöbben az olvasó, hogy egyes kevésbé ismert elemek milyen fontos alkalmazásokat találnak. Hogy csak egyet említsünk: a tiszta ródiium fémből készülnek a csillagászati teleszkópok tükrői.

Egy kritikai megjegyzés! A szerző a 236. oldalon *sugárfertőzésről* beszél. Amennyire helytelen ez a kifejezés a sugárártalomra, annyira kedvelt a médiában.

A könyv végén hasznos, érdekes táblázatokat találunk: az elemeket névsorrendben a felfedezés évszámával és a felfedező nevével, továbbá kislexikont – amelyben a legnevezetesebb kémikusok szerepelnek legfontosabb adataikkal –, végül a felhasznált irodalom jegyzékét.

Berényi Dénes



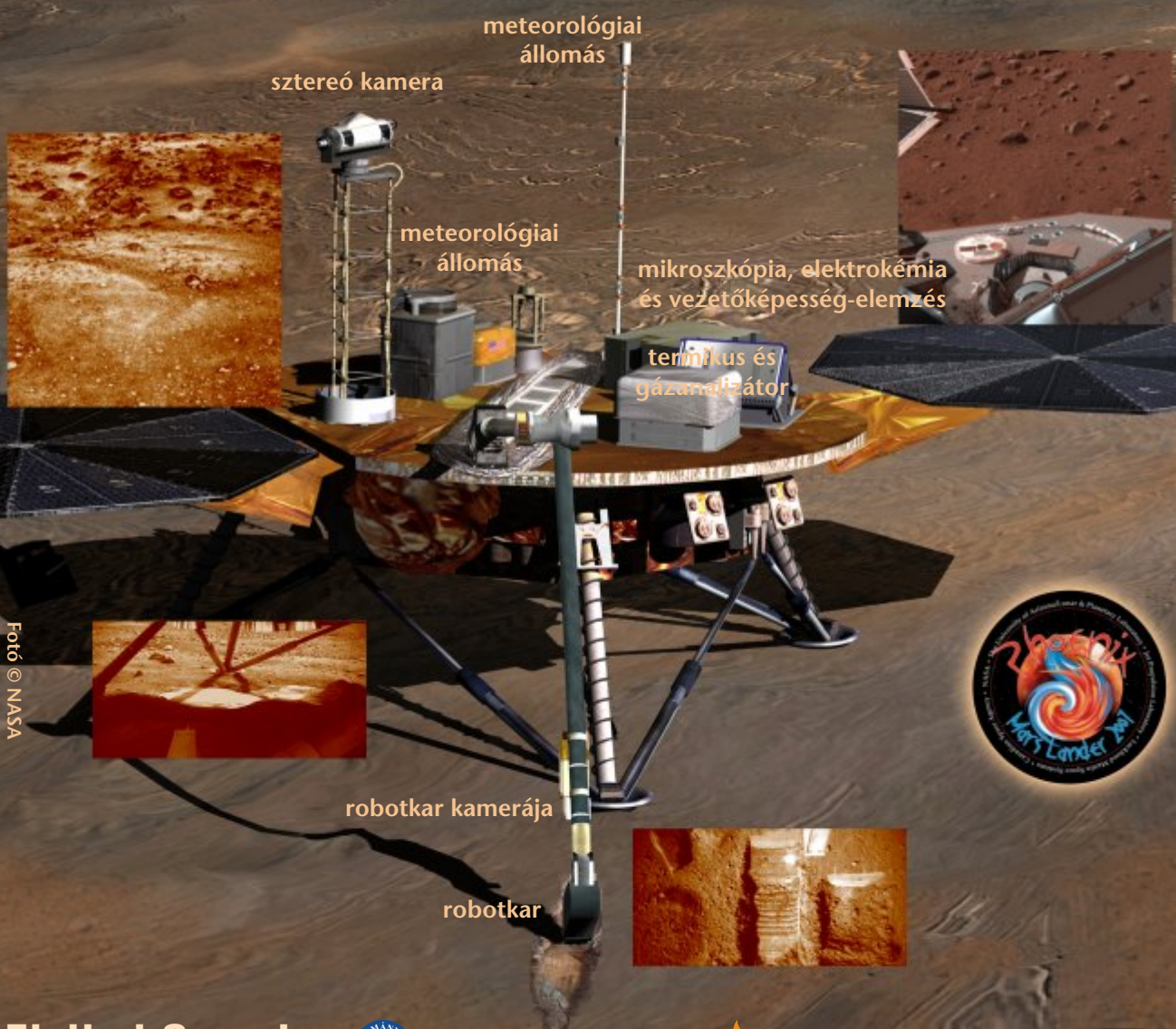
# A Phoenix-szondát

tavaly augusztusban indították útnak, és 679 millió kilométer megtétele után közép-európai idő szerint május 26-án kora hajnalban szállt le a Mars északi sarkköri vidékén.

A NASA az ejtőernyős-fékezőrakétás landolási műveletet választotta, amely ezúttal sikeres volt. A Phoenix elsődleges feladata az lesz, hogy a fagyott talajból vett jégminták megolvasztásával vizet nyerjen, s utánajárjon annak, hogy a marsi víz alkalmas volt-e valamikor akár a legprimitívebb életformák hordozására. A szonda több mint kétméteres robotkarja akár félméteres lyukat is képes fúrni a talajba, hogy jégmintát vegyen.

Az 1,52 méter magas, kiterjesztett napelemeivel együtt 5 méter széles Phoenix tömege 350 kilogramm, ebből 55 kilogrammot nyomnak a tudományos műszerek. Feladatának teljesítésére három hónap áll rendelkezésére a mínusz 73 és mínusz 33 Celsius fok között ingadozó hőmérsékletben.

Jelenleg két másik amerikai szonda, mégpedig két önjáró robot barangol a Mars felszínén immár több mint három éve. A Spirit és az Opportunity azonban a bolygó egyenlítőjének környékén, egy jóval szárazabb vidéken kószál, és ők nem a talajba fúrnak, hanem főként köveket csiszolnak, és az erről készült mikroszkopikus felvételeket küldik a földi irányító központba.



Fotó © NASA

**Fizikai Szemle**  
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését anyagilag támogatják:



# TxIS

## Texas Institute of Science



### *Put TxIS to Work for You*

#### **Texas Institute of Science (TxIS) IP Tech Transfer Division**

TxIS can assist you with your new discoveries and inventions. We are looking for unpublished, laboratory level, new innovations and inventions [collectively referred to as intellectual property (IP)]. TxIS will complete a 'no cost' assessment of your IP to determine the technical and commercial validity. In addition, we can provide financing to further develop or refine your IP. Our ultimate objective is to legally protect your IP while preparing it for marketing and sale to western industries. In the process, TxIS observes your country's IP disclosure, patent, and export laws. TxIS will confidentially handle your IP. If your IP is selected for further development, a Technology Transfer Agreement (TTA) will be signed by TxIS and the IP owner(s) and inventor(s). The TTA clearly defines potential IP development funding and sale revenue allocation. Based upon this successful model, TxIS was able to assemble a Scientific Advisory Board comprised of:

***Dr. Russell Hulse***

Nobel Laureate, 1993

***Dr. László Kapolyi***

Member of Russian and Hungarian Academies of Science

***Dr. Da Hsuan Feng***

Sr. Exec. VP, National Cheng Kung Univ., Taiwan

***Dr. Miroslav Vlcek, DRSC***

Vice-Rector, International Relations, Czech. Tech. Univ., Prague

***Dr. Hasan Pirkul***

Dean, School of Management, Univ. of Texas at Dallas

***Dr. Andrei Zabrodskii***

Director, Ioffe Physico-Technical Institute, St. Petersburg, Russia

***Dr. Alain Bensoussan***

Former Chairman, European Space Agency

Our research has shown that obtaining an international patent filing is highly regarded in academic evaluations. TxIS can provide you this opportunity. The first step in our IP assessment and selection process is a review of the IP's status, benefits over existing technologies, and industrial applications. TxIS will determine if the IP warrants further investigation and provide you feedback within 30 days.

#### ***Potential Benefits to You***

***No cost IP technical and industrial benefit assessment***

***Confidential handling of your IP disclosure***

***Financing to support further IP research and development***

***IP patentability study and patent application filings***

***Marketing and Sale of your IP to western industries***

TxIS is headquartered in Richardson, Texas, U.S.A. We have regional offices throughout Eastern Europe and Russia to provide direct and personal support. If you have any questions or would like further information, please refer to our website or contact us via the email addresses below.



#### **Contact Information:**

**Website:** [www.txis.us](http://www.txis.us)

**E-mail:** [ipsubmittal@txis.us](mailto:ipsubmittal@txis.us)

**Mr. Miklós Németh, TxIS Managing Director**

**Eastern and Central Europe**

**[m.nemeth@txis.us](mailto:m.nemeth@txis.us)**

**Mr. Darrell Benke, TxIS Director**

**IP Tech Transfer Division, Richardson, Texas, U.S.A.**

**[d.benke@txis.us](mailto:d.benke@txis.us)**

