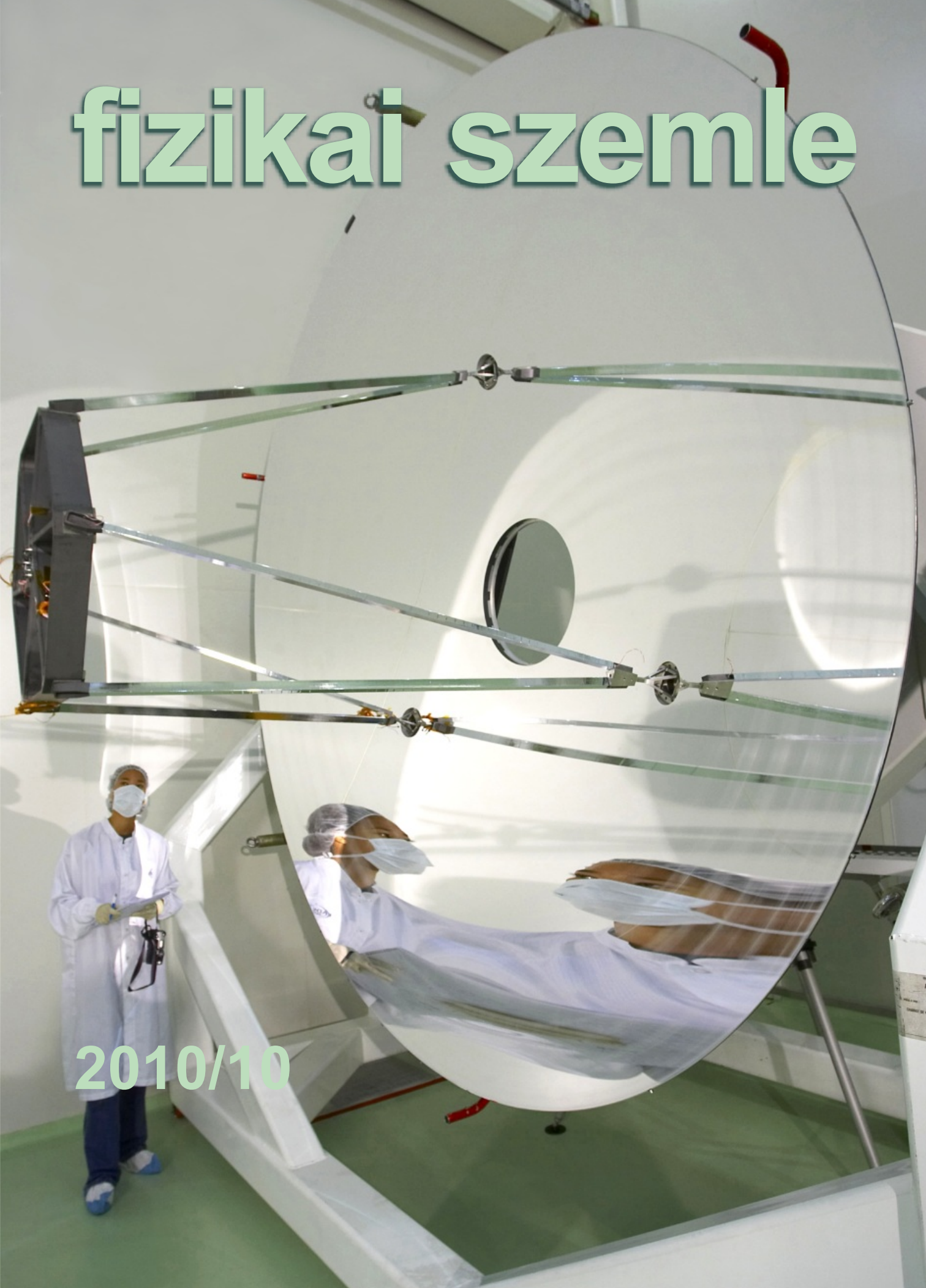


# fizikai szemle



2010/10

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

Főszerkesztő:

Szatmáry Zoltán

Szerkesztőbizottság:

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

Szerkesztő:

Füstöss László

Műszaki szerkesztő:

Kármán Tamás

A folyóirat e-mail címe:

[szerkesztok@fizikaiszemle.hu](mailto:szerkesztok@fizikaiszemle.hu)

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>

A címlapon:

A Herschel infravörös-  
űrobszervatórium 3,5 méter átmérőjű  
főtükre az eddigi legnagyobb átmérőjű  
távcsőtükör az űrszillagászat  
szolgálatában (ESA).

A hátsó borítón:

Fölül: a Herschel és Planck  
űrobszervatóriumok felbocsátása  
Ariane 5 hordozórakétával 2009.  
május 14-én az ESA indítóállomásáról  
(Kourou, Francia Guyana).  
Alul: az ExoMars marsjáró robotjának  
makettje egy 2006-os kiállításon (ESA).

## TARTALOM

<i>Balázs Lajos:</i> Az űrszillagászat európai útterve	325
<i>Patkós András:</i> Puskin utcai kvarkok – I.	331
<i>Kövér Ákos:</i> Elektrosztatikus elektronspektrométerek fejlesztése az ATOMKI-ban	339
<i>Radnai Gyula:</i> Nobel-díjas családok – II.	343

### VÉLEMÉNYEK

<i>Makai Mihály:</i> Színe és fonákja	351
---------------------------------------	-----

### A FIZIKA TANÍTÁSA

<i>Holics László:</i> Észrevétel egy megoldáshoz a KöMaL P. 4225. feladata kapcsán	356
---	-----

### KÖNYVESPOLC

<b>HÍREK – ESEMÉNYEK</b>	360
--------------------------	-----

<i>L. Balázs:</i> The program of the European astronomic space observatories
<i>A. Patkós:</i> Quark research of "Puskin Street" (Eötvös University) – I.
<i>Á. Kövér:</i> The development of electrostatic electron spectrometers at the ATOMKI Institute (Debrecen)
<i>J. Radnai:</i> Nobel-laureate families – II.

### OPINIONS

<i>M. Makai:</i> Sides and back sides of teachers' work
---

### TEACHING PHYSICS

<i>L. Holics:</i> Remark concerning the solution of a problem in the journal KöMaL
--

### BOOKS, EVENTS

<i>L. Balázs:</i> Das Arbeitsprogramm der europäischen astronomischen Weltraum-Observatorien
<i>A. Patkós:</i> Quarkforschung „in der Puskinstrasse“ (Eötvös Universität) – I.
<i>Á. Kövér:</i> Die Entwicklung elektrostatischer Elektronen-Spektrometer im Institut ATOMKI (Debrecen)
<i>J. Radnai:</i> Nobelpreisgekrönte Familien – I.

### MEINUNGSÄUSSERUNGEN

<i>M. Makai:</i> Seiten und Kehrseiten der Arbeit des Lehrers
---

### PHYSIKUNTERRICHT

<i>L. Holics:</i> Bemerkung zur Lösung einer Aufgabe in der Zeitschrift KöMaL
---

### BÜCHER, EREIGNISSE

<i>Л. Балаж:</i> План работы европейских астрономических обсерваторий на спутниках
<i>А. Паткош:</i> Кварки в «улице Пушкина» (Университет им. Этвеша) – I.
<i>А. Кёвер:</i> Разработка электростатических спектрометров электронов в институте АТОМКИ (г. Дебрецен)
<i>Д. Раднаи:</i> Семьи, премированные Нобелевской премией – II.

### ЛИЧНЫЕ МНЕНИЯ

<i>M. Makai:</i> Передняя и задная стороны работы учителей
--

### ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ

<i>L. Holics:</i> Замечание к решению одной задачи в журнале KöMaL
--

### КНИГИ, ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ

**Fizikai Szemle**  
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését anyagilag támogatják:



**nka**  
Nemzeti Kulturális Alap

**mym**  
paksi atomerőmű

**NCA**  
Nemzeti Civil Alapprogram



# Fizikai Szemle

## MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

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

LX. évfolyam

10. szám

2010. október

## AZ ŰRCSILLAGÁSZAT EURÓPAI ÚTITERVE

Balázs Lajos

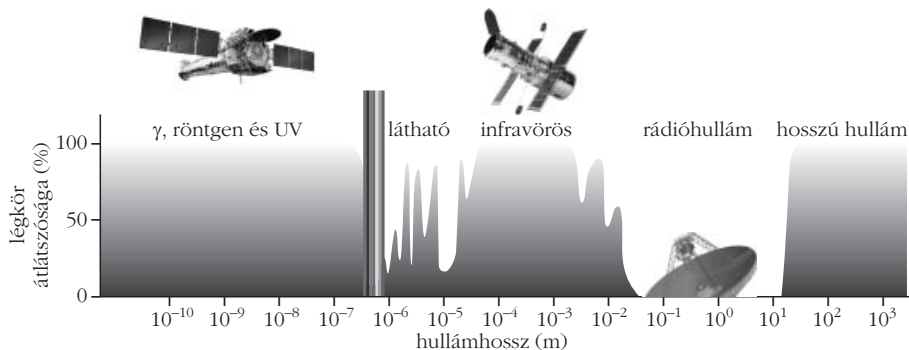
MTA KTM Csillagászati Kutatóintézete

### A csillagászati információ természete

A Kozmoszból az információ túlnyomórészt elektromágneses sugárzás formájában ér el bennünket. A beérkező elektromágneses síkhullámok jellemzői az irány, a hullámhossz, az amplitúdó és a polarizáció.

A valóságban azonban nem lehet egyszerre megmérni ezeket a mennyiségeket. A lehetőségeket a rendelkezésünkre álló eszközök határozzák meg. Történelmileg a csillagászat először az égitestek irányának a megmérését jelentette. A pozíciós csillagászat a navigációban és térképészetben játszott meghatározó szerepe révén a tudomány egyik legnagyobb gyakorlati hasznát hozó ága lett. A megfigyelőműszerek fejlődésével a hullámhossz mérése is lehetővé vált azáltal, hogy a spektrográfok a csillagászati gyakorlatban is megjelentek. Napjainkra a csillagászat a csúcstechnológia fejlődésének egyik húzóágazatává vált. A földi légkör a beérkező elektromágneses sugárzást csak meghatározott hullámhosszakon, „ablakokon”

1. ábra. A földi légkör a Kozmoszból érkező elektromágneses sugárzást csak néhány „ablakban” (az optikai és rádiótartományban, valamint az infravörös egy csekély részében) engedi át. A többi hullámhossztartomány csak az űrbe telepített megfigyelőeszközzel vizsgálható.



engedi át. A többi hullámhossz megfigyelésére az eszközöket a légkörön kívülre kell juttatni (1. ábra). A csúcstechnológia egyik fontos területét a világűrbe telepített csillagászati megfigyelőeszközök jelentik.

### Mi az ASTRONET?

Az ASTRONET-et európai kutatási ügynökségek hozták létre abból a célból, hogy az európai csillagászat fejlesztésére jól megalapozott, hosszú távú úttervet készítsenek. Az volt a cél, hogy megőrizzék és továbbfejlesszék az európai csillagászatnak azt a vezető szerepét, amelyet a 21. század elejére elért.

2006. szeptember 1-jével kezdve az Európai Bizottság 2,5 millió euro összeggel indította útjára az ASTRONET-et, míg a teljes összeg a 4 év futamidőre 3,6 millió eurót tett ki. Az ASTRONET egy úgynevezett ERA-Net, amelyet az Európai Bizottság 6. keretprogramja (FP6) támogatott az Európai Kutatási Téréség (ERA) integrálása és erősítése témában.

Az ASTRONET négy szakértői bizottságot kért fel, és ezeknek a munkája során jött létre a *Science Vision* dokumentum.<sup>1</sup> A munkának az volt a célja, hogy áttekintse az európai csillagászat erőforrásait, a már meglévő tudományos stratégiákat, valamint

<sup>1</sup> Letölthető a [http://www.eso.org/public/archives/oldpdfs/Astronet\\_ScienceVision.pdf](http://www.eso.org/public/archives/oldpdfs/Astronet_ScienceVision.pdf) helyről.

tudományos jövőképet (Science Vision) hozzon létre az európai csillagászat számára, beleágyazva azt a világ egészének a kontextusába.

*Az A) szakértői bizottság által vizsgált kérdéskör: értjük-e az Univerzumban található szélsőséges állapotokat?*

Napjainkban az asztrofizika azon területek egyike, ahol a fizika frontvonalai húzódnak. Ezt nem lehet egyszerűen „alap” és „alkalmazott” területre bontani, minthogy bármely alapvető kutatási cél elérése teljesen gyakorlati problémák megoldását is igényli. Az asztrofizika nagyléptékű és egészen általános kérdésekkel is foglalkozik, például az Univerzum és a benne található struktúrák létrejöttével. Ezen a területen érte el az asztrofizika egyik legnagyobb eredményét: a nem zéró vákuumenergia létének felfedezését.

A munkacsoport által vizsgált legfontosabb kérdések:

- Mi volt az Univerzum kezdeti állapota?
- Mi a sötét energia és sötét anyag?
- Megfigyelhető-e az erős gravitáció „működés” közben?
- Hogyan működnek a szupernóvák és gammakibővítések?
- Hogyan halmozódik fel az anyag a fekete lyukak körül, és utána hogyan lökődik ki nyaláb formájában a környező térbe?
- Mit tanulhatunk a nagyenergiájú sugárzás és részecskék megfigyeléséből?

*A B) szakértői bizottság által vizsgált kérdéskör: hogyan alakulnak ki és fejlődnek a galaxisok?*

Nagyon keveset tudunk a sötét anyag és energia természetéről, és persze sokkal otthonosabban mozgunk a „hagyományos” anyag területén, amely protonokból, neutronokból, elektronokból stb. áll. Mégis, igen sok tennivaló van még, hogy teljesen feltérképezzük a barionos komponens fejlődését. Azt a térfogatot, amelyet a csillagászati megfigyelések elérnek, a  $z = 1000$  vöröseltolódásnak megfelelő felület határolja. Ezen túl a Világegyetem nem átlátszó.

Úgy tűnik, hogy  $z = 7$  vöröseltolódásnál a Világegyetem újra teljesen ionizált, miközben csillagok, galaxisok és kvazárok kezdenek kialakulni, amelyek színpéldében már az előző generációk csillagai által létrehozott fények vonalai is látszanak. Igen nagy kihívás megérteni, hogyan alakultak ki ilyen gyorsan a csillagok, épültek fel a bőrnál nehezebb elemek, galaxisok és szupernagy tömegű fekete lyukak, valamint azt, hogy mi történt ezután a galaxisok jelenleg is megfigyelhető Hubble-osztályainak a létrejöttéig.

A munkacsoport által vizsgált legfontosabb kérdések:

- Hogyan tudunk visszapillantani a „sötét korszakba” és feltérképezni az anyag egészen kis mértékű sűrűsödéseit  $z = 1000$  körül, amelyekből az első csillagok és galaxisok kifejlődtek?
- Melyek a Világegyetem újbóli ionizációjának legfontosabb forrásai: csillagok fénye, fekete lyukak által

működtetett aktív galaxismagok, vagy éppenséggel a szuperszimmetria tulajdonságát mutató, elbomlott részecskék? Milyen hosszú ideig tartott ez a folyamat?

- Hogyan fejlődött ki a galaxisok kozmikus hálója, valamint az intergalaktikus gáz?
- Hogyan történt a galaxisokban, illetve a közöttük levő térben a fény kialakulása és szétszóródása?
- Hogyan jöttek létre a galaxisok jelenleg megfigyelhető Hubble-osztályai, ahogyan azt ma látjuk tömegük, gáz-, csillag-, valamint fémtartalmuk eloszlásában?
- Hogyan alakult ki és fejlődött a mi Galaxisunk, és milyen általános tanulságokat vonhatunk le abból a galaxisok kialakulására és fejlődésére vonatkozóan?

*A C) szakértői bizottság által vizsgált kérdéskör: hogyan keletkeztek és fejlődnek a csillagok és bolygók?*

A csillagok életútjának vizsgálata az asztrofizika alapvető, a következő évtizedekben is egyik legaktívabban kutatott területe. Az anyag körforgása a csillagközi anyagból a csillagokba, majd vissza az az alapvető gépezet, amely a Világegyetem élete során a barionok fejlődését hozza létre. A bolygórendszerek, köztük a miénk is, a csillagok fejlődésének korai szakaszában jönnek létre, és az újonnan keletkezett csillagok körül levő sűrű interstelláris anyag bonyolult kémiai fejlődése szükséges ahhoz, hogy létrejöhessen az élet építőköveiként szolgáló óriásmolekulák. Ezért a csillagok életútjának megértése alapvetően fontos ahhoz, hogy választ találjunk a mi Naprendszerünk és a földi élet, illetve más lakható bolygók és a Világegyetem más helyein létező élet keletkezésére.

A munkacsoport által vizsgált legfontosabb kérdések:

- Hogyan születtek a csillagok?
- Értjük-e a csillagok szerkezetét és fejlődését?
- Mi a csillagközi anyag és a csillagok „életútja”?
- Hogyan keletkeznek és fejlődnek a bolygórendszerek?
- Mennyire sokfélék Galaxisunkban a bolygórendszerek?
- Vannak-e életre utaló jelek idegen bolygókon?

*A D) szakértői bizottság által vizsgált kérdéskör: hogyan kapcsolódunk mindehhez?*

A Naprendszer igen előnyös hely a Világegyetem vizsgálatára. A Nap, a helioszféra és a Naprendszerben levő égitestek, bolygók, holdak, kisbolygók és üstökösök igen fontos szerepet játszanak a csillagok fizikája, a bolygórendszerek kialakulása, valamint az alapvető asztrofizikai folyamatok megértésében. Saját csillagunkat és bolygórendszerét példátlanul részletesen tudjuk tanulmányozni, de sajnos csak egy pillanatfelvétel áll rendelkezésünkre, minthogy a Nap élete milliárd éveket ölel fel. Abból a célból, hogy megértsük Naprendszerünk múltját és jövőjét, össze kell hasonlítanunk azt más csillagokkal és bolygórendszerekkel.

A munkacsoport által vizsgált legfontosabb kérdések:

– Mire tanít bennünket a Nap az asztrofizikai folyamatokról?

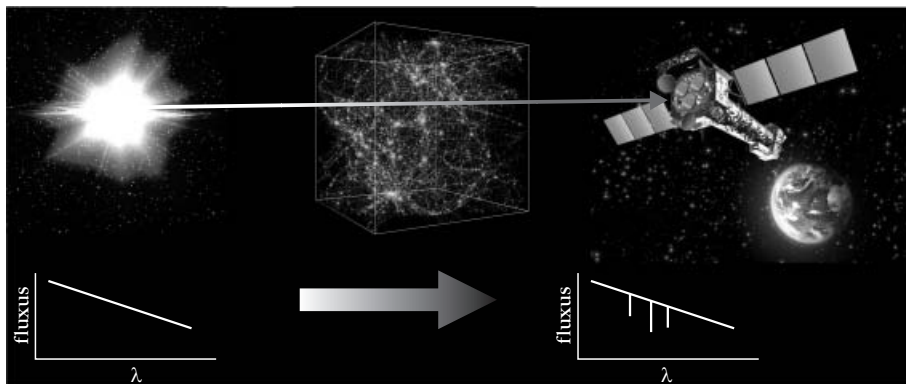
– Mi hajtja a Nap legkülönbözőbb skálákon megnyilvánuló változásait?

– Milyen hatással van a naptevékenység a földi életre?

– Mi a Naprendszer dinamikus története?

– Mit tanulhatunk a Naprendszer vizsgálatából?

– Hol keressük az életet a Naprendszerben?



2. ábra. Az XMM-Newton a Kozmoszból érkező röntgensugárzás mérésére szolgáló űrtávcső.

## Az infrastruktúrális útiterv

Az útiterv alapvető célja az volt, hogy az európai csillagászatnak 20 év távlatában átfogó és megbízható tervet adjon a hatékony infrastruktúra kialakítására. A terv, a *The ASTRONET Infrastructure Roadmap*<sup>2</sup> elkészítésekor a *Scientific Vision* dokumentumban megfogalmazott tudományos célokból indult ki annak érdekében, hogy kielégítse az európai csillagászat infrastruktúrális igényeit az elkövetkezendő 10–20 évben. Az útiterv kimunkálása komolyan 2006 szeptemberében kezdődött, nagyjából akkor, amikor a *Science Vision* már félig készen volt.

Az útiterv megalkotására öt szakértői bizottságot kértek fel, amelyeknek egyenként 7–12 tagja volt. A bizottságok tagjait úgy válogatták össze, hogy rendelkezzenek a szükséges szaktudással, ugyanakkor megfelelő egyensúly legyen az egyes országok, illetve a nemek között.

Az öt bizottság az alábbi tudományos témák infrastruktúrális igényét vizsgálta:

– nagyenergiájú asztrofizika, asztro-részecskefizika, valamint gravitációs hullámok;

– ultraibolya, optikai, infravörös és rádiócsillagászat;

– napteleszkópok, a Naprendszerbe küldendő űrszondák, illetve laboratóriumi vizsgálatok;

– elméleti munkák, számítástechnikai létesítmények és hálózatok, virtuális obszervatórium;

– képzés, új szakemberek toborzása és betanítása, valamint kapcsolat a környező társadalommal.

A továbbiakban az útitervnek csak az űreszközökön alapuló infrastruktúra-fejlesztéssel kapcsolatos részével foglalkozunk.

## Nagyenergiájú asztrofizika

A nagyenergiájú asztrofizika igen nagy ütemben fedez fel új dolgokat, köszönhetően a sikeres űrkísérleteknek, illetve a földi bázisú eszközöknek, amelyek lehe-

tővé tették a Világegyetemben végbemenő legnagyobb energiájú folyamatok tanulmányozását is. A nagyenergiájú űrasztrofizikában Európa részvétele a közeljövőben is folytatódni fog.

### Jelenleg is működő űreszközök

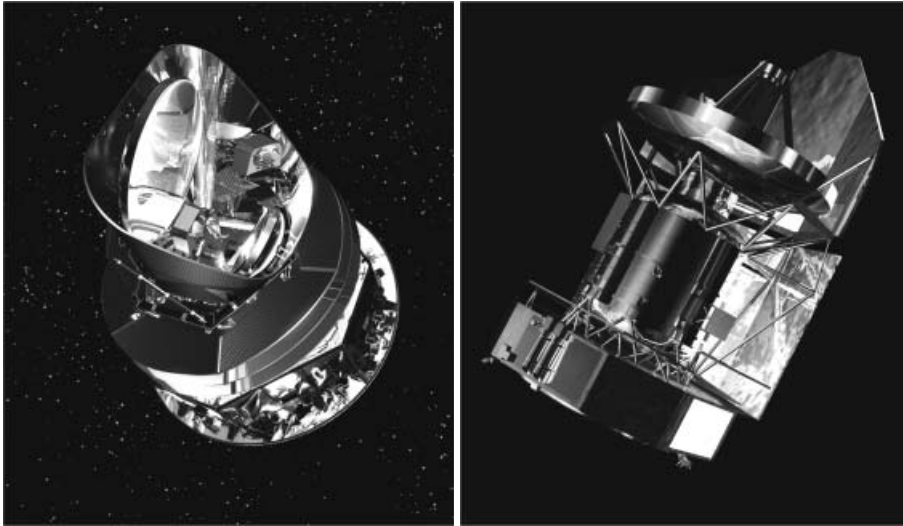
*XMM-Newton*: az XMM-Newton obszervatórium (2. ábra) az Európai Űrgyűlökség (ESA) *Horizon 2000* programjának egyik sarokköve, különös tekintettel a nagy érzékenységű asztrofizikai röntgenspektroszkópiára, illetve képalkotásra. 1999. decemberi felbocsátása óta az XMM-Newton – a NASA *Chandra* obszervatóriumával együtt – alapvető, nemzetközi eszköze a jelenleg ismert legkülönösebb asztrofizikai források vizsgálatának. Ezek közé tartoznak a nagy tömegű fekete lyukak a galaxisok központjában, forró gáz, amely kitölti a halmazokban levő galaxisok közötti teret, forró koronával burkolt aktív csillagok, bolygók körüli forró plazma, kettős rendszerekben levő neutroncsillagok, illetve fekete lyukak, valamint a szupernóva-robbanások után visszamaradt, lökéshullám fűtötte gázfelhő.

*INTEGRAL*: Hat év üzemidő után az INTEGRAL jelenleg a nemzetközi nagyenergiájú asztrofizikával foglalkozó kutatóközösség igen hatékony eszköze, amelynek segítségével több száz forrás nagyenergiájú sugárzását figyelték meg mind a Galaxisban, mind a távoli Világegyetemben. Jóllehet a pályára kerülés utáni első néhány évben többnyire galaktikus forrásokat figyeltek meg, az extragalaktikus források aránya egyre nő, és ennek eredményeképpen több távoli, aktív magú galaxist (AGN) fedeztek fel, egészen  $z = 3,7$  vöröseltolódásig. Az INTEGRAL rendkívül eredményes űrtéleszkóp a nagy kihívást jelentő keményröntgen- és gammatartományban.

### Űrbázisú, rövid távú kísérletek (–2015)

*Simbol-X*: a Simbol-X a keményröntgen-tartományban dolgozó képalkotó mesterséges hold, Franciaország és Olaszország vezetésével, Németország részvételével; felbocsátását 2014-ben tervezik. A működés tervezett időtartama rövid, és a közepes méretű űreszköz az első lesz a kötelékrepülés megvalósítá-

<sup>2</sup> A *The ASTRONET Infrastructure Roadmap* letölthető a <http://www.astronet-eu.org/IMG/pdf/Astronet-Book.pdf> címen.



3. ábra. Az egy hordozórakétával pályára juttatott Planck (balra) és Herschel (jobbra) űrtávcső. A Herschel tükrének átmérője (3,5 m) az eddigi legnagyobb űrtávcső (a Hubble űrtávcső főtükrére 2,4 m átmérőjű).

sában. A nagy (20 m-es) fókusztávolság, amelyet a tükör és az észlelő berendezés külön űrszondára telepítése valósít meg, egyedülálló lehetőséget ad a nagyenergiájú asztrofizikának arra, hogy képpalkotó távcsöve legyen a keményröntgen-tartományban (10–80 keV).

### Űrbázisú, középtávú kísérletek (2016–2020)

*X-ray Evolving Universe Spectroscopy (XEUS) / International X-ray Observatory (IXO)*: a XEUS a három nagy űrkísérlet egyike, amelyet az ESA választott ki a Cosmic Vision program keretében, további részletesebb tanulmányozásra. Az űrtávcső az ESA új generációs röntgenobszervatóriuma, és a nagyenergiájú asztrofizika számára teljesen egyenértékű az elektromágneses színekép más tartományait vizsgáló tervezett obszervatóriumokkal (SKA, ALMA, JWST, E-ELT, CTA). 2008 májusában az ESA, a NASA, valamint a japán JAXA egyeztető bizottságot hozott létre azzal a céllal, hogy vizsgálja meg egy együttes űrkísérlet lehetőségét, amely egyesíti a jelenleg fejlesztés alatt álló XEUS-t és Constellation-X-et, kifejlesztve belőlük az International X-ray Observatoryt. A jelenlegi kutatási élvonalnak megfelelő tudományos célokból egy listát állítottak össze, és megfogalmazták a hozzá tartozó mérési igényeket. A kezdeti elképzelések szerint az IXO olyan űrtávcső lesz, amely egy röntgentartományban működő nagy tükörből, 20–25 m fókuszu, bővíthető optikai padból áll majd, aminek változtatni lehet a fókuszsíkját.

*Laser Interferometer Space Antenna (LISA)*: A LISA űrbe telepítendő, gravitációs hullámokat észlelni képes csillagászati obszervatórium, és a 0,1 mHz – 0,1 Hz alacsony frekvenciájú tartomány mérését teszi lehetővé, amely nem érhető el földi bázisú eszközökkel. Ebben a tartományban egy sor asztrofizikai forrás található a Tejútrendszerben, mégpedig a kompakt csillagokból (fehér törpék, neutroncsillagok,

fekeete lyukak) álló objektumok. Ezek közül a legismeretesebbek „garantáltan” megfigyelhetők, és nagy jel/zaj arányú kalibrációs forrásként szolgálnak. A LISA segítségével elkészíthető a Galaxisban levő kompakt kettős rendszerek legteljesebb leltára, megfigyelve több ezer ilyen objektumot, beleértve olyanokat is, amelyek optikailag nem láthatók. A LISA néhány tíz, esetleg száz fekete lyuk-kettőst is felfedezhet, amelynek a tömege  $10^4$ , vagy akár  $10^7$  naptömeg is lehet, és nagy jel/zaj aránnyal egészen  $z = 30$  vöröseltolódásig is észlelhető.

### Ultraibolya, optikai és infravörös csillagászat

A fenti hullámhossztartomány igen nagy jelentőségű a *Science Vision* dokumentumban megfogalmazott számos kérdés megválaszolására, a kozmológiától kezdve a Naprendszerig bezárólag. Az optikai/közeli-infravörös, illetve a rádiótartomány a földi megfigyelő állomásokról is észlelhető. Az optikai/közeli-infravörös tartományban Európa vezető szerephez jutott a világban a négy igen nagy távcsővel (VLT), illetve a belőlük létrehozható optikai interferométerrel. A (szub)milliméteres tartományban Európa világszínvonalú földi bázisú távcsöveket hozott létre és működtet nagy tengerszint feletti magasságban telepített obszervatóriumokban.

Az ESA *Horizon 2000* és a *2000 Plus* programjának köszönhetően Európának vezető szerepe van az űrtudományokban, de nem minden hullámhossztartományban. Az ultraibolyában csak igen kis hozzáféréssel rendelkezik a Hubble-űrtávcsőben történő ESA-részvétellel köszönhetően, de nincs olyan európai részvétellel futó űrkísérlet, amely lehetővé tenné a távoli-UV, illetve az extrém-UV tartomány vizsgálatát.

Az asztrometriában a *Hipparcos* űrtávcsőnek köszönhetően Európa vezető szerepre tett szert, amelyet 2012-ben a sokkal nagyobb teljesítményű *Gaia* követ majd.

### Jelenleg is működő űreszközök

Az európai csillagászok 2009-ben helyezték üzembe az ESA távoli-infravörösben működő *Planck* és *Herschel* távcsöveit (3. ábra), amelyek az ESA igen sikeres Infravörös Űrobszervatóriumát (ISO) követték.

### Űrbázisú, rövid távú kísérletek (–2015)

*Gaia-adatok elemzése és feldolgozása*. A Gaia nemcsak abból a szempontból egyedülálló, hogy nagyságrendekkel javítja a jelenleg elért asztrometriai pontos-

ságot, hanem az űrkísérlet szerkezetét tekintve is. A kutatóközösség sokkal inkább a Gaia űrkísérlethez szükséges szoftver fejlesztésében, illetve adatelemzésben vesz részt, nem a hardverfejlesztésben, mint a korábbi ESA projektekben.

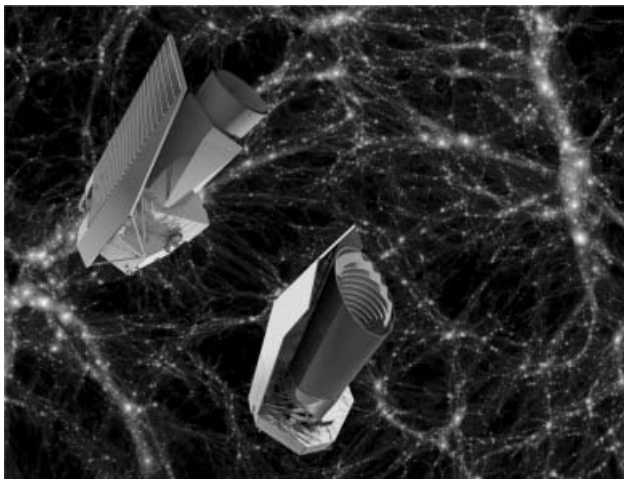
A Gaia a mérési folyamat során 6-dimenziós térképet készít majd Galaxisunkról, a Tejútrendszerrel, feltárva annak szerkezetét, összetételét és fejlődéstörténetét. Az űrkísérlet eddig nem látott pontosságú pozíciós és radiális sebesség-méréseket végez, amelyek szükségesek ahhoz, hogy sztereoszkopikus és kinematikai leltárt készítsünk Galaxisunk, illetve a Lokális csoport mintegy 1 milliárd csillagáról.

#### Űrbázisú, középtávú kísérletek (2016–2020)

*EUCLID (korábban DUNE, illetve SPACE):* a sötét energiával kapcsolatos kutatások kétségkívül a korszerű asztrofizika legnagyobb kihívását jelentik. A sötét energia természetének és időbeli fejlődésének megértése több megfigyelési mód együttes alkalmazását igényli, az elméleti és numerikus szimulációs munkákba fektetett jelentős erőfeszítésekkel együtt. A szakértői bizottság az ESA *Cosmic Vision Announcement of Opportunity* felhívására beérkezett középtávú javaslatok közül a *Dark UNiverse Explorer (DUNE)*, illetve *Spectroscopic All-sky Cosmic Explorer (SPACE)* igen nagyra értékelte. A két űrkísérlet a sötét energia és sötét anyag természetére vonatkozóan két egyedülálló pontosságú, de különböző úton történő megközelítést jelent, és az ESA úgy döntött, hogy EUCLID néven egy kísérletbe egyesíti őket (4. ábra).

*Planetary Transits and Oscillations of Stars (PLATO):* a PLATO a *CoRoT* és *Kepler* űrtávcsöveket követi majd, és a tervek szerint > 100 000 viszonylag fényes csillagon ( $V \leq 12$  magnitúdó) nagy pontosságú fotometriát végez majd a vizuális tartományban, valamint további 400 000 objektumot mér meg  $V = 14$  magnitúdóig. Igen szigorú feltételeknek kell eleget tennie: a látómező nagyobb, mint 300 négyzetfok, a

4. ábra. A sötét energia természetét és a Világegyetem nagyléptékű szerkezetét vizsgáló EUCLID űrtávcső tervének két változata.



működési idő legalább három, de inkább öt év legyen, a fotometriai zaj  $8 \cdot 10^{-5}$  (a cél  $2,5 \cdot 10^{-5}$ ) legyen egy órai mérés alatt egy  $V = 11$ – $12$  magnitúdós csillagon. A kapott adatok lehetővé teszik Föld méretű, vagy ennél kisebb bolygók detektálását is jelentős számú fényes csillagon észlelt fedés segítségével, ugyanakkor az anyacsillagról is részletes információ gyűlik össze az asztroszeizmológiai méréseknek köszönhetően.

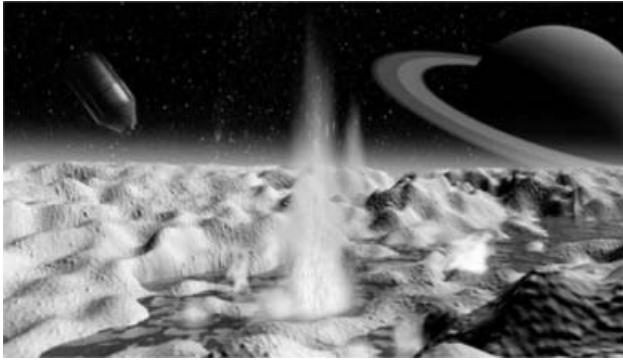
*Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics (SPICA):* a SPICA alapvetően japán űrkísérlet, amelyhez Európa jelentősen hozzájárulhat. Ez egy űrbe telepített közepes, illetve távoli-infravörös obszervatórium, amelynek 3,5 m-es tükrét 5 K hőmérsékletre hűtik. Ez jelentősen növeli az érzékenységet a 30–210  $\mu\text{m}$  tartományban (ahol a hideg por és gáz energiájának java részét kisugározza), a jelenleg üzemelő holdakkal (*Herschel*, *Spitzer*) összehasonlítva. A SPICA alapvető működési hullámhossza az 5–210  $\mu\text{m}$  tartomány, ahol nagy látómezőben folyamatos képzésként és spektroszkópia lehetséges. Egy koronográf lehetővé teszi többek között Jupiter-szerű exobolygók és protoplanetáris korongok észlelését is.

#### Űrbázisú, hosszú távú kísérletek (2020+)

*Darwin és a Távoli Infravörös Interferométer (FIRI):* a Darwin célja elsősorban Földünkhöz hasonló exobolygók tanulmányozása, illetve a rajtuk levő esetleges élet vizsgálata. A FIRI a csillagkeletkezést és a fekete lyukakba történő akkréciót vizsgálja, illetve a Tejútrendszerhez hasonló galaxisok kialakulását és fejlődését. Valószínűleg a FIRI leginkább a bolygórendszerek kialakulásának állomásait vizsgálja majd, és Földhöz hasonló bolygókat fedez fel, amelyek életnek adhatnak otthont. Mindezt annak a képességének köszönhetően, hogy a bolygórendszerekben levő porstruktúrák megfigyelésére alkalmas képzésként rendszerrel szerelik fel.

#### Űrkísérletek a Naprendszerben

Európa igen jelentős eszközökkel rendelkezik a Nap megfigyelésére. A világszínvonalú napteleszkópok közül négy európai tulajdonban van: a svéd 1 m-es napteleszkóp, a francia–olasz Themis, a német vákuum-toronyteleszkóp (VTT), valamint a holland Open Telescope (DOT), amelyek mindegyike a Kanári-szigeteken található. Ami az űrbázisú napészlelő műszereket illeti, az ESA Horizon 2000 programjának első sarokköve magában foglalta az 1995-ben felbocsátott *Solar and Heliospheric Observatory* (SOHO). A nagy sikerű SOHO mind a mai napig kiváló tudományos eredményekkel szolgál. Az *Ulysses* a napszelet tanulmányozta minden irányból, és nemrég fejezte be működését. A NASA vezetésével futó *STEREO* és a japán vezetésű *Hinode* 2006-ban indult jelentős európai részvétellel.



5. ábra. A Szaturnusz Enceladus és Titan holdjait meglátogató TandEM űrszonda leszálló egysége (fantáziarajz).

## Jelenleg is működő űreszközök

*Cluster:* a Cluster űrkísérlet célja a magnetoszféra nagyfelbontású, háromdimenziós vizsgálata. Ennek elérésére a Cluster négy azonos mesterséges holdból áll, amelyek tetraéder alakban elhelyezkedve repülnek. Az alapvető tudományos céloknak megfelelően a mesterséges holdak közötti távolság 20–10 000 km között változik.

*STEREO:* a STEREO a NASA vezetésével futó űrkísérlet, amely két holdból áll, amelyek a Földéhez hasonló pályán keringenek a Nap körül, az egyik bolygónk előtt, a másik mögötte, és a távolság közöttük az idővel lassan nő. Az a cél, hogy sztereoszkopikus képeket kapjanak a Nap külső atmoszférájáról, illetve koronakitörésekről (CME), továbbá, hogy nyomon kövessék azokat a koronakitöréseket, amelyek a Földet is elérik. A műszerek 50%-át Európa szállította.

*Hinode:* a Hinode japán vezetéssel készült Nap-űrobszervatórium, 50 cm-es optikai teleszkóppal, extrém UV-tartományban működő képalkotó spektrométerrel, valamint röntgenteleszkóppal a fedélzetén. A Hinodét 2006 szeptemberében indították útjára. Európa a kísérletet 2011-ig támogatja anyagilag. Igen magas prioritású az űrkísérlet futamidejének meghosszabbítása újabb öt évvel azért, hogy egy teljes napciklust le lehessen fedni.

## Űrbázisú, rövid távú kísérletek (–2015)

*Solar Orbiter:* a Solar Orbiter mesterséges bolygó megközelíti a Napot, és 30° heliografikus szélességet elérve lehetővé teszi a Nap poláris területeinek vizsgálatát. A fő tudományos cél a Naphoz közeli helioszférában levő plazmák, mezők és részecskék tulajdonságainak meghatározása, a napfelszín, a korona és a belső helioszféra kapcsolatának tanulmányozása, a Nap mágneses atmoszférájában az energetika, dinamika, valamint finomszerkezet vizsgálata, továbbá a Nap magas szélességű területeinek, áramlásainak és szeizmikus hullámjainak megfigyelésével a mágneses tér keletkezésének a megértése.

*ExoMars:* az ExoMars az ESA első űrkísérlete az *Aurora* program keretében. A végső cél az, hogy megállapítsák, volt-e, illetve létezik-e jelenleg élet a

Marson. A Marsot robotok segítségével kívánják vizsgálni, beleértve egy exobiológiai kutatásokat végző járművet (Pasteur-egység) és geofizikai, illetve környezetkutatásra szolgáló műszeregyüttest (GEP), amely a leszálló egységen foglal helyet, és meteorológiai, illetve talajszerkezeti *in situ* méréseket végez majd. A marsjáró több kilométert tesz majd meg, és keresi az egykori, illetve jelenlegi élet nyomait olyan módon, hogy mintát vesz az útközben található sziklákból, illetve a felszín alól egészen 2 m mélyséig.

## Űrbázisú, középtávú kísérletek (2016–2020)

*Cross-Scale:* a Cross-Scale az asztrofizikai plazmák fizikájának alapvető jellegzetességeit vizsgálja, jelesül, a különféle skálákon együttesen ható plazmafolyamatok közötti kölcsönhatást. A Cross-Scale tovább növeli Európa vezető szerepét az űrplazmák vizsgálatában, amelyet a Cluster holdak alapoztak meg. A 12 mesterséges holdból álló alakzat lehetővé teszi olyan alapvető plazmafolyamatok vizsgálatát, amelyekre nem volt lehetőség az eddigi, illetve tervezett űrkísérletekben. Nem fér hozzá kétség, hogy Európának a Cross-Scale létrehozásában megnyilvánuló vezető szerepe jelentős technikai és anyagi forrásokat mozgósít majd Európán kívül is.

*Marco Polo:* a Marco Polo közös európai-japán űrkísérlet, amely a tervek szerint anyagmintát hoz vissza egy földközeli kisbolygóról (NEO). A célpont egy primitív NEO, amelynek összetétele nem hasonlít az ismert meteoritikus mintákhoz. A Marco Polo ezért hozzájárul a Naprendszer létrejöttének és fejlődésének jobb megértéséhez. A jelenlegi elképzelések lehetségesnek tartják, hogy a szerves anyag kívülről érkezett a Földre, esetleg egy primitív NEO segítségével. Sőt, a NEO-k Földdel történő ütközése ténylegesen kockázatot jelent az élet számára. Mindezek miatt ilyen égitestek vizsgálata rendkívül érdekes és sürgős.

*Titan and Enceladus Mission (TandEM):* a TandEM ambiciózus projekt, amely a Szaturnusz Titan és Enceladus holdjának *in situ* vizsgálatát tűzte ki célul (5. ábra). A TandEM-et a Cassini–Huygens űrkísérlet folytatásának szánják. A Cassini–Huygens jelenleg is működik a Szaturnusz térségében, és új felfedezések köszönhetőek neki, de új kérdések is vetődtek fel. Az eredeti elképzelés szerint a TandEM két közepes méretű mesterséges holdból áll, amelyeket egy vagy esetleg két rakéta állít a pályára, és magukkal visznek egy keringő egységet, *in situ* méréseket végző műszereket és egy egységet az Enceladuson történő leszállásra. A hasznos teher egy sor megfigyelőeszközt tartalmaz majd, beleértve kamerákat, spektrométereket, magnetométereket, radart, rádióeszközöket, szeizmométereket és néhány új elven működő műszert, amelyek alkalmasak az összes színképtan tanulmányozására. A Huygens űrkísérlethez hasonlóan most is tervezik az űrszonda nyomon követését a VLBI segítségével.

*LAPLACE:* a LAPLACE ambiciózus, több platformot tartalmazó űrkísérlet, amely a Jupiterből és négy Gali-



lei-holdjából álló rendszert vizsgálja majd. A LAPLACE űrkísérlet három keringő egységet helyez pályára a Jupiter-rendszerben abból a célból, hogy koordinált méréseket végezzen a Jupiter holdjain és légkörén, valamint magnetoszféráján. Az egyik űrszondát az Europa körül olyan poláris pályára állítják, ahol a keringési idő legalább néhány hónap lesz; vizsgálják még annak a lehetőségét is, hogy a hasznos teher tartalmazzon-e egy, az Europa holdra ejtendő kisebb tárgyat is. A második űrszondát olyan pályára állítják, hogy a keringési idő megegyezzen az Európáéval, és átjáró állomásként szolgáljon majd az adatok tárolásához és továbbításához. A harmadik, tengelye körül forgó szonda a Jupiter magnetoszféráját vizsgálja majd. A hasznos teher nagyszámú távérzékelő műszert (kamerákat, spektrométereket a gamma- és röntgenhullámhossztól egészen a rádiótartományig, illetve magasságmérő radart és lézert, magnetométert, mikro-gradiométert, poranalizátort, tömegspektrométert, valamint rádió- és plazmahullámok mérésére alkalmas műszereket) is tartalmaz. Tervezik az űrszonda VLBI-vel történő nyomon követését.

Űrbázisú, hosszú távú kísérletek (2020+)

*Probing Heliospheric Origins with an Inner Boundary Observing Spacecraft (PHOIBOS):* a PHOIBOS a tervek szerint a helioszféra eddig még nem tanulmányozott, 0,3 csillagászati egységen belüli, a Nap felszínétől három napsugárig terjedő területén végez majd részletes vizsgálatokat. Fő tudományos célja annak vizsgálata lesz, hogy a Nap mágneses tere, illetve a plazma dinamikai sajátosságai hogyan hozzák létre a napkoronát, a napszelet, valamint a helioszférát. E cél elérése az egész asztrofizika számára a Rozetta-kőhöz hasonló felfedezés lenne, amely lehetővé tenné, hogy megértsük nemcsak a Nap által létrehozott plazmakörnyezetet, hanem a Világegyetemben bárhol található űrplazmakörnyezetet, ahol forró, híg mágneses plazma továbbít energiát, és gyorsít részecskéket a

legkülönbözőbb skálakon. Továbbá, minthogy az egyedüli közvetlen *in situ* mérés abban a tartományban, ahol a Nap legpusztítóbb, nagyenergiájú részecskéinek egy része felgyorsul, a PHOIBOS egyedülállóan és alapvetően hozzájárul ahhoz, hogy jellemezni, illetve előre jelezni tudjuk a jövőendő űrkísérletek sugárzási környezetét.

## Záró megjegyzések

Az ASTRONET infrastrukturális útiter megalkotása úttörő, nagy kihívást jelentő és összetett feladat, amely Európa legfelkészültebb tudósainak, oktatóinak és tudományos ügyintézőinek elkötelezettségét és szakmai felkészültségét igényelte.

Az ambiciózus tervek megvalósításához a pénzügyi támogatást adó szervezetek részéről időnként határozott döntések kellene az egyébként létező berendezések további üzemeltetéséről is. Nincs kétség afelől, hogy az elkövetkező két évtizedben céljaink elérésére, elképzeléseink megvalósítására és ezen keresztül vezető szerepünk megőrzésére, illetve növelésére további jelentős anyagi források bevonása szükséges, és a munka a társadalom egészére is hatással van.

Ezért fontos, hogy az ASTRONET újult erővel folytassa munkáját, együttműködve az anyagi támogatást adó ügynökségekkel, illetve más szervezetekkel, hogy biztosítva legyen az *Útiter* javaslatainak megvalósulása, és segítséget nyújtson a jövőben a szükséges döntések meghozatalához és az Európán belüli együttműködéshez, koordinációhoz.

Ezen túlmenően, az ASTRONET felhasználhatja az *Útiter*vet, hogy kormányzati szinten is hangsúlyozza a csillagászat jelentőségét és társadalmi hatását, nem utolsósorban pedig példát mutat az együttműködésre Európán belül és azon túl. A legtöbb nagy projekt nemzetközi együttműködést igényel Európán túl is, és az ASTRONET ebben a globális együttműködésben is segítséget nyújthat.

## PUSKIN UTCAI KVARKOK – I.

Patkós András  
ELTE, Atomfizikai Tanszék

### Előhang

1964-ben *George Zweig*, a CALTECH ifjú posztdoktori kutatója arról próbálta meggyőzni tudománytörténetész kollégáját, hogy a részecskefizikában éppen akkor és éppen az ő folyosójukon tudománytörténeti jelentőségű dolgok történnek. A felsőbbrendű történeti válasz az volt, hogy kortársak képtelenek megítélni, mi is a történelmileg valóban fontos fejlemény. Csak hosszú évek múltán kerülnek az események valódi helyükre. 2010-ben, a *Murray Gell-Mann* 80. születésnapja alkalmából rendezett konferencián látta Zweig elérkezettnek az

időt, hogy elmondja saját verzióját a kvarkhipotézis születéséről és „felcseperedésének” első éveiről [1].

Hazánkban a majdnem-kortárs fizika történetével, bizonyára a fenti érvelés igazságát osztva, nem foglalkozik a hivatásos tudománytörténet.<sup>1</sup> Így ebben a cikkben magam vetemedem arra a szemtelenségre, hogy a kvarkok felfedezéstörténetének 1968-ban kezdődött második felvonását sajátos nézőpontból, a Puskin utca elméleti fizikusainak szemszögéből bemutassam.

<sup>1</sup> Nehezen igazolható állítás, mert a hazai tudománytörténetről a tudomány nem vesz tudomást – Szerk.



1. ábra. Az első, 1972-es balatonfüredi Neutrínó-konferencia hivatalos csoportképe. Az ülő sorban balról: T. D. Lee, G. L. Radicati, R. P. Feynman, B. Pontecorvo, Marx Gy., V. F. Weisskopf, F. Reines, C. L. Cowan és P. Budini.

Nyilvánvaló a veszély, hogy Hamlet hősi tragédiája kisszerű tanúinak, Guildensternnek és Rosencrantznak mintájára, szánandóan nevetségessé válok. A kvarkok története második korszakának Puskin utcai cselekménye kétségkívül mellékszálként indult. Ám a két stopparti hőstől eltérően, szerencsére nem majdnem-felfedezések, elszalasztott felismerések részesei lettünk. Munkánk figyelmet keltett, és az 1972-es balatonfüredi konferenciánkra szóló meghívást magától értetődően fogadta el a történet számos főszereplője, köztük az új kvark-korszak két meghatározó apafigurája, *Richard Feynman* és *Victor Weisskopf* (1. ábra). A szép emlékü Puskin utcai D-épület első emeletének szemináriumi terme része lett a részecskefizika virtuális világszínpadának.

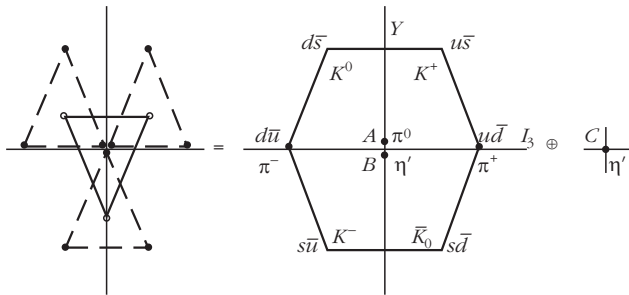
Ebben a cikkben az átfogó történeti képből csak a nélkülözhetetlen háttérrel vázolom. Mentségemre szolgáljon, hogy a részecskefizika érintendő jelenségei és elméleti modelljeik immár tananyagként ismertek. A kvarkok felfedezéstörténetének is van monográfiája [2], aminek megírására 1983-ban látta az időt elérkezettnek szerzője. Művében egy alkalommal fordul elő az Eötvös Egyetem neve (lásd alább). Én viszont úgy látom, hogy bőségesen van még feljegyzésre érdemes eredmény a Puskin utcában elvégzett kvarkfizikai vizsgálatok között. Alább egészen szélsőséges válogatási elvet alkalmazok, azaz kizárólag Eötvös-egyetemi társszerzőjű kutatási eredmények bemutatására korlátozodom. A történet nyomon követésének záróévet is szélsőséges szubjektivitással választottam: *Kuti Gyula*, akinek kezdeményezése nyomán vette kezdetét a kvarkok Puskin utcai története, 1978-ban nyújtotta be *A proton kvark-parton szerkezete* című értekezését a fizikai tudomány doktora fokozat elnyerésére (lásd még a cikk utolsó két mondatát! – a második rész végén a következő számban).

Igaza van az Olvasónak: létezik a Puskin utcán túli világ történéseinek jelentőségét arányosabban láttató története is az 1970-es évek részecskefizikájának. Ez viszont a mi verziónk, ami, amint *Szilárd Leó* megjegyezte, „érdekes lehet a Mindent Tudó(k) számára” is.

## Gell-Mann és Zweig kvarkjai

A történet egy olyan időszakban indult, amikor az elektrodinamikát leszámítva nem hittek a kvantumtérelmélet alkalmazhatóságában. Ez magyarázza Gell-Mann kutatói magatartását, aki a kvarktereket mindig átmeneti jelleggel használta, csakúgy mint az ismert elemi részecske kvantumtereit. Több cikkében fogalmazott a következőképpen: „A rendszer szimmetriatulajdonságai érvényesek lehetnek még az esetben is, ha a kvantumterek használata megalapozatlan.” A híres „Nyolcas út” javaslatában is hangsúlyozta: „Nem kapcsolunk a barionokat alkotó  $I$  és  $L$  részecskékhez semmiféle fizikai jelentést. Az eddigi elemzés csakis az *unitér spin* tulajdonságának a bevezetését szolgálja.”

Mit is értett Gell-Mann unitér az spin fogalmán? Az izospin  $SU(2)$  algebrának  $[I_j, I_k] = i\epsilon_{jkl} I_l$  a ritkaság ( $S$ ) és a barionszám ( $B$ ) összegéből alkotott hipertöltés operátorát ( $Y$ ) is tartalmazó bővítéséről van szó. Olyan bővítést kell választani, amelynek két diagonális generátora (két egyidejűleg határozott értéket felvevő fizikai tulajdonsága)  $I_3$  és  $Y$ . A feladat megoldása nem egyértelmű, a *Yuval Ne'eman* és Gell-Mann ajánlotta végső nyertes az  $SU(3)$  háromdimenziós unitér csoportba történt beágyazás lett. A kvarkok ennek a csoportnak definiáló ábrázolásában a báziselemek. Ha a kvarkháromszöget önmagával párhuzamosan úgy toljuk el, hogy az origó valamelyik korábbi csúc-



2. ábra. A mezon oktett kvantumszámainak visszavezetése a kvark-és az antikvark-triplett „összeadására”.

ba kerüljön, akkor az eltoló pontok is lehetséges  $I_3$  és  $Y$  értékeket mutatnak, amelyek az eredeti és az eltoló háromszög megfelelő koordinátáinak összeadásával keletkeznek. Az összes csúcspontba történt eltolással megtalálhatjuk a két kvarkból additívan felépíthető összes, úgynevezett *dikvark*-állapotot. A természetben sem kvark-, sem dikvark-állapotok nem figyelhetők meg. A megfigyelt barionok unitér tulajdonságai 3 kvark kvantumszámainak összeadásával kombinálhatók ki, a mezonok esetében a kvarkháromszög és az abból centrális tükrözéssel keletkező antikvarkháromszög „összeadása” a jó recept. Ezt a receptet illusztrálja a 2. ábra, amelyen középen a kvarkok háromszöge látszik, amelyre a három csúcspontot középpontként használva ráültetjük az antikvark-háromszöget. Az így keletkező állapotoknak megfelelő pszeudoskalár mezonokat mutatja az ábra jobb oldala. A háromszorosan elfajult origóbéli állapotokból a mezon-oktett két eleme mellett egy  $SU(3)$  szinglettmezon is kikeveredik ( $\eta'$ ).

Magyarázatot arra, hogy milyen kombináció létezhet és milyen nem, abban a korszakban nem találtak. Miután a kvarkok a nemlétező multiplettek közé sorolhatók, Gell-Mann az elemi részecskék rendszerezését segítő közbenső objektumokként értelmezte őket. Ezt a következő kulináris hasonlattal érzékeltette: „...az erősen kölcsönható részecskék olyan elméletét fogalmazzuk meg, amely létezhet vagy sem, de mindenképp alkalmas algebrai összefüggések származtatására. Ezután az algebrai szimmetriákat posztuláljuk és a modellt magát eldobjuk. Az eljárás a francia konyhaművészetben néha alkalmazott módszerhez hasonlatos: egy darab fácánhúst két borjúszelet között főznek, amelyeket végül eldobnak.”

Zweig „földhözragadtabb” szemlélettel közelítette meg a kvarkok szerepét. Nagyjából a nukleonok tömegének harmadával rendelkező, valóban létező alkotórészeket képzelt el, amelyeknek kis(!) kötési energiájú („atomfizikai”) kötött állapotai a megfigyelt barionok. Persze a „konsztituens kvarkok” megfigyelhetetlensége magyarázatra várt. Ugyanakkor a kvarkok tömegeinek és saját perdulatainak additivitását posztulálva sikeres jóslatokat lehetett építeni a barion- és mezon-rezonanciák tömegspektrumára és mágneses momentumaikra.

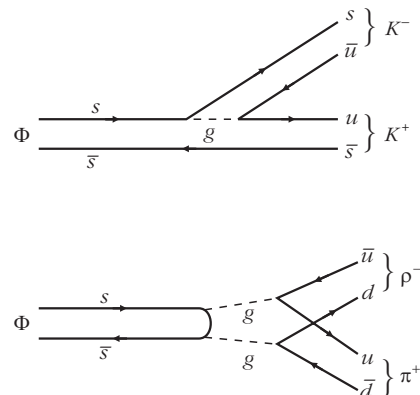
A konsztituens kvarkfelfogás e közismert eredményei helyett itt a cikk későbbi részében is hasznosítható alkalmazását idézem fel. 1963-ban Zweignek a

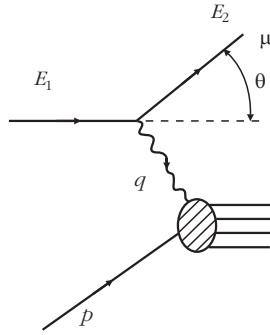
kvarkokhoz vezető útja a  $\Phi$ -mezon felfedezését bejelentő közleménnyel indult. Feynman doktoranduszának az a furcsa körülmény tűnt fel, hogy ez a nagyjából  $1020 \text{ MeV}/c^2$  tömegű mezon nem bomlik el  $\rho$ - és  $\pi$ -mezonra, amelyek össztömege kerekítve  $920 \text{ MeV}/c^2$ . Domináns bomlási módusa a  $K$ -anti- $K$  bomlás, annak ellenére, hogy az össztömeg ez esetben jóval nagyobb, majdnem  $1000 \text{ MeV}/c^2$ . Általában igaz, hogy a bomlás valószínűsége annál nagyobb, minél nagyobb a különbség a bomló részecske tömege és a bomlástermékek össztömege között (minél nagyobb a bomlástermékek rendelkezésére álló fázistérfogat).

Tehát a várakozás éppen a tapasztalattal ellenkező volt. Zweig a paradoxon feloldására valamiféle kiválasztási szabályt keresett. Ismert volt, hogy a kvarkmodell szerint a  $\rho$  és  $\pi$  nem tartalmaz ritka kvarkot, míg a kaon  $d$ -anti- $s$ , az anti- $K$  pedig  $s$ -anti- $d$  kötött állapotnak képzelhető. Zweig  $s$ -anti- $s$  kötött állapotként sorolta be az új mezont. Ekkor a kizárólag nemritka kvarkokból felépülő mezonokba bomlásnál először is a ritka párnak annihilálnia kell, majd párkeltéssel létrejövő két nem ritka párból áll össze a végállapot. A  $K$ -anti- $K$  végállapotnál viszont sokkal egyszerűbb forgatókönyvvel, egyetlen pár keltésével kialakulhat a végállapot kvarktartalma. Az általa felállított Zweig-szabály kimondja, hogy minél több annihilációs/párkeltési lépésben alakul ki a végállapot, annál kisebb bekövetkezésének a valószínűsége. A 3. ábrán látható a két reakció Zweig-diagramjának kissé modernizált változata. A két folyamatot a QCD-ben közbenső (virtuális) gluonok kisugárzása és részecskepárba alakulása modellezi (a közbenső gluonokat szaggatott vonallal ábrázoljuk), és a Zweig-szabály kvalitatív magyarázatát a minimálisan szükséges közbenső gluonok számának különbsége (a perturbációszámítás eltérő rendje) adhatja.

Az 1960-as években a kutatók Gell-Mann vagy Zweig megközelítését aszerint alkalmazták, hogy melyik egyeztett jobban a tapasztalattal. Egységes kvarkelmélet nem alakult ki az évtized végéig.

3. ábra. A Zweig-szabályt illusztrálják a  $\Phi$ -mezon ritka mezonokba (felső diagram) és nem-ritka mezonokba (alsó diagram) történő bomlása kvantum-kromodinamikai leírásának legalacsonyabb rendű Feynman-diagramjai. A szaggatott vonalak az erős erőter kvantumait, a gluonokat jelzik. A kvarkokat és antikvarkokat ismert szimbólumaik mutatják.





4. ábra. Az elektron-proton mélyen rugalmatlan ütközés Feynman-diagramja.

## A mélyen rugalmatlan elektron-proton szórás értelmezése a partonmodellben

A proton kiterjedt szerkezetét letapogató stanfordi kísérlet tervezésekor és az adatok értékelése első szakaszában a később Nobel-díjjal jutalmazott SLAC-MIT kísérlet résztvevőinek gondolkodásában nem kapott szerepet a kvarkhipotézis. A 4. ábrán látható kvantum-elektrodinamikai diagrammal dolgoztak, amikor az elektron pontszerű és a proton kiterjedt elektromágneses áramsűrűsége között kicserélt foton valósítja meg a kölcsönhatást.

A foton révén közölt térszerű négyesimpulzus ( $q, q^2 < 0$ ) olyan nagy, hogy „felrobbantja” a protont. A protontörmeléket nem, csak a csökkent energiájú elektront észlelik, és az impulzusátadás mellett másikként az elektronnak a proton tömegénél szintén sokkalta nagyobb energiavesztését mérik ( $\nu = E_1 - E_2$ ). Az 1968-as bécsi világkonferencia nagy szenzációja az volt, hogy a rugalmas elektron-proton ütközés korábban kimért gyorsan csökkenő differenciális hatáskeresztmetszetével szemben ez esetben sokkal lassúbb volt a csökkenés (lásd 5. ábra).

Pickering „történelemkönyve” szerint a kísérleti fizikusok nem is tudták adataikat mindaddig rendszerezni, míg James Bjorken nem javasolta nekik, hogy a kirepülő elektron iránya és energiája szerinti differenciális hatáskeresztmetszetben a proton ismeretlen elektromágneses szerkezetét képviselő két úgynevezett szerkezeti függvényt – a  $W_1(q^2, \nu)$ -t és a  $\nu W_2(q^2, \nu)$ -t – ne tekintsék kétváltozósoknak, hanem próbálkozzanak a kísérletes mért értékeknek az  $\omega^{-1} = -q^2/(2M_{\text{proton}}\nu)$  változó függvényében történő ábrázolásával. Ezek a függvények a szórt elektron energiája és kirepülési iránya szerinti kétszer differenciális hatáskeresztmetszetben az úgynevezett Mott-hatáskeresztmetszet szorzó tényezőiben fordulnak elő:

$$\frac{d^2\sigma}{d\Omega dE_2} = \frac{d\sigma_{\text{Mott}}}{d\Omega} \left[ W_2(q^2, \nu) + 2 \tan\left(\frac{\Theta}{2}\right) W_1(q^2, \nu) \right].$$

Ezek a Lorentz-invariáns függvények eredetileg a proton elektromágneses áramsűrűségeivel képzett kommutátorok az  $\alpha$  polarizációs állapotra átlagolt mátrix-elemei Fourier-transzformáltjában jelennek meg:

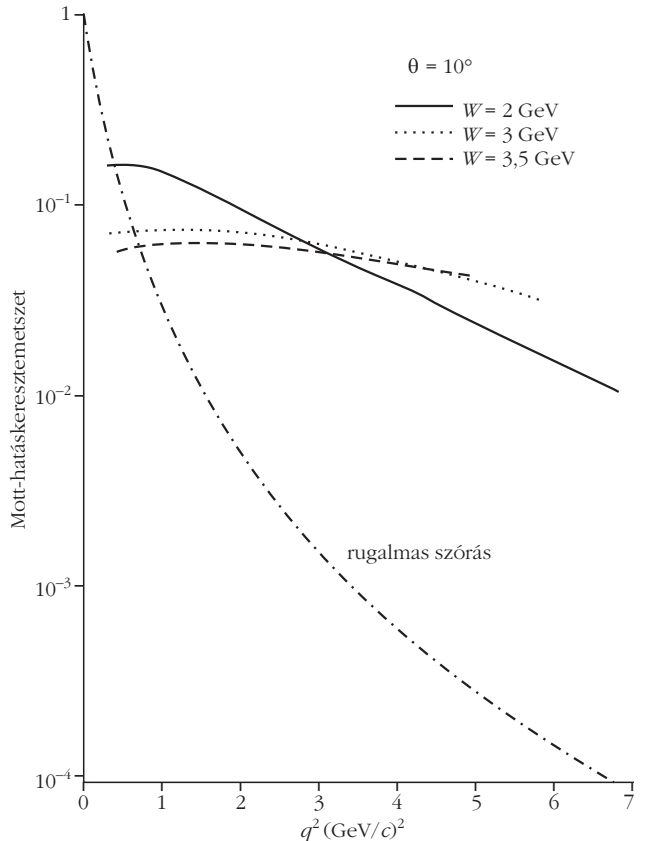
$$\begin{aligned} W_{\mu\nu}^S(P, q) &= \\ &= \frac{1}{2} \sum_{\alpha} \int d^4y e^{iqy} \langle P, \alpha | [j_{\mu}^{\text{proton}}(y), j_{\nu}^{\text{proton}}(z=0)] | P, \alpha \rangle = \\ &= \left( \frac{q_{\mu} q_{\nu}}{q^2} - g_{\mu\nu} \right) 4\pi M W_1(q^2, \nu) + \\ &+ \frac{1}{M^2} \left( P_{\mu} - \frac{Pq}{q^2} q_{\mu} \right) \left( P_{\nu} - \frac{Pq}{q^2} q_{\nu} \right) 4\pi M W_2(q^2, \nu). \end{aligned}$$

A Bjorken-skálázásnak nevezett fontos észrevétellel Bjorken technikailag nehéz, alig hozzáférhető megfontolásokból jutott, amelynek kiindulását a későbbiekkel való kontrasztos összevetés érdekében alább megkísérlem vázolni. A  $W_{\mu\nu}^S$  tenzort definiáló Fourier-transzformált fázisfaktorának exponensét a proton nyugalmi rendszerében a virtuális foton impulzusát alkalmasan parametrizálva egyszerűsíthetjük:  $q = (q_0 = \nu, \mathbf{q} = \boldsymbol{\rho}_3)$ . Feltételezzük, hogy az impulzusátadás és az energiavesztés egyaránt nagyon nagy, míltal mindkét komponens nagyon nagy lesz, viszonyukra pedig lineáris rendig fennáll, hogy

$$q \rightarrow q_0 + \frac{M_{\text{proton}}}{\omega}.$$

A Fourier-transzformáció integrandusa fázisfaktorá-

5. ábra. A mélyen rugalmatlan szórás hatáskeresztmetszetének csökkenése az átadott négyes impulzus növekedésével sokkal lassabb, mint a rugalmas szórásé.



nak fázisszöge ebben a vonatkoztatási rendszerben

$$\frac{(q_0 - q)(y_0 + y_3) + (q_0 + q)(y_0 - y_3)}{2}$$

alakban is írható. A fázis lassú változásának követelményéből olvasható le az integrálba lényeges járulékot adó tartomány:

$$|y_0 + y_3| \sim \frac{\omega}{M_{proton}}$$

$$|y_0 - y_3| \sim \frac{1}{2q_0}$$

A két tartomány méretének összeszorozásával adódik a virtuális foton előreszórási amplitúdójába járulékokat adó áramsűrűségek négyes távolságára az

$$|y^2| \sim \frac{\omega}{2M_{proton}q_0} \rightarrow 0$$

becslés. Bjorken ezzel arra a következtetésre jutott, hogy a kísérletet jellemző határesetben a fénykúp közelében nyerünk ismeretet a proton elektromágneses áramsűrűség-operátorainak kommutátoráról. Ebben a tartományban dolgozta ki az áramok kommutátoralgebrájának viselkedését, és jutott a skálázás jelenségének előrejelzésére.

Ebből nem lett volna tudománytörténeti fordulat Richard Feynman nélkül. Feynman mutatott rá, hogy a skálázás roppant egyszerűen következik, ha feltételezzük a proton pontszerű alkotórészeinek létét. *Partonmodell*je nem a nyugvó, hanem a nagy impulzussal repülő proton vonatkoztatási rendszerében írja le az ütközést. Feltételezett alkotórészei, a partonok a teljes négyes impulzus egy töredékét szállítják:

$$p_{parton} = xP_{proton} \quad 0 < x < 1.$$

A folyamat elektromágneses része az elektron és a parton rugalmas ütközése. A zárószakaszban zajlik a meglökött parton és a visszamaradtak közötti erős kölcsönhatás, amely a parton-végállapotot átalakítja a létező elemi részecskékké. Miután ezt a részt nem figyelik meg, elegendő a partonszinten jellemezni a végállapotot (az is teljes rendszert alkot).

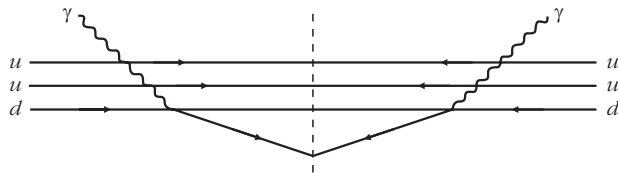
A virtuális fotonnal „megrúgott” parton négyes impulzusa

$$p'_{parton} = xP_{proton} + q.$$

A partonról feltehető, hogy invariáns tömege kicsi az előforduló energiákhoz képest, ezért a végállapotú parton négyes impulzusának négyzetére a

$$(p'_{parton})^2 \approx 0$$

közelítés írható. Elvégezve a négyzetre emelést és a kezdő parton impulzusnégyzetére is ezt a feltételt alkalmazva, az



6. ábra. A virtuális foton ( $\gamma$ ) a proton kvark alkotórészeinek egyike nyeli el (az ábra szerint éppen a  $d$ -kvark). A hatáskeresztmetszet ennek abszolútérték négyzetével arányos, amelynek két tényezőjét a függőleges szaggatott vonal két oldalán lévő ábrarészek jelzik. A teljes ábra a virtuális foton előreszórási amplitúdója képzetes részének felel meg.

$$x(P_{proton}q) + q^2 \approx 0$$

feltételre jutunk. A proton és a virtuális foton négyes impulzusainak skalárszorzatára azonnal kapjuk, hogy  $2M_{proton}v$  az értéke, amiből az ütközésben résztvevő parton impulzuhányadára az  $x = \omega^{-1}$  érték adódik. A Feynman-javasolta képben tehát az elektron rugalmasan szóródik az  $\omega^{-1}$  impulzusrészt hordozó partonon. A pontszerű töltött objektumok szórását jellemző Mott-hatáskeresztmetszet méri a parton elektromos töltésnégyzetét, amit a partonok  $G(\omega^{-1})$  eloszlásfüggvényével súlyozva, inkoherensen adnak össze. A szórt elektron egy kiválasztott adatpárjához egyetlen  $x$  érték ad járulékot, azaz nemcsak, hogy azonnal adódik a Bjorken-skálázás, de a hatáskeresztmetszet mérésével a proton belső szerkezetét jellemző  $G(\omega^{-1})$  is kimérhető.

Feynman kezdetben nem azonosította a partonokat a kvarkokkal. Láta, hogy a töltés kimérhetősége mellett olyan relációk is megjelennek a modellben, amelyek információt szolgáltatnak a partonok spinjéről is. A kvantum-elektrodinamika alapelveinek alkalmazásával az úgynevezett optikai tétel alapján megérthető, hogy e folyamat hatáskeresztmetszete a virtuális foton és a proton Compton-előreszórási amplitúdójának képzetes részével arányos (6. ábra). Ezért a hatáskeresztmetszet képlete a longitudinális ( $L$ ) és transzverzális ( $T$ ) virtuális fotonok abszorpciós hatáskeresztmetszeteivel is kifejezhető:

$$\frac{d^2\sigma}{d\Omega dE_2} = \Gamma(\sigma_T + \varepsilon\sigma_L),$$

$$\sigma_L = \frac{4\pi\alpha}{K} \left[ W_2 \left( 1 - \frac{v^2}{q^2} \right) - W_1 \right],$$

$$\sigma_T = W_1(q^2, v)$$

(ebben a képletben a szórt elektront jellemző  $K$ ,  $\Gamma$  és  $\varepsilon$  mennyiségek részletes alakja nem fontos). Ha a longitudinális virtuális foton járulékát számolják ki a skálázási tartományban a Compton-előreszóráshoz, akkor  $1/2$ -spinű összetevők esetén erre zérus adódik, ami a kísérleti adatok megfelelő kombinációjával ellenőrizhető. Más szóval, az a várakozás, hogy  $vW_2$  skálafüggvénye feles spinű partonok esetén arányos lesz  $W_1$ -gyel.

Kuti Gyula, az ELTE Elméleti Fizikai Tanszékének 28 éves adjunktusa a bécsi világkonferencia élménye mellett megkapta Bjorken és diákja *Emil Paschos* rö-

vid cikkét, amelyet rosszmájú kommentátorok Feynman jegyzetfüzetének kivonatolásaként „értelmeztek”. Amikor Gyuszi 1969 elején diplomamunka-témát javasolt számomra, ezt a rövid cikket adta át, hogy *Gálfi László*val közösen tanulmányozzuk. Azt javasolta, hogy a skálázás hipotézise alapján tegyünk előrejelzést egy jövőbeli kísérlet eredményére, amelyben polarizált elektronnyalábot szórának polarizált protoncéltárgyon.

A Feynman-modell egyszerű alap gondolata közérthető minden térelméleti képzettség nélkül is. A mikorosztályunkat a kvantum-elektrodinamika nem-relativisztikus változatára tanították az egyetemen, és a gyenge kölcsönhatás Fermi-féle elmélete meg az erős kölcsönhatások térelmélet-mentes  $S$ -mátrix alapú elemzése miatt semmiféle egységes kép nem volt ötödéves koromra a fejemben az elemi kölcsönhatásokról. Térelméleti technikákat szinte nem ismertem, így Bjorken cikkével igencsak meggyűlt a bajom. A partonmodell szemléletessége viszont bátorított. Igazán szerencsém volt: elsősztályú fizikához közelíthettem hiányos technikai eszközeimmel!

Első cikkünk [3] ösvérjellegű volt. A nagyenergiás ütközések  $S$ -mátrix elméletének akkor divatos úgynevezett Regge-analízisét végeztük el a virtuális foton és a proton ütközésére, kiterjesztve az elemzést a polarizált esetre. A Regge-határeset valójában rögzített foton-„tömeg” melletti nagyenergiás határviselkedés, ami az  $\omega^{-1} \approx 0$  tartománynak felel meg, ezért a skálázási tartományra (visszatekintve) inkább spekulatív következtetéseink voltak. De a témaválasztás úttörő volt és a cikk jelentős visszhangra talált. 1970-ben *Gnädig Péter* jelentkezett új diplomamunkásnak, és a tanszék tudományos munkatársai közül *Niedermayer Ferenc* is csatlakozott a társasághoz. Eredményeink azt követően jelentek meg rendszerezett cikk [4] formájában, amikor Kuti 1970-ben a kijevei világkonferencián azokat, nagy figyelmet keltve, előadta (a megjelenés éve az akkori nyomdai átfutásnak megfelelően: 1972). Ötösfogatban dolgozva fokozatosan fel fogtuk az áramkommutátorok fénykúp-szingularitásainak térelméleti hátterét [5], miközben egyre bátrabban használtuk a partonmodellt is a spinfüggő hatáskeresztmetszet részletes elemzésére.

A publikálás ügye messziről nézve nem is volt sietős, mivel az eredményeket Kutinak az 1970/71. akadémiai évben elért nagyszámú más eredményével egyetemben már világszerte ismerték. Gyuszi Victor Weisskopf meghívására és *Marx György* támogatásával kapott egyéves szabadságot az ELTE-ről. Ennek a tanulmányútnak egy fenomenológiai alkalmazásra kiváló partonmodell részletes kidolgozása lett az eredménye. Ez Kuti-Weisskopf-modell [6] néven szerepel az irodalomban, és hivatkozásainak száma jócskán meghaladja a félezret. A modell a QCD-alapú „jet”-számolások kifejlesztéséig a nagyenergiás, nagy rugalmatlanságú folyamatok elemzésének domináns keretét adta.

A modell két tekintetben lépett túl Feynman eredeti verzióján. A háromféle kvark (és antikvark) előfordulási valószínűségeloszlását ekkorra már felbontották a

proton kvantumszámait kiadó *valenciakvarkok* és *tengerkvarkok* eloszlására. Ez azt jelenti, hogy a protonban nemcsak 3-kvarkos, hanem további kvark-antikvark párokat tartalmazó konfigurációk is előfordulhatnak. Az utóbbiakra a fázistérben egyenletes, relativisztikusan invariáns sűrűséget tétéleztek fel. A vegyértékkvarkok esetében ezt az eloszlást megszo-rozták a kis  $x$ -re Regge-aszimptotikát biztosító tényezővel. Az  $SU(3)$  invariáns eloszlású tengert alkotó kvark-antikvark párok a skálaváltozó nullához közeli, a vegyértékkvarkok pedig az  $x = 1$ -hez közeli tartományban dominánsak.

Ez a felbontás konkrét, néhány illeszthető paramétert tartalmazó kvarkeloszlásokat generált. A másik módosítást az eredeti, kizárólag kvarkösszetevőket feltételező változattal jelentkező gondok követelték meg. Ugyanis a kimért eloszlásfüggvények momentumaival kiszámolható a kvarkok által hordozott impulzushányad várható értéke, ami  $2/3$  körüli értéket sugallt. A hiány pótlására a szerzők a kvarkok közötti erős erőter feltételezett kvantumai, gluonok figyelembevételét javasolták a proton impulzusát hordozó alkotórészek között. A gluonokra is a tengerkvarkokra feltételezett eloszlást vettek fel, egy újabb, a kísérleti adatok illesztésével meghatározható amplitúdót vezetve be jellemzésére. Így végül a következő eloszlásfüggvényekre jutottak:

$$G_{u/d, valence}(x) = \frac{\Gamma(g + g' + 3(1 - \alpha(0)))}{\Gamma(1 - \alpha(0)) \Gamma(g + g' + 2(1 - \alpha(0)))} \cdot x^{-\alpha(0)} (1 - x)^{-1 + g + g' + 2(1 - \alpha(0))},$$

$$G_{u/d/s, sea} = \frac{1}{3} x^{-1} (1 - x)^{-1 + g + g' + 3(1 - \alpha(0))},$$

$$G_{gluon}(x) = 3 \frac{g'}{g} G_{kvark, sea}(x).$$

Itt  $g$ ,  $g'$  és  $\alpha(0)$  illeszthető paraméterek. Ezekkel a következő kifejezéseket kapták az alaktényezőző partonmodellbeli értékére ( $e_q$  a  $q$  kvark elektromos töltését adja az elemi töltés arányában):

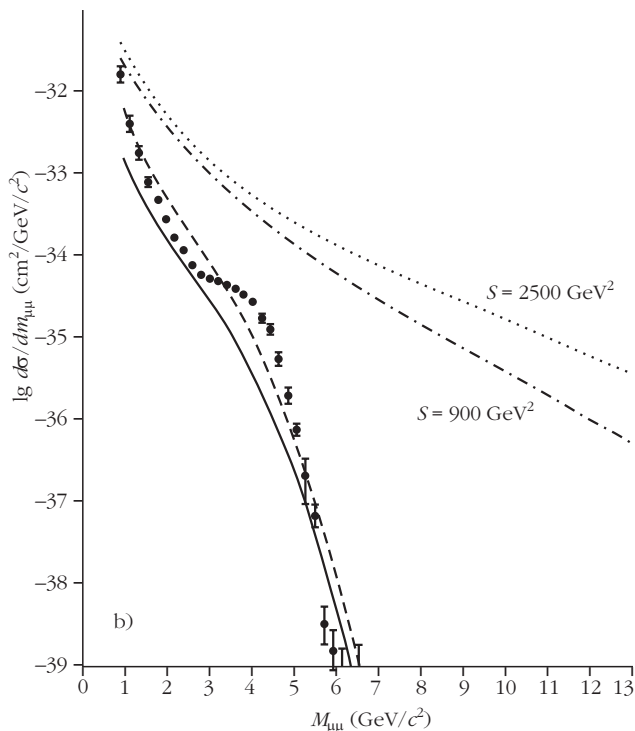
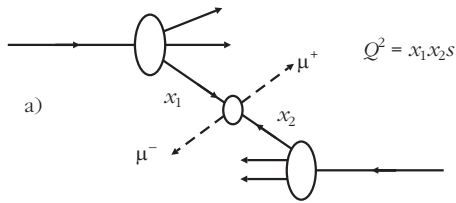
$$F^P(\omega) = \omega^{-1} \left[ 2 e_u^2 G_{u, valence}^P(\omega^{-1}) + e_d^2 G_{d, valence}^P(\omega^{-1}) + (e_u^2 + e_d^2 + e_s^2) G_{q, sea}(\omega^{-1}) \right],$$

$$v W_2^P(q^2, v) = F^P(\omega),$$

$$2M\omega^{-1} W_1(q^2, v) = v W_2(q^2, v),$$

$$R = \frac{\sigma_L}{\sigma_T} = \frac{2M}{v\omega} \rightarrow 0.$$

(Az  $R$  hányados aszimptotikus eltűnése a partonok fent emlegetett feles spinű természetét tükrözi.)



7. ábra. A két ütköző hadront alkotó egy-egy kvark-parton annihilációjából keletkezik egy  $\mu^+\mu^-$  pár. Alul a pár invariáns tömege függvényében mért hatáskeresztmetszetet és a partonmodell jóslatát lehet összevetni.

A modell fizikatörténeti értékelésére legegyszerűbb idéznünk Pickeringet: „Az MIT két elméleti fizikusa, Victor Weisskopf és Julius Kuti (a budapesti Eötvös Egyetemről érkezett vendégkutató) komolyan vette a gluonok ideáját és 1971-ben részletes modellt alkottak a szerkezeti függvényekre. Feltételezték, hogy a gluonok elektromosan semlegesek és ezért közvetlenül nem járulnak hozzá az elektronok szórásához. Azonban részben hordozzák a proton, illetve a neutron impulzusát. Tehát a gluonok, mint a nukleonok fontos, de láthatatlan alkotórészei szerepelnének a kísérletekben. A gluonkomponens feltételezése csökkentette a struktúrafüggvényeket. A kvarktenger kvark-antikvark párhajhoz hasonlóan a gluonkomponens is szabad paraméter volt a Kuti-Weisskopf-modellben, és ezzel a további interpretációs szabadsággal élve a SLAC-adatokkal »eléggyőző egyezést« sikerült elérni.”

Figyelemre méltó Kuti és Weisskopf óvatos konklúziója: „A  $v W_2$  skálázása nem bizonyítja a pontszerű alkotórészek létezését, de a pontszerű alkotórészek szükségszerűen vezetnek a skálázáshoz.” A pontszerű alkotórészek létének elfogadásához az szükséges, hogy a jelenségek jóval szélesebb körében egységesen egyetlen modellel értelmezhezzük a tapasztala-

tokat. Ennek érdekében a szerzők modelljüket további három, már futó vagy akkor tervezett kísérletre is alkalmazták.

Közös munkánk szempontjából a legfontosabb az volt, hogy a spinre átlagolt elektronok polarizálatlan hidrogén és deutérium targeten végzett szórás kísérleteinek adataival rögzített eloszlásfüggvényekkel Kuti elvégezte a spinfüggő hatások skáláhipotézissel történő elemzését is. Kiszámította a párhuzamos és antiparalel elektron-nukleon polarizáció esetében végzett kísérletek hatáskeresztmetszeteit jellemző aszimmetriát. Ebben a kísérletben az elektromágneses áramsűrűségek kommutátorának ellentett polarizációjú állapotokbeli mátrixelemeinek különbségét jellemző alaktényezők –  $d(q^2, \nu)$  és  $g(q^2, \nu)$  – mérhetőek meg:

$$\begin{aligned} W_{\mu\nu}^A(P, q) &= \\ &= \frac{1}{2} \int d^4 y e^{iqy} \left\langle \left\langle P, \alpha \left[ j_{\mu}^{\text{proton}}(y), j_{\nu}^{\text{proton}}(z=0) \right] \right| P, \alpha \right\rangle - \right. \\ &\quad \left. - (\alpha \rightarrow -\alpha) \right\rangle = \\ &= \epsilon_{\mu\nu\rho\sigma} q^{\rho} \alpha^{\sigma} d(q^2, \nu) + (\alpha q) \epsilon_{\mu\nu\rho\sigma} q^{\rho} P^{\sigma} g(q^2, \nu). \end{aligned}$$

Az aszimmetria a  $d$  és  $g$  függvényekkel adható meg:

$$\begin{aligned} A &= \frac{d\sigma^{\uparrow\downarrow} - d\sigma^{\uparrow\uparrow}}{d\sigma^{\uparrow\downarrow} + d\sigma^{\uparrow\uparrow}} = \\ &= \frac{1}{\pi} \frac{M^{-1}(E_1 + E_2 \cos \Theta) d(q^2, \nu)}{4 W_1(q^2, \nu) + 2 \cot\left(\frac{\Theta}{2}\right) W_2(q^2, \nu)} + \\ &\quad + \frac{1}{\pi} \frac{(E_1 + E_2)(E_1 - E_2 \cos \Theta) g(q^2, \nu)}{4 W_1(q^2, \nu) + 2 \cot\left(\frac{\Theta}{2}\right) W_2(q^2, \nu)}. \end{aligned}$$

További alkalmazásként kiszámították a proton-proton nagyenergiás szórásban egy kvark és egy (tengerbeli) antikvark annihilációjából keletkező  $\mu^+\mu^-$  pár keltési hatáskeresztmetszetét is. Ezt a 7.a ábrán látható reakciót azonban nem sikerült jól leírni. A müonpár invariáns tömegének 3–5 GeV tartományában a hatáskeresztmetszetben Leon Lederman csoportja által mért „váll” (lásd 7.b ábra) magyarázatával Gálfi és Reinhard Kögerler bécsi kollégánk közös cikke is próbálkozott [7]. A valódi magyarázat 1974-ben végül történelemalakító szerepet kapott (lásd a cikk második részét!).

Harmadik alkalmazásként a neutrínók mélyen rugalmatlan szóródását vizsgálták nukleonokon. Ebben a reakcióban a neutrínó mai megfogalmazásban egy kemény virtuális  $W$ -bozont bocsát ki, és annak elnyelése „robbantja fel” a nukleont. A kinematika teljesen hasonló az elektron-proton ütközéséhez, pusztán a strukturális függvények megjelenésének módja más. Az újonnan megjelenő  $W_3(q^2, \nu)$  tükrözi a gyenge kölcsönhatás paritásvioláló tulajdonságát, előjelében a különbséget az antineutrínó (+), illetve a neutrínó (–) szórásánál fellépő paritásvioláló hatás okozza:

$$\frac{d\sigma^{weak}}{dv dQ^2} = \frac{G_F^2}{2\pi M^2} \frac{E_2}{E_1} \left[ 2 \sin^2\left(\frac{\Theta}{2}\right) W_1(q^2, \mathbf{v}) + \cos^2\left(\frac{\Theta}{2}\right) W_2(q^2, \mathbf{v}) \pm \frac{E_1 + E_2}{2M} \sin^2\left(\frac{\Theta}{2}\right) W_3(q^2, \mathbf{v}) \right].$$

Az alaktényezőkre az elektron-proton szóráshoz hasonló skálázó alak vezethető le:

$$\frac{1}{M^2} \mathbf{v} W_{2,3}(q^2, \mathbf{v}) \rightarrow F_{2,3}(\omega),$$

$$W_1(q^2, \mathbf{v}) \rightarrow F_1(\omega).$$

A gyenge kölcsönhatás Fermi-elméletét a kvarkok szintjén alkalmazva, az elektron-nukleon kölcsönhatásból meghatározott kvark-eloszlásfüggvényekkel számszerű jóslatot lehetett tenni például a  $N$ -szórás teljes hatáskeresztmetszetére, ami ésszerűen egyezett a CERN-ben és az Argonne Nemzeti Laboratóriumban nyert buborékkamrás adatokkal, annak ellenére, hogy a kísérletet nem korlátozták a skálázó tartományra.

*Kunszt Zoltán*, az ELTE Atomfizikai Tanszékének Dubnában dolgozó munkatársa *Vesztergombi Györggyel* (KFKI) együttműködésben már 1970-ben foglalkozott a skálázási hipotézis következményeivel a neutrínó-nukleon kölcsönhatásokban. A kozmikus sugárzással keltett részecskék bomlásából származó neutrínók mélyen földalatti detektorokkal történt észlelési adatainak elemzését Marx György javasolta Kunszt egyetemi doktori disszertációja témájául. A kalandos sorsú, preprint alakban maradt munka [8] úttörő eredményeinek teljesebb összefoglalására csak 1972-ben került sor, amelyet végül 1974-ben jelentett meg az *Acta Physica Hungarica* [9].

Az atmoszférikus neutrínók fluxusából számított neutrínó-nukleon hatáskeresztmetszet korábbi elemzéseivel szemben Kunszt beépítette a skálázási hipotézist a detektáláskor keletkező müonok fluxusát meghatározó képletbe. A kísérletekből kiolvasható a detektált müonoknak az anya-neutrínóhoz viszonyított energiahányada, amelynek definícióját alább adjuk meg, hozzáátve a skálázási hipotézisből adódó értékét korlátozó egyenlőtlenséget, amelyet a skála-függvények integráljai határoznak meg:

$$k = \left\langle \frac{E_\mu}{E_\nu} \right\rangle = \frac{1}{\sigma_p(E_\nu)} \int_0^{E_\nu} \frac{E_\mu}{E_\nu} \frac{d\sigma}{dE_\mu} dE_\mu,$$

$$0,5 < k = \frac{8 + K_1/K_3 \pm 3 K_2/K_3}{12 + 4 K_1/K_3 \pm 8 K_2/K_3} < 0,75,$$

$$K_{1,3} = \int_1^\infty \frac{d\omega}{\omega^3} F_{1,3}(\omega),$$

$$K_2 = \int_1^\infty \frac{d\omega}{2\omega^2} F_2(\omega).$$

A  $k$  mennyiség mérésekből becsült értékei mind a fenti korlátok közé estek!

Térjünk vissza a spinfüggő hatásokhoz. A kísérletre vonatkozó jóslatokat, beleértve a budapesti csoport munkáját is, Kuti Gyula a II. Polarizált Céltárgy Nemzetközi Konferencia felkért előadásában 1971. szeptember elején foglalta össze [10]. Érdemes megjegyezni, hogy az elemzés első lépcsőjében a Gell-Mann által javasolt, úgynevezett fénykúpalgebrai megközelítésben elemezte a spinfüggő hatások skálázási tulajdonságait. Ez a kvarkok létezésének kérdésében elkerüli az állásfoglalást. A kvarkmodell szimmetriatulajdonságaira korlátozódó szemléletnek megfelelően, kizárólag a kvarkokból képezett áramsűrűség-operátorok felcserélési relációinak a fénykúp közelében mutatott szinguláris viselkedését fogadta el és használta a spinfüggő szerkezeti függvények viselkedésének megszorítására. Az aszimmetriát meghatározó kombinációjukra úgynevezett összegszabályt (a skálaváltozó szerinti integrált) is származtatott a fénykúp-algebra segítségével, aminek számértékét azonban a kvarkeloszlások részletei nélkül nem lehetett meghatározni.

A következő elemzési fokozatban a Kuti-Weisskopf-partonmodellt is használta számításaiban. Azt találta, hogy a spinfüggő effektusok kizárólag a valenciakvarkok járulékából adódnak. Sikerült a spinfüggő hatás erősségét jellemző összegszabály-integrál számértékére is jóslatot tenni. A kvarkáramok algebrájának lényeges összefüggését a skálajóslattal és az összegszabállyal a következő képletsor foglalja össze:

$$[j_i(0, \mathbf{x}), j_k(0, 0)] = -2 i \epsilon_{ikl} j_{5,l}(0, 0) \delta^3(\mathbf{x}),$$

$$\langle P\alpha | j_3^\mu | P\alpha \rangle = -2 M Z \alpha^\mu,$$

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^1 dx \mathbf{v} [d(q^2, \mathbf{v}) + M\mathbf{v} g(q^2, \mathbf{v})] = Z,$$

$$\mathbf{v} [d(q^2, \mathbf{v}) + M\mathbf{v} g(q^2, \mathbf{v})] \rightarrow \frac{10\pi}{9} G_{d, valence},$$

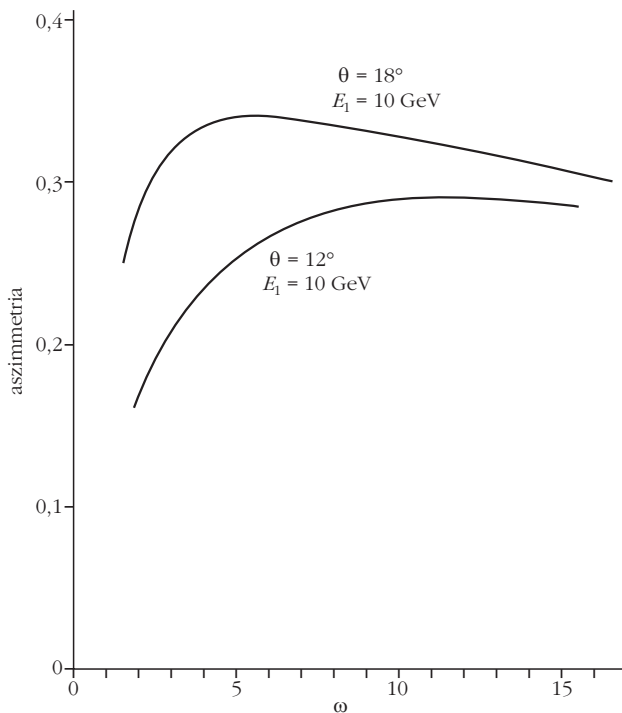
$$\mathbf{v}^2 g(q^2, \mathbf{v}) \rightarrow 0,$$

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^1 [\mathbf{v} d^{proton}(q^2, \mathbf{v})] = \frac{5}{9}.$$

A relativisztikus impulzuseloszlást szorzó tényezőként a nem-relativisztikus konsztituens modell (spin-unitér spin) algebrai szerkezetét vette át. Ezzel lehetőség nyílt adott energiájú elektronnyaláb és szórásszög esetén az aszimmetriára tett részletes előrejelzés kirajzolására (8. ábra).

A spinfüggő effektusok izgalmas alkalmazási lehetőségét kínálta a proton kiterjedt szerkezetéből származó polarizálhatósági korrekció a hidrogén alapállapotú hiperfinom felhasadásához. A mérések és a proton polarizálhatóságát nem tartalmazó kvantumelektrodinamikai számítások 2,4 ppm pontosságú egyezése nagyon megszorítja a járulék elfogadható nagysá-





8. ábra. A spinfüggő elektron-proton mélyen rugalmatlan szórás aszimmetriájára a Kuti-Weisskopf-partonmodellből számított jöslát a skálaváltozó függvényében.

gát. Az egyezést esetleg „elrontó” polarizációs járulékok jelentősége az lehetne, hogy megkövetelne nem-elektromágneses eredetű további korrekciókat (új fi-

zikat). Miután a polarizációs járulékok kifejezésében a spinfüggő szerkezeti függvények integráljai szerepelnek, ezek modelljét használva Gnädig és Kuti 1972-ben a spinfüggő szerkezeti függvényekre érvényes egyenlőtlenségek alapján szoros alsó és felső korlátot tudott levezetni [11], amely belül maradt a kísérleti hiba által megengedett tartományon.

Az 1972-es balatonfüredi konferenciára szóló meghívást Weisskopf a Kutival folytatott kiemelkedően eredményes együttműködése okán természetes módon fogadta el. A másik meghíváshoz alapot adó ismeretség éppen a Polarizált Céltárgy konferenciához köthető: az előadását követő napon az előadóteremhez igyekvő Gyuszi mellé a liftbe beszállt egy orosz-lánsörényű úr, és azonnal hozzáfordult: „I am Dick Feynman”...

#### Irodalom

1. G. Zweig: *Memories of Murray and the Quark Model*. arXiv: 1007.0494 [physics.hist-ph]
2. A. Pickering: *Constructing Quarks (A Sociological History of Particle Physics)*. Univ. of Chicago Press, 1983.
3. L. Gálfi, J. Kuti, A. Patkós, *Phys. Lett.* 31B (1970) 465.
4. L. Gálfi, P. Gnädig, J. Kuti, F. Niedermayer, A. Patkós, *Acta Phys. Hung.* 31 (1972) 85.
5. P. Gnädig, F. Niedermayer, *Nucl. Phys B55* (1973) 612.
6. J. Kuti, V. F. Weisskopf, *Phys. Rev. D4* (1971) 3418.
7. L. Gálfi, R. Kögerler, *Phys. Letters* 36B (1971) 218.
8. Z. Kunszt, G. Vesztergombi, *JINR Report No. E2-5092*, 1970.
9. Z. Kunszt, *Acta Phys. Hung.* 35 (1974) 3.
10. Julius Kuti: *Deep inelastic scattering of polarized leptons from polarized nucleons*. MIT Center for Theor. Phys. Pub. No. 234.
11. P. Gnädig, J. Kuti, *Phys. Letters* 42B (1972) 241.

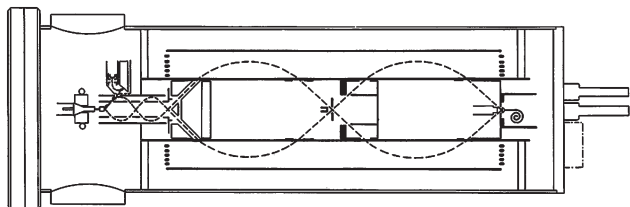
## ELEKTROSZTATIKUS ELEKTRONSPEKTROMÉTEREK FEJLESZTÉSE AZ ATOMKI-BAN

Kövér Ákos  
ATOMKI

Az ATOMKI-ban az 1960-as években a Berényi Dénes által vezetett Magspektroszkópiai Osztály egyik fontos kutatási területe az atommag és elektronjai közötti kölcsönhatás vizsgálata volt [1]. Az atommag gerjesztett állapotából általában egy  $\gamma$ -kvantum kibocsátásával juthat alacsonyabban gerjesztett állapotba vagy alapállapotba. Ezzel párhuzamosan egy másik folyamat is lejátszódhat, amikor a mag ezt az energiát közvetlenül egy atomi elektronnak adja át. Ezeket a kirepülő elektronokat belsőkonverziós elektronoknak nevezzük. Az elektronok energiája függ a magátmenet energiájától és az elektron kötési energiájától. A mért adatokból következtetni lehetett a magátmenet jellemzőire. Kutatásaink során sajátépítésű, nagyfeloldású permanens mágneses sávspektrográf segítségével vizsgáltuk az atom különböző – elsősorban magasabb (M, N, O) – elektronhéjáról származó elektronjait.

Varga Dezső hetvenedik születésnapjára rendezett szemináriumon elhangzott előadás írott változata.

A hetvenes évek elején az érdeklődés a kisenergiájú magátmenetek (< 20 keV) irányába fordult. Világszerte ebben az időben kezdődtek el a fotoelektron-spektroszkópiai kutatások, valamint a kis magfizikai gyorsítók (0,5–5 MeV) alkalmazása az atomi elektronhéj vizsgálatára. Ezek az új kutatási irányok új távlatokat nyitottak az atomfizikában. Berényi Dénes javaslatára a kisenergiájú konverziós elektronok vizsgálata mellett az osztály kutatási területe a fentebb említett két irányban folytatódott. A tervezett kutatások mindegyikében 50 eV – 20 keV közötti elektronok energiáját kellett mérni, amelyre már nem volt alkalmas a meglévő mágneses sávspektrográf. Új elveken működő mérőrendszere volt szükség, amelynek tervezésére és megépítésére Varga Dezső vezetésével egy kis csoport alakult. Varga Dezső a leningrádi egyetem magspektroszkópiai szakán végzett 1963-ban. Jelentős szerepe volt az osztály magspektroszkópiai kutatásaiban: a belső fékezési sugárzás és a kis intenzitású pozitronemisszió vizsgálatában ért el komoly eredményeket.



1. ábra. Az ESA-11 elektronspektrométer keresztmetszete

## ESA-11

A kisenergiájú elektronok vizsgálatában az elektrosztatikus eltéréseken alapuló analizátorokra esett a választás. 1973-ban készült el az első hengertükrös típusú spektrométer, amely az ESA-11 nevet kapta (1. ábra) [2]. Az ilyen típusú elektronspektrométerek előnye a nagy térszögből történő gyűjtés és a másodrendű fókuszlás miatti jó energiafelbontás. Az energiaanalízálást a következő módon végzik: a két koncentrikus henger közötti elektrosztatikus térbe belépő elektronok, a külső hengeren lévő negatív feszültség miatt, visszatérülnek és – energiájuktól függően – a belső henger különböző részeibe csapódnak be. A hengerek közötti potenciál egy adott értékénél a belső hengeren megfelelő helyen elhelyezett résen keresztül csak egy adott energiájú elektron tud bejutni a belső henger belsejébe. Az így monokromatizált elektronokat a hengerek tengelyében elhelyezett detektorral, csatorna-elektronsokszorozóval detektáltuk. A nagyobb energiafelbontás és a kisebb háttér elérése érdekében két analizátort helyeztünk el egymás után. Mivel először a kisenergiájú konverziós elektronok vizsgálata volt a cél, ezért úgy kellett a rendszert megtervezni, hogy kiterjedt radioaktív forrásból tudja az elektronokat fogadni. További nehézséget jelentett, hogy az elektronok pályáját leíró analitikus számítások csak végtelen hosszúságú hengerekre vonatkoznak, nem veszik figyelembe a véges hosszúságú hengerek végeinél fellépő torzított elektrosztatikus teret.

Azt, hogy az elektronpályákat ne módosítsa a torzított tér, kétféle módon lehet elérni: vagy az elektronok forrását távolabb helyezzük el a belső hengerben, vagy pedig a két henger között úgynevezett ekvipotenciális gyűrűket helyezünk el, amelyek szimulálják a végtelen hengerek megfelelő potenciáeloszlását. Mi a fenti két megoldás kombinációját alkalmaztuk. A belső hengerben elhelyezett forrás nem okozott nehézséget a belső-konverziós elektronok vizsgálatánál, de problémát jelentett a fotoelektronok mérésénél,

mivel a mintát ebben az esetben egy monoenergetikus röntgenforrással kell besugározni. A megoldás egy transzportlencse lett, amelynek segítségével könnyebben lehetett a minta felületéhez hozzáférni és a mintát egy saját fejlesztésű röntgensőből származó  $AlK_{\alpha}$  monoenergetikus röntgennyalábbal besugározni. Ez a fejlesztés 1974-ben fejeződött be [2].

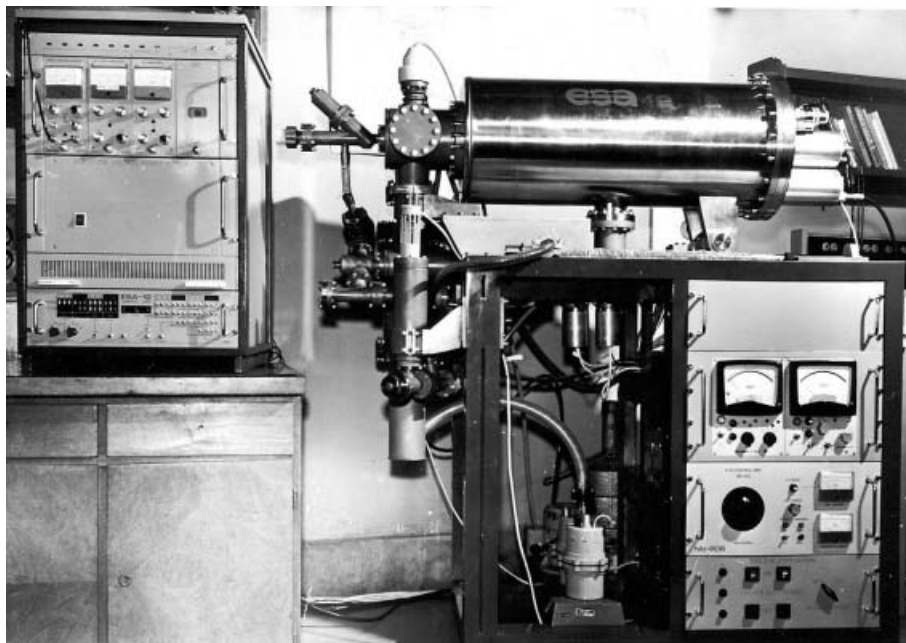
Az ESA-11 elektronspektrométer 1990-ig működött a jelenlegi *Elektronspektroszkópiai és Anyagtudományi Osztályon*. A további fotoelektron-spektroszkópiai mérések az ESA-31 (lásd később) spektrométeren folytatódtak. Az analizátor beváltotta a hozzá fűzött reményeket. A rendszer relatív energiafelbontása fékezés nélkül  $\Delta E/E = 1 \cdot 10^{-3}$  volt.

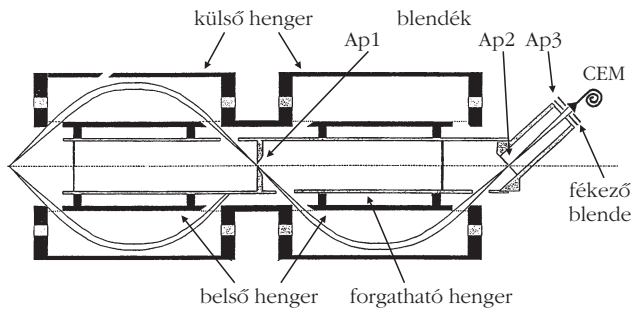
Az ESA-11 használata során jelentős eredmények születtek a platinafelületek elektrolitikus oxidációjával, a rozsdamentes acélok felületi passzív rétegének és a Pt–Si határfelületek vizsgálatában [3].

## ESA-12

A belsőkonverziós elektronok vizsgálata területén szoros együttműködést alakítottunk ki a Prága melletti Rezben lévő Magfizikai Kutatóintézet munkatársaival, akik megrendeltek tőlünk egy hasonló mérőberendezést. A megépített ESA-12 (2. ábra) lényegében azonos az ESA-11 analizátorral, csak néhány technikai módosítás történt az építésénél [4]. A rendszer 10 eV-től 20 keV-ig képes az elektronok energiáját  $\Delta E/E = 2 \cdot 10^{-4}$  relatív energiafelbontással mérni. A későbbiekben kérésükre ezt a rendszert is kiegészítettük egy transzportlencsével és röntgensővel annak érdekében, hogy meg tudják határozni a radioaktív minta kémiai összetételét. Az ESA-12 jelenleg is üzemel, és a rezi intézet egyik meghatározó műszere [5].

2. ábra. Az ESA-12 elektronspektrométer



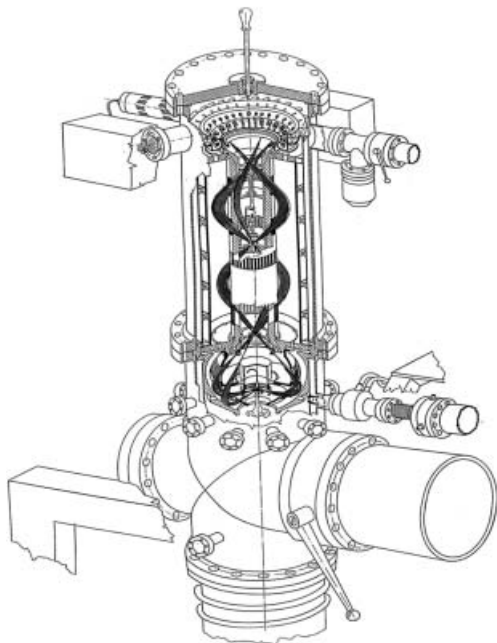


3. ábra. Az ESA-13 elektronspektrométer keresztmetszete

## ESA-13

Kifejezetten magfizikai részecskegyorsítóknál történő mérésekre fejlesztettük ki az ESA-13 analizátort. A méréseknél nagyon lényeges, hogy az analizátor tárgypontra – ahol a mérendő elektronok keletkeznek – kívül legyen az elektronspektrométeren. Varga Dezső ötlete alapján ezt úgy valósítottuk meg, hogy az elektronpályák számításánál figyelembe vettük a hengereket lezáró korongok miatt fellépő, a klasszikus logaritmikus teret torzító hatást. Numerikus számítások segítségével itt is sikerült az elektronokat másodrendben fókuszáló megoldást találnunk, és így egy jó feloldású analizátort építenünk (3. ábra) [6, 7]. A spektrométer 1982-re készült el, relatív energiafelbontása  $\Delta E/E = 5 \cdot 10^{-3}$ . Később a rendszert egy további forgatható hengerrel bővítettük ki, amelynek forgatásával az elektronok kirepülési szögét lehetett meghatározni a gerjesztőnyaláb irányához képest. A mérőrendszert az ATOMKI VdG-1,5 nyalábjára telepítettük, ahol 1995-ig működött. A nyolcvanas években a spektrométert többször szállítottuk ki a frankfurti J. W. Goethe Egyetem fizikai tanszékének kisenergiájú

4. ábra. Az ESA-21 elektronspektrométer metszeti rajza



gyorsítójához, annak érdekében, hogy az ottani kutatókkal végezzünk közös méréseket.

A spektrométerrel elsősorban a nyaláb irányával azonos irányba kirepülő elektronokat vizsgáltuk. Elsőként sikerült kimutatnunk lövedék folytonos energiájú állapotba történő elektronbefogását semleges és strukturált lövedékeknél, az ütközési utáni kölcsönhatást a szórt lövedék és az Auger-elektron között, valamint az elektronkorrelációt a transzfer-ionizációs folyamat esetében. Jelentős visszhangja volt a nyaláb irányához képest hátszögekben ( $95^\circ$ – $170^\circ$ ) végzett méréseinknek, ahol a  $\text{He}^+ - \text{He}$ ,  $\text{Ne}$ ,  $\text{Ar}$  ütközés esetében az elektronvesztési folyamatot vizsgáltuk [8].

Egy ESA-13 típusú analizátor jelenleg is működik a Miskolci Egyetem Fizikai Tanszékén, ahol azzal elektron-elektron koincidenciaméréseket végeznek [9]. Egy hasonló elektronspektrométert építettünk a Budapesti Műszaki Egyetem Szeretlen és Analitikai Kémiai Tanszéke részére is, ahol felhasználásával különböző mintákat vizsgálnak UV besugárással (UPS) [10].

## ESA-21

A hetvenes évek végén határoztuk el, hogy ion-atom ütközésekből származó Auger-elektronok szögeloszlását fogjuk vizsgálni nagy gyorsítóknál. Elsősorban a dubnai U-300, illetve U-400-as nehézion-ciklotronra gondoltunk. Ezeknél a nagy gyorsítóknál azonban a mérési idő nagyon korlátozott. Évente egy-két hét vagy hónap lehet. Ugyanakkor a szokásos módon, az analizátor forgatásával végzett szögeloszlásmérések nagyon időigényesek. Varga Dezső ötlete volt, hogy egy olyan berendezést építsünk, amelynél a különböző irányokba kirepülő elektronok spektrumának felvétele azonos időben történik. A korábban már leírt kettős hengertükrök-analizátort bővítettük ki egy gömbtükrrel. Ennek az volt a feladata, hogy a szórási síkban különböző irányokba kirepülő elektronokat a hengertükrök-analizátor bemeneti részére vezesse. Az 1980-ban elkészült ESA-21 jelű elektronspektrométer a teljes szögtartományban ( $0^\circ$ – $180^\circ$ )  $15^\circ$ -onként elhelyezett detektorok segítségével egyidejűleg méri a beérkező elektronokat (4. ábra). Relatív energiafelbontása  $\Delta E/E = 2 \cdot 10^{-4}$ . Az elektronok energia- és szögeloszlásának szimultán mérése nemcsak azt jelentette, hogy a mérési idő 13-szor rövidebb lett, hanem azt is, hogy a mérések megbízhatósága nagymértékben megnőtt, mivel bármilyen időben változó kísérleti körülmény (pl. gerjesztőnyaláb, cél tárgy – gáznyaláb ingadozása) egyidejűleg hatott az összes szögcsatornában detektált elektronra [11].

Az első méréseket az ATOMKI VdG-5 gyorsítóján végeztük, ahol az elektronvesztési csúcs szögeloszlását határoztuk meg  $\text{H}_2^+$ ,  $\text{He}^+ - \text{He}$ ,  $\text{Ar}$  ütközési rendszerek esetében. A spektrométert 1982-86 között a Dubnai Egyesített Atommagkutató Intézet U-300-as nehézion-ciklotron egyik nyalábjára telepítettük. Jelentős eredmények születtek a  $5,5 \text{ MeV/u Ar}^{6+}$ ,  $\text{Ne}^{10+} - \text{Ne}$  ütközésekből származó Auger-elektronok és szatellitjeik szögeloszlásának a mérésében [8].

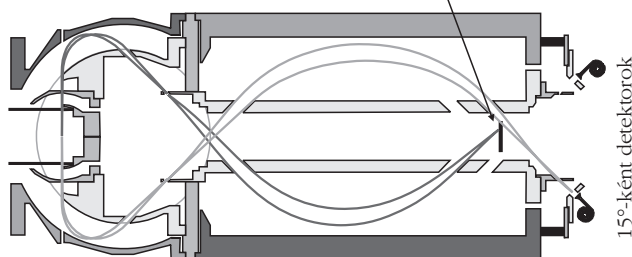
1986-tól újra az ATOMKI VdG-5 nyalábján működik a spektrométer, ahol először mutatták ki az ütközés utáni kölcsönhatás szerepét az Auger-elektron szögeloszlásában. A spektrométerrel az irodalomban közölt korábbi mérésekhez képest sokkal jobb energiefelbontással sikerült az Ar LMM Auger-spektrumát megmérni, és ezáltal nagyobb pontossággal meghatározni az intenzitásarányokat és a csúcsok energiáját. Az ESA-21 rendkívüli alacsony háttérű méréseket tesz lehetővé, amely tulajdonsága révén sikerült kimutatni a többszörös elektronszórásos Fermi-shuttle folyamatot [12].

## ESA-22

Az ESA-21 elektronspektrométer hátránya, hogy nagy mérete miatt nehezen szállítható, valamint az analízatornak csak az egyik felét használja ki. Ezen hátrányok kiküszöbölésére módosítottunk a konstrukción. A hengertükör részről a második menetet elhagytuk. Így az energiefeloldás kismértékben romlott, de a méret csökkenése miatt a szállítás és a különböző gyorsítókhöz való telepítés egyszerűbb lett. További módosítás, hogy az analízator hosszában kettévágtuk, és így két független elektronspektrométert kaptunk, amelyekkel elektron-elektron koincidenciaméréseket lehet végezni (5. ábra). További előny, hogy az elektronokat különböző sugarú körökre tudjuk fókuszálni, így lehetőségünk van helyzetérzékeny detektor használatára, amelynek segítségével  $0^\circ$ -tól  $360^\circ$ -ba kirepülő elektronok szögeloszlását  $1^\circ$ -os pontossággal tudjuk meghatározni. A 80 mm átmérőjű körre történő fókuszálás esetében továbbra is csatorna-elektronsokszorozókat használunk  $15^\circ$ -onként elhelyezve. A 22 detektor segítségével nagy pontossággal tudjuk meghatározni az elektronok szögeloszlását [13].

Az ESA-22 rendszert 1998-ban a lundi MAX-2 szinkrotron nyalábjára telepítettük. 2007-től pedig méréseinket a DAISY tárológyűrűnél, Hamburgban végezzük. Elsőként tudtuk az Ar LMM spektrumában szereplő vonalakat nagy pontossággal szétválasztani eredetük szerint, koincidenciában mérve az Auger-elektronokat az ionizáció keletkezési helyére jellemző energiájú fotoelektronokkal. Nagy pontosságú méréseink segítségével először sikerült kimutatni a Xe  $5s$ ,  $5p$  héjakról származó fotoelektronok szögeloszlása dipól- és kvadrupól-paramétereinek erős függését a fotonok energiájától, amely erős sokelektronos korre-

5. ábra. Az ESA-22 elektronspektrométer helyzetérzékeny detektor



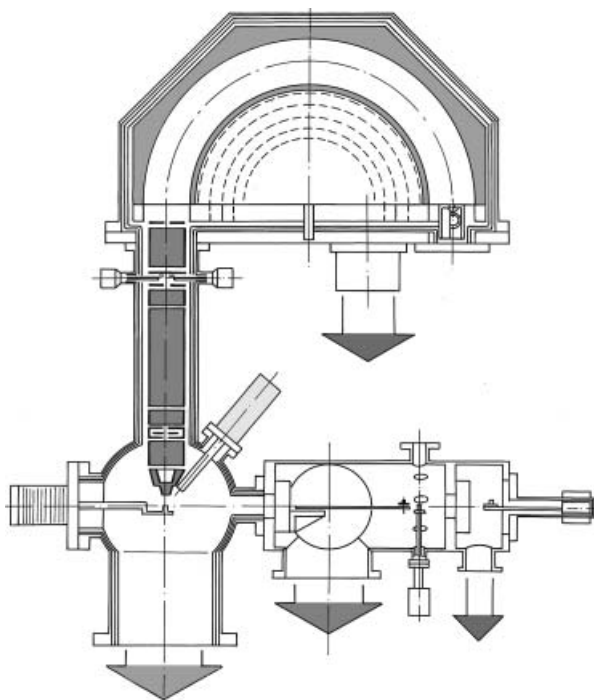
lációs effektusok jelenlétére utal a fotoionizációban. Hasonlóan erős rezonanciát figyeltünk meg az Ar  $2p_{1/2}$ ,  $2p_{3/2}$  – ns/md rezonáns gerjesztésnél. Először mutattunk ki interferenciát a Kr  $4p$  héjáról származó fotoelektronok szögeloszlásában a dipól- és kvadrupól-járulékok aszimmetriaparaméterénél a Kr  $(3d)^{-1}$  – np rezonáns gerjesztés esetében [14].

Az ESA-22 egy változata működik a giesseni Justus-Liebig Egyetem Atom és Molekulafizikai Intézetében, ahol elektron-ion koincidenciaméréseknél tervezik használni.

## ESA-31

Az 1972-ben épült ESA-11 már nem tudta kielégíteni a felületvizsgálatokhoz szükséges igényeket, ezért 1990-ben Varga Dezső vezetésével elkészült egy újabb elektronspektrométer-rendszer, amelynek energiaanalízatorra egy gömbdeflektor. A szilárd mintáról az elektronokat egy 7 elemes lencse vezeti az analízator bemenetére (6. ábra). Az analízator relatív energiefelbontása igen jó  $\Delta E/E = 3 \cdot 10^{-5}$ . A spektrométer kamrájának vákuuma kielégíti a felületvizsgálathoz szükséges ultravákuum-feltételeket. Ennek értéke  $5 \cdot 10^{-10}$  mbar. A minták vizsgálatára két, különböző anódokkal ellátott ikeranódos röntgenszó, két elektronágyú és a felületek tisztításához szükséges 2 ionágyú áll rendelkezésre. A mérések során elsősorban a mintákból származó foto- és Auger-elektronokat vizsgálják. Jelentős eredményeket értek el még a felületekről visszaszóródó elektronok spektroszkópiájában. Felületanalitika-vizsgálatokat is végeznek, amelynek során például az atomerőmű szerkezeti anyagainak korrózióját, vékonyréteg-napelemek szerkezeti analízisét végezték el [15].

6. ábra. Az ESA-31 elektronspektrométer keresztmetszete



Jelenleg az Eötvös Loránd Tudományegyetem Átalanos és Szervetlenkémiai Tanszékén működik az ESA-31 kisenergiájú elektronok mérésére szolgáló változata (ESA-32), ahol különböző mintákat vizsgálnak HeI és HeII besugárzással (UPS) [16, 17].

## Utószó

Az elmúlt 40 év alatt 11 egyedi tulajdonságokkal rendelkező elektrosztatikus elektronspektrométer épült az ATOMKI-ban, amelyekből három jelenleg is az Intézetben működik. Három spektrométert más hazai kutatóhelyeken használnak, két spektrométerrel pedig külföldi intézetekben folytatnak kutatásokat. Egy spektrométerrel a lundi (Max2), illetve a hamburgi (DorisIII) szinkrotron nyalábján végzünk méréseket. Mindegyik analízátor sikeresen teljesítette a tervezésük során kitűzött célokat. A fejlesztő csoportban olyan elektrosztatikus spektrométerekhez értő kutatók nevelődtek ki, akiket külföldön is szívesen alkalmaznak hasonló rendszerek tervezésére.

Érdeemes még megemlíteni azok nevét, akik Varga Dezső meghatározó szerepe mellett hosszabb-rövidebb ideig részt vettek a fejlesztésekben: *Cserny István, Gulyás László, Kádár Imre, Kövér Ákos, Kövér László, Mórik Gyula, Redler László, Ricz Sándor, Sarkadi László, Sulik Béla, Szmola Ernő, Tóth József, Tőkési Károly*.

Végezetül fontos megemlíteni, hogy a spektrométereken kívül a mérésekhez elengedhetetlen a nagy pontosságú tápegységeket vezérlő és adatgyűjtő elektronika, valamint az ezeket vezérlő szoftver. Ezen egységek nagy része is az ATOMKI-ban készült. A vezérlő és adatgyűjtő rendszerek fejlesztési munkáinak bemutatása azonban már nem e cikk tárgya.

## Irodalom

- Varga D.:  $\beta$ -spektroszkópiától az atomfizikáig. *Fizikai Szemle* 54 (2004) 117.
- D. Varga, I. Kádár, Á. Kövér, L. Kövér, Gy. Mórik: An electron spectrometer of double-pass cylindrical mirror type for nuclear spectroscopy and atomic physics. *Nucl. Instrum. Meth.* 154 (1978) 477.
- Kövé L.: Elektronspektroszkópia és felületkutatás. *Fizikai Szemle* 54 (2004) 120.
- D. Varga, I. Kádár, Á. Kövér, I. Cserny, Gy. Mórik, V. Brabec, O. Dragoun, A. Kovalik, J. Adam: Electrostatic spectrometer for measurement of internal conversion electrons in the 0.1-20 keV region. *Nucl. Instrum. Meth.* 192 (1982) 277.
- Nuclear Physics Institute of the ASCR. *Nuclear Physics News* 20 (2010) 5.
- D. Varga, Á. Kövér, L. Kövér, L. Redler: A distorted field cylindrical mirror electron spectrometer I. Calculation of the analyzer. *Nucl. Instrum. Meth. A* 238 (1985) 393.
- Á. Kövér, D. Varga, I. Cserny, E. Szmola, Gy. Mórik, L. Gulyás, K. Tőkési: A distorted field cylindrical mirror electron analyzer II. Performances and application for studying ion-atom collisions. *Nucl. Instrum. Meth. A* 373 (1996) 51.
- Sarkadi L.: Atomi ütközések fizikája. Három évtized kutatásai az ATOMKI-ban. *Fizikai Szemle* 54 (2004) 123.
- B. Paripás, B. Palásthy: Coincidence electron spectrometer for studying electron-atom collisions. *Radiation Physics and Chemistry* 76 (2007) 565.
- T. Veszptémi, G. Zsombok, L. Nyulászi, L. Kövér, Á. Kövér, I. Cserny: A new UV photoelectron spectrometer for investigation of molecular electronic-structures. *Vacuum* 37 (1987) 191.
- D. Varga, I. Kádár, S. Ricz, J. Vég, Á. Kövér, B. Sulik, D. Berényi: A spherical mirror-double cylindrical mirror electron spectrometer for simultaneous energy and angular distribution measurements: design, construction and experiences. *Nucl. Instr. Meth. A* 313 (1992) 163.
- B. Sulik, Cs. Koncz, K. Tőkési, A. Orbán, D. Berényi: Evidence for Fermi-Shuttle ionization in intermediate velocity  $C^+ + Xe$  collisions. *Phys. Rev. Lett.* 88 (2002) 073201.
- S. Ricz, Á. Kövér, M. Jurvansuu, D. Varga, J. Molnár, S. Aksela: A high-resolution photoelectron – Auger electron coincidence study for the  $L_{23}-M_{23}M_{23}$  transitions of argon. *Phys. Rev. A* 65 (2002) 042707.
- S. Ricz, T. Ricsoka, K. Holste, A. Borovik Jr., D. Bernhardt, S. Schippers, Á. Kövér, D. Varga, A. Müller: Interference effect in the dipole and non-dipole anisotropy parameters of the Kr  $4p$  photoelectrons in the vicinity of the Kr  $(3d)^{-1} - np$  resonant excitations. *Phys. Rev. A* 81 (2010) 043416.
- D. Varga, K. Tőkési, D. Berényi, J. Tóth, L. Kövér, G. Gergely, A. Sulyok: Energy shift and broadening of the spectra of electrons backscattered elastically from solid surfaces. *Surface and Interface Analysis* 31 (2001) 1019.
- Csákvári B., Nagy A., Zanathy L., Szepes L.: Változatos kémiai felhasználású VUV fotoelektron-spektrométer (ATOMKI ESA 32). *Magy. Kém. Foly.* 98 (1992) 415.
- Szepes L.: A kémiai kötés tanulmányozása gázfázisú fotoelektron-spektroszkópiával. *Fizikai Szemle* 60 (2010) megjelenés alatt.

# NOBEL-DÍJAS CSALÁDOK – II.

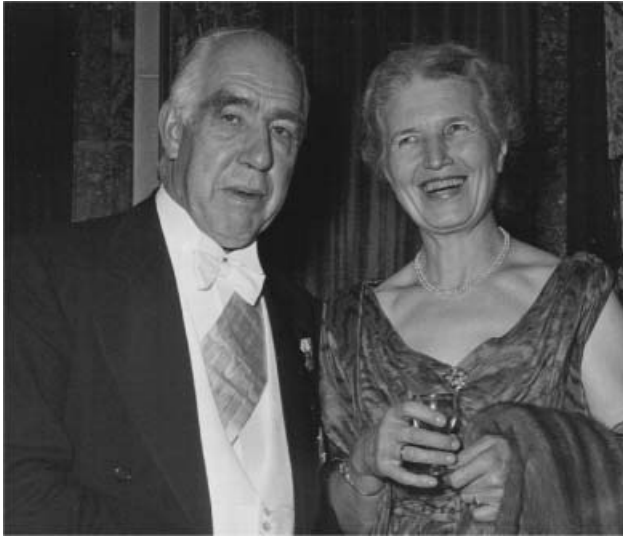
Radnai Gyula  
ELTE

## A két Bohr: Niels és Aage

Niels Henrik David Bohr

A mai Dánia területe és lakosainak száma fele sincs a mai Magyarországnak. Történelmünkben vannak hasonlóságok, kezdve ott, hogy amikor a magyarok bejöttek a Kárpát-medencébe, a dánok (a vikingek) a mai Anglia területét foglalták el éppen. Az ezredforduló táján nagyjából egyszerre vettük fel a kereszténységet, s a rákövetkező ezer év alatt mindkét országnak voltak jobb és rosszabb évei, megnyert és

elvesztett csatái a környező államokkal, vagy éppen idegen hódítókkal. Egykor Lund és Lübeck is dán város volt, ahogy magyar város volt Pozsony, Szabadka vagy Kolozsvár. 1848-ban a dán egység hívei Schleswig Dániához való csatolását sürgették, a magyarok pedig (12. pont!) az uniót Erdéllyel. Az I. világháborút követően népszavazással került vissza Észak-Schleswig Dániához, Sopron pedig Magyarországhoz. Innen kezdve ismét eltérően alakul történelmünk; nézzük hát, hogyan élt egy fizikus a Dán Királyságban.



1. ábra. Niels Bohr feleségével, Margrethe-tel

*Niels Bohr* (Koppenhága, Dánia, 1885. október 7. – Koppenhága, Dánia, 1962. november 18.) édesapja, *Christian Bohr* (1855–1911) a koppenhágai egyetem orvosi karán a fiziológia tanszék megbecsült professzora volt, édesanyja, *Ellen Adler Bohr* (1860–1930) pedig egy, a dán parlamenti körökben is jól ismert bankárcsaládból származott. Az apa hithű evangélikus, az anya izraelita vallású volt. Három gyerekük született: *Jenny* (1883–1933), *Niels* (1885–1962) és *Harald* (1887–1951). Mindegyiküket evangélikusnak keresztelték. Niels születése Ellen Adler Bohr 25. születésnapjára esett. A család anyagi helyzetét elég jól jellemzi, hogy az öreg dajkán kívül még három lányból álló személyzet is lakott a nagy házban, amelyet az egyetem biztosított számukra. A két fiútestvér rajongásig szerette egymást. Mindkettőnek jó érzéke volt a matematikához és a futballhoz. Harald még abba a dán nemzeti labdarúgó válogatottba is bekerült, amelyik az 1908-as londoni olimpián Anglia mögött ezüstérmes lett. Harald csatár volt, Niels leginkább védeni szeretett.

Az egyetemen Niels Bohr először matematikát és filozófiát hallgatott, majd a filozófiát felcserélte fizikára, amikor megnyert egy pályázatot, ahol a felületi feszültségre vonatkozó kísérleteket kellett végezni, minthogy ez apja tanszéki laborjában kiválóan sikerült neki. 1911-ben megírta doktori disszertációját is édesapja emlékének ajánlotta, aki abban az évben váratlanul, szívinfarktuszban hunyt el. A disszertáció tárgya a fémek klasszikus elektronelmélete volt, és Niels Bohr nem átalotta leszögezni benne, hogy „nem valószínű, hogy az elektronelmélet mai állapotában képes megmagyarázni a testek mágneses tulajdonságait”.

A frissen szerzett doktorátussal és a Carlsberg alapítvány támogatásával posztdoktori tanulmányútra indult Cambridge-be. *J. J. Thomsontól* olyan kísérleti feladatot kapott, ami nem nagyon tetszett neki, ezért továbbvándorolt Manchesterbe, *Rutherfordhoz*, akit Cambridge-ben ismert meg. Rutherford ekkoriban publikálta az atom „naprendszer-modelljét” és Bohr

1912 első félévében azon gondolkodott, hogyan lehetne megőrizni ezt a modellt annak ellenére, hogy nyilvánvaló ellentmondásban van az elektrodinamikával. Közben állandó levelezésben állt öccsével, aki akkor már végzett matematikus volt, valamint egy helyes dán kislánnyal, akit azután 1912. augusztus elsején feleségül vett. Az esküvő előtt egy héttel még lázasan dolgozott atommodelljén Manchesterben. Felesége *Margrethe Norlund* (1890–1984), egy dán gyógyszerész lánya volt. Hat fiúval ajándékozta meg, akik közül négyen érték meg a felnőtt kort és szép karriert csináltak: *Hans* orvos, *Ernest* ügyvéd, *Erik* vegyész, *Aage* fizikus lett.

1913-ban publikálta Niels az atom Bohr-modelljét, amely a Rutherford-féle atommodell kvantumfeltételekkel módosított változata volt. 1916-ban lett professzor a Koppenhágai Egyetemen, ekkor fogalmazta meg a korrespondencia-elvet. Eszerint a kvantumfizika törvényei nagy kvantumszámok esetén a klasszikus fizika törvényeibe mennek át. Nyugodtan dolgozhatott: Dánia az első világháborúban semleges maradt. A háború után, 1921-ben a dán kormány és a Carlsberg alapítvány támogatásával Niels Bohr létrehozta Koppenhágában az egyetemen az Elméleti Fizikai Intézetet, amely a következő két évtizedben az elméleti fizikusok Mekkájává vált.

1922-ben megkapta a fizikai Nobel-díjat „az atomok szerkezetének és az azokból eredő sugárzásoknak a vizsgálatáért”. Felmentették az egyetemi előadá-

2. ábra. Niels Bohr és Albert Einstein az 1930-as Solvay-konferencián, Brüsszelben. A képet Paul Ehrenfest készítette.





3. ábra. Niels Bohr Kopenhágában 1935-ben

sok tartása alól, hogy minél több ideje és energiája maradjon a kutatásra. Az előadásokat közvetlen tanítványai és munkatársai, a holland *H. A. Kramers* (1894–1952), majd a német *W. Heisenberg* (1901–1976) vették át tőle. 1926-ban fogalmazta meg a komplementaritási elvet, amely szerint a részecsketermészet és a hullámtermészet egymást kiegészítő, komplementer képei a valóságnak.

A Niels Bohr körül kialakuló „kopenhágai iskola” a világ minden részéről fogadott be fizikusokat, függetlenül azok nemzetiségétől, vallásától. Egyik ilyen kiváló tanítványa, *L. D. Landau* meghívására Niels Bohr még a Szovjetunióba is ellátogatott az 1930-as években, amikor már ő is nukleáris kutatással foglalkozott. Döntő szerepe volt az atommag „folyadékcsépp-modelljének” megalkotásában.

Amikor a náci német csapatok 1940-ben megszállták Dániát, egyre jobban beszűkült az élettér Bohrék számára. 1943-ban Hitler elhatározta a több mint 7000 dániai zsidó deportálását. Ez év októberében a dán ellenállási mozgalom segítségével sikerült Niels Bohrnak egy zsúfolt halászhajón feleségével együtt átmenekülnie Svédországba. Nemsokára a fiúk is utánuk jöttek. Svédországból az angol titkosszolgálat menekítette tovább Niels Bohrt és fizikusnak készülő Aage fiát a német blokádnál tartott Angliába, majd együttműködve az amerikaiakkal, az Egyesült Államokba. Itt kapcsolódott be a Manhattan projektbe (fia volt a titkára). Aktívan részt vett az atombomba létrehozásában, de mindvégig abban reménykedett, hogy nem kerül sor a bomba bevetésére. Titkos tárgyalásokat folytatott *Roosevelttel*, majd *Churchill*-l, akik bizony megdöbbenek azon, ahogy Bohr a politikai kérdéseket a politikán felülemelkedve próbálta kezelni. Churchillnek az lett a véleménye, hogy Niels Bohr a háborúban biztonsági kockázatot jelent a számukra.

Végül is 1950-ben az ENSZ-hez intézett memorandum hozta nyilvánosságra a nyitott világról szóló, minden állam békés együttműködését, a szabad uta-

zást és a korlátlan ismeretszere lehetőségét felvető elképzeléseit. Sajnos a világháború vége után öt évvel, a hidegháború kellős közepén a világ nem volt kapható ilyen gondolatok befogadására, még fizikus körökben sem. További négy év telt el, mire a Német Szövetségi Köztársaságot, és hét év, mire a Szovjetuniót felvették a Nemzetközi Elméleti és Alkalmazott Fizikai Unióba. Közben léghőri hidrogénbomba kísérletek szennyezték a levegőt és az emberek tudatát. Némi elégtétel lehetett Niels Bohr számára, hogy kezdeményezésére létrejött a Nukleáris Kutatások Európai Szervezete (CERN), ahol már nem folytattak hadi kutatásokat.

1962-ben, két nappal azután, hogy elnökölt egy konferencián, szívinfarktust kapott és meghalt Niels Bohr. Megváltoztatni tudta, de megváltani neki se sikerült ezt a világot. Viszont az Elméleti Fizikai Intézetet Kopenhágában 1965-től Niels Bohr Intézetnek hívják.

### Aage Niels Bohr

Aage (ejtsd: óhe) Bohr (Kopenhága, Dánia, 1922. június 19. – Kopenhága, Dánia, 2009. szeptember 8.) édesapja árnyékából nem nagyon tudott, eleinte talán nem is akart kilépni. Nemcsak ő, hanem Niels Bohr mind a négy fia fizikusok között nőtt fel, télen együtt szánkóztak, nyáron együtt strandoltak az Elméleti Fizikai Intézet ösztöndíjas hallgatóival, akik számukra „nagybácsik” voltak. A négy fiú közül mégis ő, a legkisebb lett egyedül fizikus.

Abban az évben született, amikor édesapja megkapta a Nobel-díjat. Tíz éves korában a család új, az addiginál jóval nagyobb és elegánsabb házba költözött, ahová már nemcsak *Kramers*, *Klein*, *Pauli*, vagy *Heisenberg* nagybácsi, de akár az angol királynő, vagy az indiai miniszterelnök is ellátogathatott. El is látogattak.

Aage Bohr 1940-ben kezdte el az egyetemét Kopenhágában, nem sokkal az után, hogy a német megszálló csapatok előzőnlőtték az országot. Még nem fejezte be fizikusi tanulmányait, amikor a család kényszerűségből átmenekült Dániából Svédországba. Elkísérte apját Londonba, ahol Niels Bohrt bevonták a Tudományos és Ipari Kutatóintézet fedőnevű hadiüzem munkájába, és Washingtonba, majd Los Alamosba is, ahol az angol team tagjaként a katonailag szigorúan titkosított Manhattan projektben vettek részt. Niels Bohr *Nicholas Baker* álnéven, Aage Bohr pedig *Jim Baker* álnéven lett bejelentve, mint *Mr. Baker* titkára, és ha kellett, tolmácsa. (Apja eléggé motyogva beszélt, amit nehezen értett meg az amerikai katonai adminisztráció.)

A háború befejezése után azonnal visszatértek Kopenhágába. Aage Bohr újra beiratkozott az egyetemre, letette még hátralévő vizsgáit, és 1946-ban megkapta fizikus diplomáját. Az Elméleti Fizikai Intézetben kapott kutatói állást, majd 1948-ban Princetonba szerzett ösztöndíjat, hogy továbbképezhesse magát. Eljutott a Columbia Egyetemre is, itt hívta fel figyelmét *Izidor Rabi* (1898–1988) professzor a deutérium spektrumvonalainak hiperfinom szerkezetében



4. ábra. Aage Bohr és Ben Mottelson.

mutatkozó érdekességekre. Többek között arra, hogy az atommagbéli töltésselészlás nem tűnik gömbszimmetrikusnak. Lehet, hogy az atommag nem gömb alakú, ahogyan az Niels Bohr cseppmodelljéből következik? Aage Bohrt rendkívül izgatta ez a probléma, igazi kutatói szenvedéllyel csapott le rá és azonnal dolgozni kezdett rajta. Közben 1950-ben, New Yorkban feleségül vette az osztrák születésű *Marietta Soffert* (?–1978). Három gyermekük született az idők folyamán: *Vilhelm*, *Tomas* és *Margrethe*.

A Columbia Egyetemen nemcsak ő próbálkozott a probléma megoldásával. Egy hónappal hamarabb, mint ahogy benyújtotta dolgozatát, egy másik publikáció jelent meg. A szerző *James Rainwater* (1917–1986), nála öt évvel idősebb fizikus volt, aki csakhamar az egyetem professzora lett. Egymástól függetlenül dolgoztak, Aage Bohr megoldása volt az általánosabb. Amikor hazatért Koppenhágába, itt egy igazi „lelki társra” lelt a nála négy évvel fiatalabb *Ben Mottelson* amerikai fizikusban, aki éppen akkor kezdte itteni magfizikai kutatásait az Elméleti Fizikai Intézetben – egy, az amerikai Harvard Egyetemtől nyert két éves ösztöndíjjal. Ez alatt a két év alatt ketten együtt kidolgozták az atommag „kollektív modelljét”, amely egyesítette Niels Bohr cseppmodelljét *Hans Jensen* (1907–1973) és *Maria Goeppert-Mayer* (1906–1972) héjmodelljével.

5. ábra. Aage Bohr a Nobel-díj átvételekor.



A cseppmodell az atommagot alkotó nukleonok kollektív mozgására, a héjmodell pedig a nukleonok egyedi mozgására ír elő szabályokat. A kollektív modell a két, látszólag egymásnak ellentmondó modell összehangolásával számot tud adni az atommag deformációjáról, vibrációjáról és rotációjáról is. Modelljüket újra és újra összevetették a friss kísérleti adatokkal, ha kellett finomították a modellen, de mindig sikerült megtalálni az összhangot az elmélet és a kísérletek között.

Olyan jól tudtak együtt dolgozni, hogy Ben Mottelson meghosszabbította dániai tartózkodását, majd az 1954-ben megalakult CERN dániai elméleti csoportjába szerzett ösztöndíjat, mígnem kikötött az 1957-ben, Koppenhágában megalakított NORDITA (Nordisk Institut for Teoretisk Atomfysik, az Északi Országok Elméleti Magfizikai Intézete) ösztöndíjával az egyetemen. Aage Bohr egy évvel hamarabb, 1956-ban kapott professzori kinevezést, s közös könyvírásba kezdtek, amelynek első kötete 1969-ben, második kötete 1975-ben jelent meg. 1971-ben Ben Mottelson felvette a dán állampolgárságot.

Aage Bohr, Ben Mottelson és James Rainwater közösen kapták meg az 1975. évi Nobel-díjat „annak a kapcsolatnak a felfedezéséért, amely az atommagot alkotó nukleonok egyéni és kollektív mozgása között valósul meg az atommagban, és annak a magmodellnek a kifejlesztéséért, amely erre a kapcsolatra épül”.

Édesapja halála után Aage Bohr átvette, és 1970-ig irányította az Elméleti Fizikai Intézetet. Akkor lemondott, hogy minél több időt szentelhessen a kutatásnak. A Nobel-díj elnyerése után újra elvállalt egy hasonló állást, akkor a NORDITA vezetője lett és maradt 1981-ig.

Gyermekeinek anyja 1978-ban meghalt, s ő három év múlva, 1981-ben újra megnősült, elvette feleségül *Bente Scharff Meyert*. Második feleségével még 28 évig éltek együtt és nevelték, támogatták a három gyereket. Szerettek színházba, hangversenyre járni. Aage Bohr a klasszikusokat szerette, szívesen zongorázott ő maga is. Heisenberg „nagybácsi” nemcsak a fizikát, de a zenét és még a zongorázást is megkedvelte vele annak idején.

## Nobel-díjas anya és leánya:

### Marie és Irène Curie

*Madame Curie* neve van olyan ismert a világban, mint a fenti fizikusok közül akármelyiké. Még túl is tett rajtuk: ő két alkalommal kapta meg a Nobel-díjat, először fizikából, másodszer kémiaiából. Ma már nem hiányozhat a neve sem a fizika, sem a kémia tankönyvekből. Életéről magyarul is megjelent *Ève* lánya könyve, s a természettudományos ismeretterjesztő irodalomban ma is gyakran találkozunk róla szóló írásokkal. A *Fizikai Szemle* legutóbb 2010. januárban közölte *Martinás Katalin* és *Radnóti Katalin* cikkét *Epizódok Madame Curie életéből* címmel. Lányairól már sokkal kevesebb szó esik, pedig egyikük ugyancsak Nobel-díjas lett. Marie és *Irène Curie*-nek tehát itt a helye, a Nobel-díjas családok között.





6. ábra. Pierre és Marie Curie 1906-ban.

## Marie Skłodowska Curie

Marie (Varsó, Orosz Birodalom, 1867. november 7. – Passy, Franciaország, 1934. július 4.) születésének idején még élénken élt a lengyelek emlékezetében az 1863-ban kirobbant lengyel felkelés, amelyet kíméletlenül leverett Oroszország. A teljes oroszosítást a lengyel nyelv betiltása tetőzte be. Az értelmiség elszegényedése Marie családját is elérte, a matematika-fizika szakos tanár édesapa nem tudta fizetni lányai továbbtanulását, amire amúgy is csak külföldön lett volna lehetőség. Marie ekkor megállapodott két évvel idősebb nővérével, hogy támogatni fogja orvosi tanulmányait a Sorbonne-on, mégpedig úgy, hogy itthon nevelőnői állást vállal jobb módú családoknál és az ezért kapott pénz legnagyobb részét elküldi Párizsba a nővérének. Hat évig nevelőnősködött, mire nővére elvégezte az egyetemet és kihívta magához Párizsba, hogy most ő támogassa Marie továbbtanulását. Marie azzal a szándékkal ment ki, hogy tanári diplomát szerez, majd utána hazatér tanítani. A lengyel nemzeti érzés, amelyet édesapja ültetett el benne, akkor már életének egyik vezérelvévé vált.

1894-ben megszerezte a képesítést fizikából és a következő tanév végén kellett volna vizsgáznia matematikából. Nyáron hazament, megpróbált a Krakkói Egyetemen álláshoz jutni, de nem sikerült. Visszament Párizsba, ahol a nála nyolc évvel idősebb fizikus, *Pierre Curie* várta izgatottan Marie döntését: hajlandó-e hozzájönni feleségül. Pierre Curie-nek akkor már jó neve volt a fizikában: három évvel idősebb *Jacques* bátyjával ők fedezték fel a piezoelektromosságot. Akkoriban éppen a fémek mágneses tulajdonságait kutatta. A ferromágnesség Curie-pontja és a paramágnesség hőmérsékletfüggésének Curie-törvénye máig őrzi nevét e tudományban.

1895 sikeres év volt Pierre Curie számára: megvédte doktori disszertációját, és feleségül vehette a lengyel Marie Skłodowskát. Szűk körű, polgári esküvőt

tartottak, két kerékpár volt a legfontosabb nászajándék, amelyen azután bejárták az egész környéket. Ez lett a nászútjuk.

1896-ban Marie megkapta teljes jogú matematika-fizika szakos tanári diplomáját – az ő vizsgái sikerültek legjobban a csoportban. Úgy gondolta, ő is megcélozhatná a doktori címet fizikából. Valami aktuális, modern témát keresett. Kapóra jött *Henri Becquerel* (1852–1908) felfedezése az uránsugárzásról, amely akkor még meglehetősen háttérbe szorult *Conrad Röntgen* (1845–1923) felfedezése mellett. Marie-t az fogta meg, hogy ez a „Becquerel-sugárzás” az urán bármely vegyületében csak az urán mennyiségétől függ, tehát nem kémiai, hanem fizikai tulajdonsága az anyagnak, magára az anyag atomjaira lehet jellemző. Amikor pedig kiderült, hogy az urán-szurokércből több sugárzás jön ki, mint magából az uránból, tehát valami új, eddig ismeretlen elem sugárzásáról is szó lehet, Pierre felhagyott saját kutatási témájával, hogy feleségének segíthessen. A romantikus történet közismert, így jutottak el 1898-ban a polónium, majd a rádium felfedezéséhez. A neveket is Marie adta ezeknek az új elemeknek, mint ahogy tőle származik a radioaktivitás kifejezés is. Évekig tartó munkával sikerült több tonna ércből néhány tized gramm radiumkloridot izolálni. Megnőtt érdeklődő látogatóik száma, egyre többször mentek ők is előadni a kutatásaikról. 1900-ban Marie részfoglalkozású tanári állást kapott: az Ecole Normale Supérieureben kellett lányokat tanítania. Közben otthon a gondos anyja és a jó feleség szerepe várta, halaszthatatlannak tűnt a laboratóriumi műhelyben a kutatás. Mindehhez járult most a tanítás. 1897-ben született meg Irène lánya, a „kis királynő”, a család kedvence. Nevelésében a francia nagypapa, Pierre édesapja segített, aki orvos volt és Irène születése óta velük lakott.

7. ábra. Marie Skłodowska Curie, ez a kép szerepel lányá, Ève róla szóló könyvének címlapján.



1903-ban Marie már meg tudta határozni a rádium atomsúlyát, ezt 225-nek találta. (Az atomsúly – mai neve moláris tömeg – pontos értéke rádiumra 226 g/mol.) Megírta a doktori disszertációját és beadta, a tekintélyes bizottság pedig úgy ítélte meg, hogy ilyen jó színvonalú doktori munka még nem volt előttük. Lelkendezve adták meg a doktori fokozatot. A sikeres vizsga öröme otthon kis kerti ünnepséget tartottak. Pierre egyik volt doktorandusza, *Paul Langevin* (1872–1946) kérték fel az ünnepség megszervezésére, aki az előző évben védte meg doktoriját. Ott volt *Jean Perrin* (1870–1942) és az éppen Párizsban tartózkodó Ernest Rutherford is. Az ünnepség végén, már sötétedés után Pierre meglepetéssel szolgált: mindenkit a helyére ültetett, majd előhúzott a zsebéből egy kis fiolát, melyben oldott rádiumsó volt, az üveg falán pedig cinkszulfid réteg, és felmutatta. A fiola, mint egy kis fáklya, világított... Megbambonázva nézték. (Pierre és Marie egyáltalán nem voltak elővigyázatosak. Marie az ágya mellett tartott egy ilyen kis fiolát, hogy ne kelljen éjjel a sötétben botorkálnia...)

Mind a fizikai, mind a kémiai Nobel-bizottságban felmerült, hogy felfedezésükért ők kapják meg az 1903. évi Nobel-díjat. (Később is gondot okozott, hogy egy anyagszerkezeti vonatkozású kutatási eredményért kémiai vagy fizikai Nobel-díjat adjanak valakinek. Emlékezetes, hogy Rutherford például kémiai Nobel-díjat kapott 1908-ban „az elemek bomlásának vizsgálataiért.”) 1903-ban a fizikusok győztek: a fizikai Nobel-díjat ítélték oda Henri Becquerelnek és a Curie-házaspárnak „a spontán radioaktivitás felfedezéséért és e sugárzás tanulmányozásában való érdemeikért”. A sok munka és megromlott fizikai állapotuk Curie-ék számára csak 1905-ben tette lehetővé, hogy átvegyék a díjat Stockholmban. Közben 1904-ben megszületett Ève lányuk, ez se könnyítette meg Marie helyzetét. A sors azonban még kegyetlenebb meglepetést tartogatott: 1906 áprilisában Pierre meghalt egy közúti balesetben.

Ekkor Marie vette át Pierre laboratóriumát és az ezzel járó előadást is a Sorbonne-on. Nem hagyta el magát. Kétéves kislánya mellé nevelőnőt fogadott, kilencéves kislányát pedig kivette az iskolából és egyetemi kollégáival összefogva, magániskolát szervezett összesen tíz, hasonló korú gyerek számára. Ő tanította nekik a fizikát, Perrin a kémiát, Langevin a matematikát. Gondoskodott a gyerekek testi és művészeti neveléséről is, megfelelő tanárok felkérésével. Két évig működött ez a közös magániskola.

1908-ban a Sorbonne professzorává nevezték ki, ő lett az első női professzor Franciaországban. Ebben az évben sikerült tiszta fémrádiumot előállítania. 1910-ben elfogadta a jelölést a Francia Tudományos Akadémia tagságára. Itt is ő lett volna az első nő, de a sajtóban hadjárat indult az „idegen nő” ellen és a választáson 26:28 arányban alulmaradt a minden szempontból megfelelő francia férfiúval szemben. Se neki, se a lányának nem sikerült bekerülnie a Francia Tudományos Akadémia tagjai közé. Némi elégtétel Marie Cu-



8. ábra. Marie Curie az általa berendezett radiológiai mentőautó volánjánál.

rie számára, hogy az első nő, aki Franciaországban akadémikus lett, éppen az ő egyik tanítványa volt: *Marguerite Perey* (1909–1975), akit 1962-ben vettek fel akadémikusnak. A nagy Académie des Sciences, amelyet 1666-ban alapítottak, 1962-ig nem vett fel nőt a tagjai sorába.

1911-ben kémiai Nobel-díjra jelölték. Ami ezután történt, részletesen olvasható a *Fizikai Szemle* már idézett cikkében. Most csak összefoglaljuk a legfontosabb eseményeket.

1911. novemberben Belgiumban megtartották az első Solvay-konferenciát, erre Marie Curie és Paul Langevin is hivatalos volt Franciaországból. Közben otthon betörték a feleségétől akkor már külön élő Langevin lakásába és ellopták a Marie által neki írt leveleket, majd a sajtóban nyilvánosságra hozták ezeket. Langevin még ebben az évben elvált feleségétől, azonban Marie jó hírért az utca embere előtt hosszú ideig nem lehetett helyreállítani. A kémiai Nobel-bizottság képviselőjében *Svante Arrhenius* (1859–1927) írt egy érdeklődő levelet. Langevinnek szerencséje sikerült előtte tisztáznia Marie-t. Nem volt semmi akadálya annak, hogy neki ítéljék az 1911. évi kémiai Nobel-díjat „a rádium és a polónium felfedezéséért, a rádium fémállapotban való előállításáért, természetének és vegyületeinek vizsgálatáért”. Marie összeszedte minden erejét és 1911. december 11-én megtartotta Nobel-előadását Stockholmban. Kijelentette, hogy a díjat úgy tekinti, mintha ismét Pierre-rel együtt kapta volna meg. Utána idegkimerültséggel kórházba került, de még azt is titkolni kellett a sajtó előtt, hogy melyik kórházba vitték. Irène tizennégy éves volt ekkor, Ève pedig hét. Ideiglenesen Perrinék vették magukhoz a gyerekeket.

Marie Curie nimbuszát az első világháború során végzett tevékenysége állította helyre Franciaországban. Húsz radiológiai mentőautót rendezett be a sebesült francia katonák vizsgálatára, megszervezte az ápolónők kiképzését. Lányait a háború kitörésekor Angliába küldte ismerősökhöz, majd Irène-t, amikor 18 éves lett, visszahívta és őt is kiképezte. Párizs német megszállásától felve az egész rádium készletet vonaton Bordeaux-ba vitte és ott egy bank páncrel-szekrényében helyezte el. Utána visszavonatozott Párizsba.

A háború után, a már 1914-ben létrehívott, de csak 1918-tól működő Rádium Intézet javára 1921-ben előadókörútra indult az Egyesült Államokba, amelyre lányait is magával vitte „testörnek”. Hazajövele után Irène-t maga mellé vette a Rádium Intézetben asszisztensnek. Langevin segítségével férjet is talált neki és örült, hogy az ifjú férj is azt a témát kutathatja, amit ő vezetett be a tudományba. Még egyszer vállalkozott amerikai körútra: 1929-ben, amikor ismét nővéreinek akart segíteni, akivel kölcsönösen támogatták egymást a Sorbonne-on való továbbtanulásban. *Bronisława Skłodowska* (1865–1939) a Varsóban 1925-ben közösen alapított Rádium Intézet igazgatója volt, az ő intézete számára szerzett támogatást Marie Skłodowska Curie az Egyesült Államokban.

Élete utolsó éveit kisebbik lányával töltötte, aki haláláig ápolta őt, utána pedig megírta édesanyja egész élettörténetét. A dokumentumregény olyan sikeres lett, hogy számos nyelvre – így magyarra is – lefordították és még film is készült belőle a negyvenes évek elején az Egyesült Államokban. Ma is sok fiatal lány és fizikus hölgy számára minta Madame Curie élete, tudományos elkötelezettsége, családszeretete, eredeti és választott hazája iránt érzett hazaszeretete.

### Irène Joliot-Curie

Irène (Párizs, 1897. szeptember 12. – Párizs, 1956. március 17.), a „kis királynő”, 13 éves koráig erősen nagyapja, *Eugene Curie* (1827–1910) befolyása alatt állt. A doktor úr meggyőződéses szabadgondolkodó volt, aki meglehetősen kritikus szemmel nézte a világot. A maga módján igyekezett segíteni az elnyomottakon: az 1870-es párizsi kommün idején például kórházat hozott létre a sebesült forradalmárok kezelésére. Ateista felfogása sem volt Marie Curie ellenére, akit anyja és egyik testvéreinek korai halála már gyermekkorában kétkedővé tett az igazságos mindenható létezésében. Így hát Irène nemcsak a természet szeretetét sajátította el nagyapjától, hanem a baloldallal rokonszenvező, ateista gondolkodást is.

Szülei hamar felfigyeltek Irène matematikai tehetségére, amelyet azonban úgy látták, hogy a századforduló franciaországi iskolája nem képes eléggé fejleszteni. Ezek az évek egész Európában a matematikaoktatás reformjának jegyében teltek, Magyarországon például *Beke Manó* (1862–1946) volt a reformbizottság feje, *Mikola Sándor* (1871–1945) pedig a titkára, és a reform kiterjedt mind az elemi, mind a középiskolai oktatásra. Madame Curie csak férje halála után lépett a tettek mezejére, ekkor hozta létre – összesen tíz gyerek számára – azt az iskolát, ahol egyetemi oktatók szövetkeztek a gyerekeket megfelelően fejlesztő oktatásra. Két évig működött ez az iskola, Irène volt a tíz gyerek közül a legtehetségesebb. Utána már egy hagyományosabb magániskola következett Irène számára, a Collège Sévigné, s innen egyenes út vezetett 1914-ben a Sorbonne-ra.

A háború kitérését követően Irène Curie Angliában töltött egy évet, majd anyja hívására 18 évesen vissza-



9. ábra. Irène Curie a Rádium Intézet laboratóriumában.

tért Párizsba és beállt hozzá asszisztensnek az egyik radiológiai mentőkocsiba. Marie Curie megtanult autót vezetni, hogy ezzel se kelljen elvonni egy katonát a frontról. Amikor vége lett a háborúnak, Irène továbbra is anyja asszisztense maradt, de most már az általa létrehozott Rádium Intézetben, s közben a Sorbonne-ra járt egyetemre.

1921-ben 17 éves húgával együtt elkísérte anyját egy amerikai előadókörútra, amelynek legfőbb célja az volt, hogy a Rádium Intézet számára sikerüljön adományokat gyűjteniük. Mindenkinek feltűnt a két lány közti különbség. Irène, csakúgy, mint édesanyja, szinte aszkéta módjára élt és viselkedett. Nem szerette a divatos ruhákat, legszívesebben feketében jelent volna meg mindenhol. Ève ellenben nemcsak „rádiomos tekintetével” hódította meg az újságírókat, hanem vonzó alakjával, tűsarkú cipőjével és divatos öltözködésével is. A túra mindenesetre sikeresen végződött számukra. (Talán itt érdemes megemlíteni, hogy Ève Curie, Madame Curie életrajzírója, hosszú, tartalmas életet élt. 50 éves korában ment férjhez, és nemcsak mint zongoraművész, de mint zenekritikus és haditudósító újságíró is beírta magát a franciák és az amerikaiak emlékezetébe. Az UNICEF képviselőjében férjével együtt járta a világot és szerzett híveket a gyerekek támogatására. 100. születésnapján az akkori amerikai és a francia elnök is felköszöntötte. Álmaiban érte a halál New York-i otthonában, 2007-ben, 103 éves korában.)

Miután hazaértek, Irène szorgalmasan folytatta a munkát a Rádium Intézetben. Nemcsak a szellemi, hanem a gyakorlati laboratóriumi munkában is jeleskedett, ügyességét mindenki elismerte, Marie-t egyenesen Pierre ügyességére emlékeztette. Csak a modorra volt karcos, véleményét mindig őszintén megmondta, olykor kissé nyersen is. Édesanyján kívül talán csak Langevin tanár úr tudott vele könnyen szót érteni, aki egykor, a tehetségek iskolájában matematikára tanította. Társaságba nem járt, nem is vágyott, a kutatás öröme kárpótolta mindenért.

Nem meglepő tehát, hogy Paul Langevint választotta doktori témavezetőjének, aki szívesen segített neki a polónium alfa-sugárzásával kapcsolatos kutatásai-  
ban. 1925-re elkészült a disszertáció, és amikor sike-

rült a doktori vizsga is, anya és lánya együtt örülhettek. Paul Langevin ekkor beajánlotta Marie-hez előkészítő preparátornak egyik volt tanítványát, akit *Frédéric Joliot*-nak hívták.

– Nem ért ugyan az ottani műszerekhez, de majd Irène betanítja – győzte meg Paul Marie-t. Úgy is lett. A közös tudományos érdeklődés hamarosan elmosta a korkülönbség miatti tartózkodást (Frédéric három évvel fiatalabb volt Irène-nél, igaz, Paul meg öt évvel volt fiatalabb Marie-nél) és a betanítás közbeni veszedelmeket ebéd közbeni beszélgetések, majd ebéd utáni közös séták váltották fel. 1926-ban Irène Curie és Frédéric Joliot összeházasodtak.

1927-ben megszületett *Hélène* kislányuk, és 1930-ban Frédéric is megszerezte a doktori címet, ugyancsak a polóniummal kapcsolatos, de elektrokémiai tárgyú disszertációval. 1932-ben megszületett *Pierre* fiúk, aki biofizikusként, a fotoszintézisre vonatkozó kutatásaival tette le később névjegyét a tudomány szatárára. Hélène sikeres magfizikus lett.

1933-ban Irène és Frédéric közösen kezdték vizsgálni a polóniumból kilépő alfa-sugárzás hatását különböző kémiai anyagokra. Az egyik legérdekesebb eredményük az volt, hogy ha alumíniumot sugároztak be, akkor az alumíniumból radioaktív foszfor keletkezett. Hasonlóképpen a besugárzott magnéziumból radioaktív szilícium, a besugárzott borból radioaktív nitrogén képződött. Nem akarták elszalasztani a nagy lehetőséget – az úgynevezett Bothe-kísérlettel kapcsolatos vizsgálataik során már egyszer elmentek a neutron felfedezése mellett, ami azután *Chadwick*nek sikerült – ezért 1934. januárban bejelentették a Francia Tudományos Akadémián, hogy felfedezték a mesterséges radioaktivitást. A bejelentés nagy visszhangot váltott ki. Az orvosi, régészeti stb. gyakorlat szempontjából ugyanis nagyon nagy jelentőségű volt, hogy mesterséges radioaktív izotópokat tudtak előállítani. Eljárásukat nem szabadalmaztatták, ahogyan az már megszokott volt a Curie-családban. Az édesanya határozott álláspontját a tudomány eredményeinek szabad felhasználásáról lánya is magáévá tette. Marie Curie megnyugodva hunyhatta le szemét 1934. júliusában.

10. ábra. Irène és Frédéric Joliot-Curie.



1935-ben a kémiai Nobel-díjat a Joliot-Curie házaspárnak ítélték az általuk felfedezett „új, mesterséges radioaktív izotópok kémiaja területén végzett munkájukért”. Langevin javaslatára ettől kezdve közös néven publikáltak, s így szerepeltek a napilapokban is: Irène Joliot-Curie és Frédéric Joliot-Curie.

1937-ben Frédéric kilépett a Rádium Intézetből és önálló magkémiai laboratóriumot alapított, ahol megépíthette Franciaország első ciklotronját.

1940. márciusban Frédéric Joliot-Curie-nek sikerült több, mint száz liter nehésvizet hozatnia Norvégiából, de a német invázió közeledtével ezt is ki kellett menteni Párizsból. Először Bordeaux-ba vitték, akárcsak Marie Curie a rádiumot az első világháborúban, majd két kollegája a legfontosabb műszerekkel és a legutolsó kísérleti eredményekkel együtt átjuttatta Angliába. Az uránkészleteket titokban Marokkóba szállították, ahol egy bezárt bányában őrizték a háború végéig.

A második világháború alatt Frédéric Joliot-Curie Párizsban maradt. Irène Curie-t tuberkulózisfertőzéssel kezelték Svájcban, miközben férje – 1942-től Paul Langevinnel együtt a francia kommunista párt tagja – a háború vége felé már illegalitásban működött Párizsban. A háború után, az akkor elérhető antibiotikumok hatására Irène Curie egészségi állapota sokat javult és újra be tudott kapcsolódni a kutatásba és a mozgalmi életbe. Férje a Szovjetunió által szponzorált Béke Világtanács elnöke lett, mindketten többször jártak a Szovjetunióban. A hidegháború idején ezért már nem jutott hely számukra a francia atomkutatásban. A Sztálin halálát követő viszonylagos enyhülés idején 1955-ben még bevonták az Orsay-i nagy francia részecskegyorsító tervezésébe, de legendás munkabírást is legyőzte lassan a halálos kór. Leukémiában halt meg, mint édesanyja. Marie Curie 67 évet élt, Irène Curie már csak 59-et.

Kettejük élettörténeke van még egy csattanója. Irène lánya – Marie unokája – szintén magfizikus lett, mint ahogy magfizikus lett Paul Langevin egyik unokája is. Majdnem egyidősek voltak: Hélène 1927-ben született, *Michel* 1926-ban. Megismerkedtek, egymásba szerettek, összeházasodtak. Michel Langevin 1985-ben meghalt, Hélène Langevin-Joliot ma is él. Közös gyermekük, *Yves*, asztrofizikus. Ha ellátogat Párizsban a Pantheonba, ma már három földi csillag sírjára tehet le virágot, akik neki mind dédszülei voltak: Marie Skłodowska, Pierre Curie és Paul Langevin.



Végigtekintve a férfiak életútjain, érdekes megfigyelni, hogy az apák általában egyedül nyerték el a Nobel-díjat, míg a fiúk mindig megosztottak a díjon más valakkal. Mielőtt bármilyen könnyelmű következtést vonnánk le ebből, vegyük észre, hogy az apák szükségképpen hamarabb lesznek (lettek) Nobel-díjasok, mint a fiúk. Minden bizonnyal a tudományos kutatók számának növekedése az oka annak, hogy ma már egyre többször adnak ki megosztott Nobel-díjat. *Nobel* végakarata szerint a díjat legfeljebb három tudós viheti el egy évben egy-egy kategóriában. Ma már nagyon ritka, ha valamelyik évben egyedül kapja

meg valaki a díjat fizikából. *Gábor Dénes* 1971-es Nobel-díja óta csak 1982-ben (*K. G. Wilson*), 1985-ben (*Klaus von Klitzing*), 1991-ben (*Pierre-Gilles de Gennes*) és 1992-ben (*Georges Charpak*) nyertek egyéni Nobel-díjat. A legutóbbi 40 év alatt 35 esetben egynél többen kapták meg a fizikai Nobel-díjat! Az első 40 évben ez a szám 9 volt.

Feltűnő még, hogy ez a nyolc Nobel-díjas férfi milyen hosszú életet élt. Niels Bohr is, aki leghamarabb ment el közülük, 77 éves korában halt meg. A fiúk közül mindenki megérte a 80. születésnapját. Ha genetikai okokkal szeretnénk magyarázni a hosszú élet titkát, nem kerülheti el figyelmünket az a tény, hogy itt nemcsak az apák, de sokszor az anyák is hosszú életűek voltak. *George Thomson* édesanyja (J. J. Thomson neje) 91 évet, Aage Bohr édesanyja (Niels Bohr neje) 94 évet élt. A másik két anya életkorát sajnos nem sikerült kideríteni.

Marie és Irène Curie nem éltek hosszú életet, de ez egyértelműen a kutatómunkájuk során elszenvedett sugárterhelésnek tudható be. Nagyon valószínű, hogy ha Pierre nem halt volna meg a balesetben, akkor sem élhetett volna sokáig. Marie édesapja viszont legalább 70 évet élt, orvosnő testvére 74 éves volt, amikor meghalt. Pierre édesapja 83 évet élt, testvére, Jacques pedig 85-öt. A „csúcstartó” Marie és Pierre fiatalabb lánya, Ève, aki, mint említettük, 103 évet élt. Vagyis a hosszú élet ígérete mindegyikükben megvolt.

Az emberi tulajdonságok genetikai meghatározottságának vizsgálata napjainkban is egyik fontos területe a biofizikai kutatásoknak. 2010. júniusban jelent meg

a *Science*-ben egy cikk arról, hogy egy bostoni kutatócsoport mintegy 150 olyan markert, „irányjelzőt” talált a 23 emberi kromoszómáron, amelyekből 77%-os biztonsággal tudtak következtetni a hosszú életre. Természetesen a genetikai örökség csak a lehetőség, amelynek teljesülése az ember élete során rengeteg „véletlen” eseménytől, környezeti tényezőtől függ. Igaz ez minden genetikai kódra, arra is, amelyik például a matematikai tehetséget hordozza.

Magyarországon a legjobb iskolák tanárai, és a szülők, akik olyan szerencsések, hogy gyermekeik ilyen iskolába járhatnak, már felismerték ezt. Igyekeznek úgy alakítani a környezeti tényezőket, hogy a tehetséget hordozó genetikai kód érvényesülhessen. Az egyetemet végzett szülők azt szeretnék, hogy az ő gyermekeik is egyetemet végezzenek. A tehetséges gyerekek számára az ilyen szülői háttér ideális környezet. Egy demokratikus társadalomban azonban azoknak a tehetséges gyerekeknek is biztosítani kell a fejlődés lehetőségét, akiket a szülői ház nem biztat a tanulásra.

Nálunk még mindig elég jó a helyzet. A *Középfiskolai Matematikai és Fizikai Lapok* pontversenyei, az országos tanulmányi versenyek, az Eötvös-verseny, a diákolimpiák alkalmas terepnek látszanak a tehetségek kibontakozásához. Ma már arra is van példa, hogy az Eötvös-versenyen és a diákolimpián is első díjat nyert versenyző az Angliában tanuló fizikus egyetemi hallgatók versenyét is megnyerte. Csak remélni lehet, hogy hallani fogunk még róla. Meg talán majd a fiáról, vagy a lányáról is. Ha megérjük.

## VÉLEMÉNYEK

# SZÍNE ÉS FONÁKJA

Makai Mihály  
BME, Nukleáris Technikai Intézet

Az oktatással szembeni egyik fő követelmény: olyan szemléletű és ismeretekkel felvértezett végzősök kibocsátása, akik képesek versenyezni a többi ország végzőseivel. A követelmények tehát implicit módon adóttak és viszonylagosak. Az emberiség jelenleg egy nyugodt korszakát éli, sok tudást halmoztunk már fel, annak nagy részét még nem is tudjuk felhasználni. Ez az állapot kényelmessé tesz. Szerencsére a versenyhelyzet figyelmeztet bennünket a kényelmesség veszélyeire.

A tanulás kemény munka, sokan nem is vállalják önszántukból, de a körülmények mindenkit rákényszerítenek a tanulásra. Létrehoztunk egy mesterséges világot, amely gyorsan összeomlik, ha nem tudjuk fenntartani. Átalakítottuk környezetünket, többé már nem lehet visszatérni a természetes életmódhoz. Átalakult például az építkezés, a társadalmi munkamegosztás, a változások ráadásul egyre gyorsulnak. Jelen írás számba vesz

néhány jelenséget, amelyek a tanulás-oktatás kérdésköréhez kapcsolódnak. Célja felhívni az Olvasó figyelmét néhány jelenségre azzal a triviális céllal, hogy a tanárok és a diákok tegyék meg azt, amit tudnak annak érdekében, hogy a negatív jelenségek visszaszoruljanak, a pozitív jelenségek pedig megerősödjenek.

Kezdjük a tanulás-tanítás (röviden: oktatás) néhány általános vonásával. Az oktatás egy kiterjedt társadalmi tevékenység, a szülő tanítja gyermekét (és fordítva), a tapasztalt kolléga munkatársát (és fordítva), tanfolyamokra járunk, ahol speciális ismereteket (pl. egy új technika használatát, egy nyelvet, targonca- vagy autóvezetést) tanulunk. Mindenki tanul és tanít. Még aki pihen vagy szórakozik, az is tanul. Sokan ebből élnek (a szerző sem kivétel). A tanulás nem mindig önkéntes. A szórakozást gyakran összekapcsolják olyan ismeretekkel, amelyekre a „tanuló” nem kíváncsi. Ilyen tanu-

lást nyújt a reklám, általában a rádió és a tv műsorainak egy része. A fiatalok ezek elől menekülnek, amikor olyan adókat hallgatnak, ahol sok a zene, de persze ott sem menekülnek meg az agy mosástól.

Az oktatás fontosságát jól példázza néhány ország sikere. Például a szervezett oktatás, a tehetségek gondozása, segítése a Magyarországnál rosszabb természeti adottságú Finnország gazdaságának megerősödését hozta. További példákat lehet felhozni ázsiai országokból (pl. Korea). Mi ezzel szemben a helyzet Magyarországon? Gyenge minőségű tankönyvek, elsorvadozó realismeretek, érdektelen, fegyelmetlen diákok jellemzik a közoktatást. A tanár örül, ha a szülő (vagy a diák) nem veri meg. A tanárok megbecsülése mélypontra került. Az iskola által nyújtott ismeretek és a gazdaság igényei elszakadtak, nem utolsó sorban azért, mert az iskola nem képes modern ismeretek megszerzéséhez szükséges eszközöket biztosítani. Sebaj, gondolhatnánk, ha az iskola nem, talán a média pótolja a hiányokat. Azonban a média az ismeretek gyarapítása helyett – érthető módon – a szórakoztatást részesíti előnyben, esetenként alantas ösztönöket szolgál ki. A tv, a rádió egyes műsoraiból avított szemlélet árad: levitézlett filozófiák, rég használhatatlannak ítélt, versenyképességet nem biztosító dogmákat terjesztenek. Eközben megelőznek bennünket kedvezőtlenebb adottságú országok (pl. a korábban említett Finnország), mert megértették: csak a magas szintű oktatás, a használható tudás segítségével juthat előre a közösség. Szűkítsük le a témát, vizsgáljuk kizárólag az ismeretterjesztés és a könyvkiadás néhány jellemzőjét!

## A tudatlanság határai

Egy ország műveltségét több módon lehet jellemezni, például a tudás általános szintjével, egy-egy terület kiemelkedő művelőinek tudásával, az analfabéták számával. Az ismeretek egy része (többnyire az absztrakt tudás) tudományos műhelyekből származik. Vizsgáljuk meg egy példán keresztül, hogyan adják át tudásukat az élvonalbeli tudósok.

A CERN-ben megépült az LHC nagyberendezés (Large Hadron Collider = Nagy Hadronütköztető). A berendezés célja annak vizsgálata, hogyan viselkedik az anyag olyan körülmények között, amely az Univerzum korai időszakában állhatott fenn. Egy drága berendezés megépítése komoly előkészülettel indul: szabatosan meg kell fogalmazni, mi a tanulmányozandó jelenség, milyen eszközökre van szükség, milyen jelenségek várhatóak (egy bonyolult berendezésben gyakran elromlik valami, az ilyen meghibásodásokat is kezelni kell tudni). Egy CERN-ben írt tanulmányban,<sup>1</sup> ahol a szerzők azt a kérdést vizsgálták, hogy az LHC-ben a nagy energiasűrűség miatt kialakulhat-e

egy „fekete lyuk”, az pedig minden anyagot elnyel, így aztán a kísérlet egyik mellékhatása az lehet, hogy megsemmisül először az LHC, azután a környezete, majd végül az egész világ egyetlen fekete lyuk lesz. Az Ítéletnap-forgatókönyv vizsgálatát *Frank Wilczek Scientific American*-ban megjelent<sup>2</sup> tanulmánya ösztönözte, ami viszont *W. L. Wagner* írására reflektált, ebben vetődött fel az Ítéletnap-forgatókönyv. Wagner felvetése meghökkentő: elnéztek valamit a tervezéskor? Elfojtották néhány kritikus véleményét? A tanulmány ugyan kimutatja, nem kell félni az Ítéletnap-forgatókönyvtől, de a kétely a jelentés olvasójában már gyökeret vert: Lehet hogy valami hiba van a kísérlet előkészítésében? A választ végül részecskefizikus kollégák adták meg. Wagner felvetése egy hipotézisre épül, a hipotézis erősen vitatott, mindmáig bizonyíthatatlan. Mint kiderült, az LHC-ben végbemenő ütközések a körülbelül 10 milliárd éves Univerzumban gyakoriak, és lám, a Világegyetem ma is áll. Az Ítéletnap-forgatókönyv tehát lényegtelen.

Lehet-e csodálkozni, ha egy bulvár lap felkapja a fentihez hasonló írásokat, és világgá kürtöli: Az LHC eltünteti a Földet! Hol húzódik hát a határ a kutatói szabadság (ebben az esetben egy hipotézis következményeinek elemzése) és a tájékoztatás felelőssége között? Szakismeret vagy demokrácia?

A fenti eset nem egyedül. *J. R. Minkel* kijelentette:<sup>3</sup> A világ egy hologram! A Nobel-díjas *Robert Penrose* szerint a világ egy számítógép. E bombasztikus kijelentések nem minden alap nélküliek, de valójában csak egy analógiára akarják felhívni a figyelmet. Az említett analógiákat a tudomány eladhatósága teszi szükségessé. De miért nehéz eladni a tudományt? Ugyanakkor miért könnyű eladni az áltudományt? A válasz nem bonyolult.<sup>4</sup> A tudomány szikár tényeket kínál, ráadásul a tények gyakran igen kényelmetlenek. Az áltudomány viszont reményt ad. Ki ne részesítené előnyben a csalóka reményt még egy reménytelen helyzetben is?

Ugyanakkor figyeljünk fel arra, hogyan hoz döntést egy bank, egy biztosító, ahol nagy veszteséggel jár minden hibás döntés. Kizárólag racionális elemzések, jól kipróbált módszerek jönnek szóba. Vessük ezt össze például a médiával (ne feledjük, fő céljuk a szórakoztatás, a reklámoknak minél nagyobb hallgatottság biztosítása, nem pedig egy nehéz döntés meghozatala)! Jósok, jóvendőmondók, táltosok, távgyógyítók szórakoztatják az erre vágyó nagyközönséget, a nézők ezeket a műsorokat szabad akaratukból választják. Ugyanakkor nem szeretnénk, ha döntéseinkben a fenti módszerek vennék át a vezető szerepet. Különösen nem szeretnénk, ha az adóból működtetett állami intézmények döntéseit alapoznák meg e módszerekkel. Ez nyilvánvalóan ellensúlyozást követel.

<sup>1</sup> CERN: A Nukleáris Kutatások Európai Tanácsa francia elnevezésének rövidítése. A szóban forgó jelentés: A. Dar, A. De Rújula, Ulrich Heinz: *Will relativistic heavy-ion colliders destroy our planet?* CERN-TH/99-324

<sup>2</sup> F. Wilczek: Reply to „Black Holes at Brookhaven” by W. L. Wagner. *Scientific American* 281 (July 1999) 5.

<sup>3</sup> *New Scientist* 2340 (2002) 23.

<sup>4</sup> Az Olvasó további részleteket talál Makai M.: *Merre vagy szellem napvilága?* Typotex, 2004, 5. fejezetében.

Ugyan mi másra hárulna ez a hálátlan és meg nem fizetett munka, mint az oktatásra? Többek között a tanárok kötelessége, hogy alkalomadtán felhívják a diákok figyelmét arra, hogy a média által propagált szellemiség alkalmazása a hétköznapiakban komoly hátrányokkal járhat.

Korábban a média szereplői művelt emberek voltak. Ma a médiaszemélyiségek egy része azzal kérkedik, mennyi mindenhez nem ért. Gondoljon az Olvasó a valóságshow (*Való Világ*) alkalmilag felkapott hőseire.<sup>5</sup> A műsorok készítői, szereplői, szerkesztői nem veszik észre, hogy az őket, illetve műsoraikat hallgató fiatalok elé akaratlanul is sokak által nemkívánatosnak tartott példát állítanak, amit ismét a szerencsétlen, megbecsülést nélkülöző tanároknak kell helyrehozniuk.

Érdemes megjegyezni, hogy általános jelenség saját előnyök biztosítása során másoknak kárt okozni. Ez a gazdasági életben is gyakori magatartás mára már teljesen elfogadottá vált. Figyelemre méltó, hogy a közgazdaságtan ugyan régen felismerte, nem érdemes olyan tevékenységet folytatni, amelynek pénzügyi mérlege negatív. Azonban a mérlegben csak a saját tevékenységre gyakorolt hatások szerepelnek, a gazdaság többi szereplőjének okozott kár (ezt tapintatosan externáliának nevezik) nem. Ugyanakkor az iskolától elvárják, hogy a közösség számára nélkülözhetetlen erényeket (a közösség érdekeinek figyelembe vétele, az önfeláldozás stb.) elfogadjassák az ifjúsággal.

Érdemes figyelmet fordítani a tudás technikai oldalára is. Két generáció alatt megváltozott a világ. Korábban egy faluban a „tudás” forrása a pap és a tanító volt. Ma az internet és a könyvtár segítségével egy gyermek is könnyen nagy mennyiségű információhoz juthat. Az internet azonban demokratikus elvekre épülő eszköz, oda bárki bármit ellenőrzés nélkül feltehet. Az internet-felhasználó téves ismeretekre tehet szert, amennyiben az internet nem ellenőrzött részéről származó információkat használ. Ha ezt az Olvasó összeveti az egyéni érdekek túlhangsúlyozásával, máris világos, jó üzlet az internetet csalásra, mások becsapására, vagy egyszerűen csak a saját, nem létező tudásunk magasztalására fordítani. Ezért célszerű az internetről származó információ alapos, több oldali ellenőrzése. Ne tévessze meg a felhasználót egy-egy honlap hangzatos neve<sup>6</sup> (pl. SZINTÉZIS Szabadegyetem). Itt említem meg, hogy a tudomány vezető intézményeinek (MTA,<sup>7</sup> egyetemek, MTESZ,<sup>8</sup> ELFT<sup>9</sup> stb.) honlapjaira felkerülő információt is célszerű lenne kizárólag szakmai szempontok alapján szerkeszteni, és az információ mellett feltüntetni a szerkesztők nevét.

<sup>5</sup> Megjegyzem, a nézők (hallgatók) döntő többsége saját akaratából választja ezeket a műsorokat is.

<sup>6</sup> Például az ELTE portálján megjelent egy, a gazdaság jövőjét tárgyaló tanulmány, amit pár újság is ellenőrzés nélkül felkapott. Ezután az ELTE felkérte a szerzőket, ne használják magánvéleményük közlésére az egyetem honlapját. A dolog pikantériája, hogy az egyik szerző mind a mai napig úgy gondolja, közgazdasági tárgyú írásában a Csillagászati Tanszék(!) közös véleménye tükröződik.

<sup>7</sup> Magyar Tudományos Akadémia

<sup>8</sup> Műszaki és Természettudományi Társaságok Szövetsége

<sup>9</sup> Eötvös Loránd Fizikai Társulat

## Hogyan terjed a sötétség?

Az absztrakt tudás egy bonyolult közvetítő hálózat segítségével jut el a nagyközönséghez. E hálózat része egy sor oktatási intézmény, a könyvkiadás, a kutatók közötti kommunikáció különféle formái (szemináriumok, konferenciák, kongresszusok), a folyóiratok serege, a szakkönyvkiadás, a tankönyvek és jegyzetek megjelentetése.

Láttuk, a kutatók közötti vitákban gyakran elhangzik érdekes, de vitatható nézet is. Amennyiben ezt kritika nélkül kapja fel egy ismeretterjesztő fórum, kellemetlen helyzetben találja magát. Hozzáteszem, ebben nem az ismeretterjesztés hibás. A kutatók gyakran lépnek félkész, ellenőrizetlen eredményekkel a nyilvánosság elé. Az ok: a kutató óhatatlanul túlbecsüli saját eredményeit. Erre jó példa a hidegfúzió esete. Nem hallgatható el az sem, hogy egyes szerkesztők szívesebben közölnek egy ingatag alapon álló, szakmaiságot nélkülöző, mint egy alapos, de kevésbé meglepő következtetésre jutó elemzést. Ez viszont már a szerkesztő felelőssége.

A helyzet a könyvkiadásnál sem jobb. A kiadót többnyire a vélt anyagi haszon vezérli, egyes kiadók ennek vetnek alá minden egyebet. Itt is igaz azonban, hogy a téves vagy tudománytalan nézetek az olvasóknak okoznak kárt, miközben a kiadónak hasznot hoznak. Erre később mutatok egy kiváló példát.

A kiadók esetében a kiadványok színvonalát erősen meghatározza a kiadó politikája. Ahol gondos szerkesztés előzi meg egy kiadvány nyomtatását – a kéziratban megbúvó elírások, hibák kiszűrésével is törődnek –, ott színvonalas, megbízható munkák jelennek meg. A kalózkiadványok, a sebtében, lehetőleg olcsón elkészített könyvek feltehetően több kárt okoznak, mint amennyi hasznot hoznak. Ezért azt tudom javasolni az Olvasónak, hogy részesítse előnyben a neves kiadók munkáit, vásárlás előtt kritikus szemmel olvasson bele a könyvbe, ha helyesírási hibát, elírást, pontatlanságot talál, feltehetően csalódnia fog a kiadványban.

Elérkeztünk egy kényes ponthoz. Arról van szó, nem könnyű megmondani, melyik nézet haladó, melyik nézet túlhaladott. Ráadásul időről-időre kiadnak régi könyveket is, bennük esetenként túlhaladott nézetekkel. Természetesen szeretnénk, ha minden hozzáférhető lenne, és magunk dönthetnénk el egy kiadvány értékét. Helytelen, ha a *Nők Lapja* horoszkópot közöl? Elvárható egy szerkesztőtől, hogy eligazodjon a botrányokkal terhes tudományos publikációk között? Ráadásul a természettudományok még többé-kevésbé objektívek, de mi van a közgazdaságtan, a szociológia vagy a politológia területén? A vélemények sokszínűségének teret kell adni megfelelő helyen (pl. a szórakoztató hírek, vagy a vélemény rovatban). Hiba azonban, ha egy újság szubjektív szempontok alapján úgy állít be egy bombasztikus hírt (pl. az LHC veszélyeiről), hogy előtte nem tájékozik körültekintően. Kiemelten nagy a tudományos fórumok felelőssége. A bíróságok egyes országokban kiemelt fontosságú tu-

lajdonítanak a tudományosan elfogadott eljárásoknak, módszereknek. De mit jelent a tudományosan elfogadott? A tudományos eredmények konferencia-előadásokban, szakcikkekben, monográfiákban kerülnek napvilágra. A szakcikkek elfogadását lektorálás előzi meg. Egy idén júniusban Floridában megtartott konferencia azt elemezte, miért olyan megbízhatatlan a tudományos cikkek referálásának folyamata. Ennek kapcsán megkérdezhettük: ha a referálás nem működik, akkor mitől tudomány a tudomány, hiszen a megjelenő cikkeket lényegében véletlenszerűen válogatják ki. Sajnos a kérdésre még nincs válasz. Az egyéni eljárások, ismeretek „kiaknázásának” módszereit előszeretettel alkalmazzák az ügyvédek is. Egy amerikai ügyvéd ismerős szerint nem gond egy adott következtetésre jutó szakértői vélemény elkészítése, csak tudni kell, kihez kell fordulni.

Ebben az ellentmondásokról terhes környezetben kell tehát a tanároknak segíteniük a diákokat abban, hogy zsebpénzükből milyen könyveket vegyenek meg, vagy melyik könyvet kölcsönözzék ki a könyvtárból. A diákoknak versenyezniük kell az Európai Unió többi országa diákjaival. Jó volna elérni, hogy az avított, réges-rég használhatatlannak ítélt nézeteket inkább a versenytársaknak ajánlják az „illetékesek” (kiadók, lektorok, szerkesztőségek stb.), az itthoni esélyeket növelve.

Hogyan szerezzük be a szükséges információt (pl. kíváncsiak vagyunk a C-vitamin képletére), amikor szükségünk van egy tényre? Az esetek többségében ezt az eljárást követjük: megkérdezzük valakit a környezetünkben aki feltehetően tudja a választ, mondjuk megkérdezzük az iskolában egy szaktanárt. A kapott válasz lehet, hogy helyes, de lehet hibás is. Ha nincs válasz, régebben valamilyen megbízhatónak tartott könyvhöz (pl. lexikon) fordultunk. A lexikonban található adatokat gondosan ellenőrizzük, kicsi a valószínűsége annak, hogy a válasz hibás lesz. Ha ott sem találjuk a választ, tovább keresünk. Ma már kézenfekvő a keresést az interneten kezdeni. De mit tudunk az internet adatainak megbízhatóságáról? Az ellenőrzött, megbízható adatok sok munkát kívánnak, ezt nem mindenki tudja biztosítani, ezért az interneten található adatok megbízhatósága attól függ, melyik weboldaltól töltjük le a kívánt adatot.

A minőségbiztosítás kiemelt szerepet kap a keresésben. Az internetes oldalak semmilyen támpontot nem adnak arról, milyen eljárással ellenőrizték az általuk közölt adatokat. Egy blogban semmilyen ellenőrzés nincs, egy moderált fórumon általában csak felület, nem tartalmi ellenőrzést (szűrést) végeznek. Ez természetesen a megtévesztés melegágya. Működnek tudományosnak tűnő portálok, ahová ellenőrzetlenül bárki bármit feltehet. A szabadság nem tűri, hogy akár az MTA és intézetei, akár az egyetemek honlapjain bármilyen ellenőrzést bevezessenek, a szerzők azonnal cenzúrát emlegetnek.

A könyvekkel sem más a helyzet. Korábban a könyvkiadás alapja egy jól kidolgozott szerkesztőségi gyakorlat volt. Olyan szerzők műveit adták ki, akikről

feltételezték, hogy értékes munka kerül ki a kezük alól. A kéziratot gondosan ellenőrizték, a helyesírás, a szerkesztés, a stílus a kiadóra jellemző volt, még gyakran a szedő is jelezte, ha elírást talált valahol. Ma más a helyzet. Léteznek ugyan a régi elven működő kiadók, de a kiadványok egy része színvonalatlan, gyakran még neves kiadók esetében is.

Az egyéni információforrás (kommuniké, nyilatkozat, közlemény stb.) gyakran alapja a médiában található információnak. Ez a politikai hírektől a tudományos ismeretterjesztésig mindenütt igaz. Ha egy intézménynek nincs autentikus forrása, az általa továbbadott vagy feldolgozott információ ingtag alapon áll. Így fordulhat elő, hogy szándékosan vagy akaratlanul (és a kettő között nem tudunk különbséget tenni) ellenőrzetlen információval van tele az „információs tér”, az olvasó pedig csak kapkodja a fejét a hírek, álhírek özönében. Ez a helyzet persze azoknak kedvez, akik becsületes eszközökkel gyorsan lelepleződnének. Ebben a helyzetben nagy a hírszerkesztők felelőssége, hiszen mindenki talál olyan „szakértőt”, aki a szerkesztő által preferált nézetet támasztja alá.

## A könyv varázsa

Az előző pontban számbavettük a könyvkiadás szereplőinek (kiadó, szerkesztő, lektor, szerző) szerepét. Ne feledkezzünk el azonban a sor végén álló olvasóról sem. Ő veszi meg a könyvet, többnyire a könyv hiányos ismerete alapján. Vegyük most sorra, kinek mi az érdeke. A kiadó érdeke általában a profit, azaz minél nagyobb példányszámban eladni egy könyvet. A lektor érdeke, hogy a könyvkritikusok (ők befolyásolják a leendő olvasókat) ne találjanak a könyvben kivetnivalót. A szerkesztő érdeke, hogy a könyv könnyen olvasható legyen, jól nézzen ki, tükrözze a kiadó arculatát (formában, szellemiségben, igényességben). Minthogy a fenti láncban az olvasó a kulcs, az olvasó meggyőzése kulcsfontosságú. Az olvasó meggyőzésére szolgálnak a reklámok és a bújtatott hirdetések. Ezek is valójában reklámok, de mivel a reklám ma már egy szégyenletes dolog, ezért valami másként, például kulturális hírként igyekeznek feltüntetni, amiben az a trükk, hogy a kultúra egy szegény, istápolásra szoruló terület, a hirdető jószolgálatként tudja eladni a burkolt reklámot.

Itt tehát az érdekek harcát látjuk. A sor végén álló olvasónak kell eldöntenie, igaz-e a kiadványról szóló információ, vagy csak üres frázis. De hogyan tudja eldönteni mondjuk egy gombák iránt érdeklődő olvasó, hogy a megjelent gombákról szóló könyvet szakember írta, a szerkesztő és a lektor kiszűrte a gombákat bemutató rajzok közül azokat, amelyeket véletlenül felcseréltek, a gombák színe közel van a valósághoz, annak alapján tényleg meg lehet különböztetni a mérges és ehető gombákat? Ha pedig vannak olyan gombák, amelyek mérges voltáról a gombászok véleménye megoszlik, akkor ezt is helyesen írja le a szerző?



Igaz vagy hamis? Ez tehát a kérdés, amit valójában a könyv kiadója, a közvetítőhálózat (hirdetések, ismeretterjesztők, tanárok stb.) már eldöntött azzal, ahogyan véleményét közreadja. Ebben a küzdelemben nagyobb szerepet kellene kapnia az iskoláknak és a pedagógusoknak, amit egyúttal meg is lehetne fizetni. Itt most nem térünk ki a reklám módszereire, a kritikátlan tömjénezésre, vagy egyéb vadhajtásokra. Megjegyezzük azonban, hogy különösen kívánatosnak tűnik az egészségügy területén kiadott művek kritikai ismeretterjesztése, amibe természetesen az orvosokat kellene (ismét kellő fizetség fejében) bevonni. Ez a terület kiválóan alkalmas arra, hogy bemutassuk a néhány varázsszóra épülő reklámok fogásait. Először is jól ismert kulcsszavakat kell használni, mint például: információ, méregtelenítés, természetes alapanyag. De mi a méreg? Mi az információ? E fogalmakat az említett kiadványokban többnyire homály fedi. Kivételesen vegyünk egy konkrét esetet. A szóban forgó könyv részletes kritikája elérhető a <http://www.elft.hu/konyvsarok/kritika/weboldal>on.

*Tom Stonier: Információ és az Univerzum belső szerkezete* című könyvét a jó nevű Springer Hungarica kiadó adta ki 1993-ban. Úgy tűnik, a fizika talányos fogalmai továbbra sem hagyják nyugodni a nagy gondolkodókat. A kozmológia, a kvantummechanika olyan szokatlan fogalmai, mint a fekete lyuk, a határozatlansági elv, már megszokott témája filozófusoknak, ortopédorvosoknak, nyelvészeknek és biológusoknak. Az utóbbi években az említett témákhoz társult a statisztikus fizika néhány egzotikus témája, mint az irreverzibilitás, az entrópia és az információ. Ez utóbbi az intelligens tervezéshez fűződő kapcsolata miatt is népszerű téma.

A könyv szerzője a futurologia professzora, képzettségét tekintve biológus és informatikus. Irigylésre méltó lelkesedés és elszántság kell ahhoz, hogy egy szerző körülbelül 160 oldalt írjon egy számára teljesen idegen témáról. Mielőtt a könyvről beszélnék, pár szót kell szólni a témáról.

A könyv alapvetően az információról szól. A szerző adós marad az információ definíciójával, hacsak nem tekinti az alábbi mondatot annak: „Az információ minden fizikai törvényt kifejező egyenletnek implicit alkotórésze” (36. oldal). A könyv végén, mintegy összegzésképpen ezt olvashatjuk a 111. oldalon:

„A Világegyetem szerkezete legalább három összetevőt tartalmaz: anyagot, energiát és információt; az információ éppen úgy elválaszthatatlanul a Világegyetem szerkezetének a része, mint az anyag vagy az energia.”

Az információ tehát mindenütt jelen van, csak éppen nem tudjuk, mi is az. Mi játssza az adó, mi a vevő szerepét, mi a zaj, mi a jel? A szerző homályos fogalmához leginkább a kölcsönhatás áll közel, hiszen a kölcsönhatásban álló objektumok egyikét lehet adónak, a másikat vevőnek tekinteni, a kölcsönhatás pedig helyettesíthető egy jellel, amelyet az adó bocsát ki és a vevő felfog. Azonban amíg a kölcsönhatás fogalma a fizikában fölöttébb gyümölcsözőnek bizonyult, addig nem világos, milyen új eredmény várható az így bevezetett információtól.

A legtöbb nagy gondolkodóban olthatatlan vágy él, hogy kifejthesse nézeteit az információ és az entrópia kapcsolatáról. Biológus szerzőnk esetében ez a vágy a második főtétel hibás felírásához (40. o.) vezetett. A szerző összekeveri a belső energiát és az entrópiát (41–42. o.). Innentől fogva nem érdemes a szerző által taglalt fizikai kérdésekről beszélni. De érdemes megjegyezni, ez a fajta eszmefuttatás nem elődök nélküli. A posztmodern gondolkodók (pontosabban filozófusok, mint *Gilles Deleuze, Felix Guattari, Jacques Derrida*; nyelvészek, mint *Martin E. Rosenberg* és a névsor még folytatható) szívesen elmélkednek azon, hogyan is lehetne a statisztikus fizika egyes fogalmait (entrópia, káosz) alkalmazni mondjuk a társadalomtudományokban (*Régis Debrey, Michel Serres*). A tárgyismeret hiánya egyáltalán nem zavarta a merész gondolkodókat.

A szerző megírta a kéziratot, mert úgy gondolta, szétfeszítik a bölcs gondolatok. A kiadó kiadta, mert úgy gondolta, sok pénzt kereshet vele. Sok-sok tanár és diák fogja majd megvásárolni, és majd dől a pénz. De mi van a szerkesztővel, a lektorral, a sorozatszerkesztővel? A lektor jó nevű fizikus, ő – biztos forrásból tudom – tudja mi a különbség az entrópia és a belső energia között. Esetleg csak a szűkebb értelemben vett nyelvi lektorálásra szorítkozott? Vagy tiltakozott a kiadónál, csak nem tudott érvényt szerezni kifogásainak?

*A végeredmény lehangoló: a könyvet megvásárló tanárokat és diákokat a kiadó, a szerző, a szerkesztő és a többi közreműködő rúttul rászedte, értéktelen munkát kapnak a pénzükért.*

## Következtetések

Az érdekek felszabdalták világunkat, ez alól az ismeretek sem kivételek. Bemutattuk, hogy az ismeretek megszerzésnek és továbbításának folyamata önmagában is problémákat hordoz. Láttuk, hogy az elsőkézből származó ismereteket is célszerű kritikával fogadni, ennek következtében a sietve továbbított bombasztikus hírek magukban hordozzák a súlyos tévedés kockázatát.

Ha ehhez hozzáadjuk a szabadság (szabadosság?) következtében előálló lehetőségeket, a tévedés kockázata sokszorosára nő. Az ismeretterjesztésben dolgozók számára a megfontoltságot, az információk többszörös ellenőrzését lehet ajánlani, amivel a tévedés kockázata csökkenthető. A tévedések elleni küzdelem oszlopai lehetnek a tanárok. Ők képesek kialakítani saját környezetükben a megbízható önvédelmi mechanizmusokat, a felmerülő bombasztikus híreket megszüntetni, kialakítani saját ellenőrzési mechanizmusait és ezek segítségével megvédeni a kiszolgáltatott diákokat a saját érdekeiket szolgáló kiadók, szerkesztők és szerzők ellenében. A tanárok ez irányú munkáját segíthetné a szervezett továbbképzés is.

A tudományos megközelítés nem véletlenül erősen konzervatív. Csak a kellően ellenőrzött ismeretek állják ki a tudományosság próbáját. Hosszú távon

bizton állíthatjuk, a sokrétű ellenőrzés elveti a hibás nézeteket. Ne legyünk mindentudók, ha valamit nem tudunk, kérjünk segítséget! Sajnos nehéz megmondani, pontosan milyen forrásból szerezhető be megbízható ismeretek. Ha próbálkozásunk kudarcba fulladt, egy új ismeretet nem tudunk sem megerősíteni, sem megcáfolni, bátran mondjuk meg: ez az információ ellenőrizetlen. Előbb-utóbb ki fognak alakulni azok a csatornák, amelyek révén megbízható tudásra tehetünk szert.

Legyünk racionálisak, fogadjunk mindent egészséges kételkedéssel! Tartsuk karban az ellenőrzési mechanizmusokat: legyenek viták, beszélgetések. Az LHC-vel kapcsolatos tévhitet ki lehetett volna szűrni, ha a kérdést megvitatják (pl. egy szemináriumon). Vegyük észre azonban, hogy senkit sem lehet kényszerí-

teni nézetei megváltoztatására. Az nem szokásos, hogy egy intézeti belső jelentésre ráírják, hogy X és Y ezt badarságnak tartja, de a Tudományos Tanács (egyébként teljesen formális) jóváhagyására sincs szükség a jelentés kiadásához. Az esetek többségében azonban elegendő, ha a jelentésen ott találjuk a lektor nevét (ez gyakran az adott munka vezetője). A viták jól szolgálják az információáramlást. Adjuk át tapasztalatunkat, vegyük át másokét.

Azoknak, akik abból jutnak jövedelemhez, hogy avított ismeretekkel traktálják a diákokat, azt ajánlom, inkább versenytársainknak adják át nézeteiket, főleg rontaniuk a hazai, amúgy is egyre romló versenyképességet. Ha valakinek van ötlete, hogyan lehetne ezt elérni, kérem közölje a szerzővel vagy a szerkesztőséggel!

## A FIZIKA TANÍTÁSA

# ÉSZREVÉTEL EGY MEGOLDÁSHOZ A KÖMAL

## P. 4225. FELADATA KAPCSÁN

Holics László  
Budapest

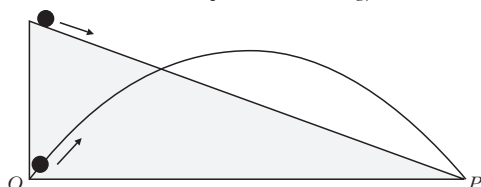
Az egyik soproni Vermes Miklós fizikaversenyen *Vermes Miklós* tanár úr példatárában található feladat szerepelt, nyilván a könnyítés érdekében tett kis változtatással (*KöMaL* 2010/5 P. 4225 feladata). Az *eredeti* szöveg így hangzott: „Egyszerre indul egy golyó az  $\alpha$  szögű lejtő tetejéről és egy golyó  $O$ -ból ferdén elhajítva.  $P$  pontba egyszerre érkeznek, egyenlő sebességgel (lásd *ábra*). Mekkora szögben kellett a második golyót elhajítani?” (Vermes Miklós: *Mechanika példatár*. Műszaki Kiadó, Budapest, 1972, 60. feladat.)

A Vermes-verseny Feladatkitűző Bizottsága elhagyta a második követelményt, hogy  $P$ -ben a két golyó sebessége egyenlő nagyságú legyen. Ezzel a könnyítéssel a *KöMaL*-ban közölt megoldás kifogástalan, és az elhajítás szögére a lejtő (tetszőleges!)  $\alpha$  szögének függvényében a feladat megoldásaként a következő összefüggést adta:

$$\beta = \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{2} \sin 2\alpha\right),$$

vagyis *bármely*  $\alpha$  szögű lejtő esetén található egy

Ábra a Vermes Miklós féle példatárban megjelent feladathoz.



olyan  $\beta$  szög, amely alatt  $O$ -ból elhajítva a golyót, egyszerre érkezik a  $P$  pontba a lejtőn lecsúszó golyóval. (Mind az eredeti, mind a P. 4225. feladat megoldásában kiesik a hajítás kezdősebessége, valamint a g nehézségi gyorsulás.)

A Vermes féle példatárban található „megoldásban” tanulságos hiba bújik meg. A megoldás szerint a kérdezett hajítási szög egyetlen képletbe foglalható a lejtő hajlásszögének függvényében (az eredeti jelöléssel):

$$\cos x = \frac{\cos \alpha}{2},$$

ahol  $x$  az elhajítás szöge (amit a versenybeli megoldás  $\beta$ -val jelöl).

A valóság azonban az, hogy az idézett „eredmény” a kettős követelménynek (azonos idő, egyenlő sebesség) csak szükséges, de *nem elégséges* feltételét adja meg! Ebből az eredményből az következne, hogy *bármekkora* szögű lejtőhöz található olyan hajítási irány, amelyben  $O$ -ból eldobva a golyót, azonos sebességgel és ugyanabban az időben érkezik a lejtőn mozgó golyóval  $P$ -be. Ennek ellenőrzésére vagy cáfolatára fel kell venni egy számszerű adatot, hogy egy tetszőleges szögű lejtővel megoldható-e a feladat.

Legyen a lejtő magassága  $b = 1,25$  m, hajlásszöge például  $\alpha = 60^\circ$ ! Először keressük meg a megoldás által meghatározott  $\beta$  hajítási szöget!

$$\beta = \arccos \frac{\cos \alpha}{2} = \arccos \frac{\cos 60^\circ}{2} = 75,522^\circ.$$

A lejtőn lecsúszó test végsebessége

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{25 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

A lecsúszás ideje:

$$t_{cs} = \frac{v}{g \sin \alpha} = \frac{5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \sin 60^\circ} = 0,5774 \text{ s}.$$

Ha megköveteljük, hogy az elhajított golyó  $P$ -beli sebessége is  $5 \text{ m/s}$  nagyságú legyen, akkor az indítási sebességének is ekkorának kell lennie (azonos szintre érkezik!). Mennyi idő alatt ér az eldobott golyó  $P$ -be? A hajítási idő képlete alapján

$$\begin{aligned} T &= \frac{2v \sin \beta}{g} = \\ &= \frac{2 \cdot 5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \sin 75,522^\circ}{10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,9682 > 0,5774 \text{ s}, \end{aligned}$$

ami azt jelenti, hogy noha valóban azonos nagyságú sebességgel ér mindkét test a  $P$  pont  $x$  koordinátájú helyére, de az elhajított golyó még a levegőben van, vagyis nem is találkoznak, mert a hajítás távolsága

$$x_{\max} = \frac{v_0^2 \sin 2\beta}{g} = \frac{25 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot \sin(2 \cdot 75,522^\circ)}{10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1,21 \text{ m!}$$

Ha megköveteljük, hogy a két test futásideje  $P$ -ig azonos legyen, sebességük lesz különböző: ha  $T = t_{cs}$  akkor az elhajított golyó sebessége ( $O$ -ban és  $P$ -ben egyaránt)

$$v = \frac{gT}{2 \sin \beta} = \frac{10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,5774 \text{ s}}{2 \sin 75,522^\circ} = 2,982 \frac{\text{m}}{\text{s}} < 5 \frac{\text{m}}{\text{s}},$$

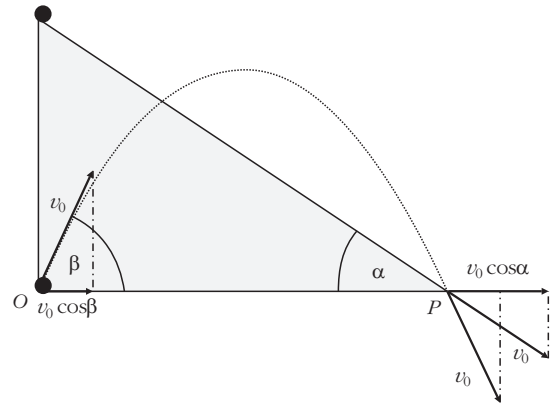
azaz a két követelmény nem teljesül egyszerre. Sőt, mi több, nem is a  $P$ -ben találkoznak, hanem csak az  $y$  koordinátájuk (szintjük) lesz azonos, mert ennek a sebességnek a vízszintes komponensével az adott idő alatt az elhajított test csak

$$\begin{aligned} x &= v \cos \beta T = \\ &= 2,982 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \cos 75,522^\circ \cdot 0,5772 \text{ s} = 0,430 \text{ m} \end{aligned}$$

utat tesz meg, míg a  $P$  pont az  $O$ -tól

$$d = \frac{h}{\tan \alpha} = \frac{1,25 \text{ m}}{\tan 60^\circ} = 0,722 \text{ m-re van!}$$

Az eredeti feladat követelményei egyszerre csak egyetlen, meghatározott hajlásszögű lejtő esetén telje-



Ábra a megoldáshoz, az itt szereplő  $v_0$  a szövegben  $v_{haj}$  illetve  $v_{cs}$  és azonososságuk miatt csak egyszerűen  $v$ -vel szerepel.

síthetők az egyetlen hajítási szöggel. Ennek meghatározása a következő.

**Megoldás.** Keressük először a hajítás  $\beta$  szögét! Az adatokat a mellékelt *ábra* tartalmazza. Írjuk fel azokat az összefüggéseket, amelyeket biztosan tudunk a folyamatról!

Az elhajított test akkor érkezik a lecsúszó testtel egyszerre a lejtő  $P$  pontjába, ha kezdősebességének vízszintes komponense megegyezik a lejtőn lecsúszó test átlagsebességének vízszintes komponensével. Az átlagsebesség viszont – egyenletesen gyorsuló mozgás lévén – a végsebesség fele, tehát:

$$v_{haj} \cos \beta = \frac{v_{cs}}{2} \cos \alpha,$$

ahol  $\beta$  a hajítás szöge,  $\alpha$  a lejtő hajlásszöge. Figyelembe véve azt a követelményt, hogy azonos nagyságú sebességgel érkezenek  $P$ -be, a sebességekkel egyszerűsíthetünk:

$$\cos \beta = \frac{\cos \alpha}{2}. \quad (1)$$

A két szög között ennek az összefüggésnek feltétlenül fenn kell állnia, de ez nem jelenti azt, hogy a feladatnak *bármely*  $\alpha$  szög megfelel!

További összefüggések, amelyeknek teljesülni kell: a hajítás ideje meg kell, hogy egyezze a lecsúszás idejével. (Ha csak az (1) követelményt elégítjük ki, az elhajított test  $x$  koordinátája megegyezik ugyan a lecsúszó test  $x$  koordinátájával a  $P$  pontban, de az  $y$  koordinátája korántsem lesz addigra 0!) Ebből a követelményből adódik, hogy  $t_{hajítás} = t_{csúszás}$  azaz:

$$\frac{2v_{haj} \sin \beta}{g} = \frac{v_{cs}}{g \sin \alpha},$$

vagyis a szögek között még egy összefüggésnek kell teljesülnie. Ez azt jelenti, hogy csak egyetlen szögpár esetén teljesülhetnek a feladat követelményei! Egyszerűsítés után:

$$2 \sin \beta = \frac{1}{\sin \alpha}. \quad (2)$$

Az (1) és (2) egyenletrendszer megoldjuk. A pitagoraszi összefüggéssel áttérünk koszinuszokra, mert az (1) egyenlet azok között ad összefüggést. A (2) egyenlet négyzetre emelve:

$$4(1 - \cos^2\beta) = \frac{1}{1 - \cos^2\alpha}.$$

(1)-ből  $\cos\alpha = 2 \cdot \cos\beta$  helyettesítésével:

$$4(1 - \cos^2\beta) = \frac{1}{1 - 4\cos^2\beta}.$$

A nevezővel szorzunk:

$$4(1 - \cos^2\beta)(1 - 4\cos^2\beta) = 1.$$

A kijelölt műveleteket elvégezzük:

$$4 - 4\cos^2\beta - 16\cos^2\beta + 16\cos^4\beta = 1.$$

Az egyenletet rendezzük:

$$16\cos^4\beta - 20\cos^2\beta + 3 = 0.$$

Ennek az egyenletnek  $\cos^2\beta$ -ra a megoldása:

$$\cos^2\beta = \frac{20 \pm \sqrt{400 - 4 \cdot 16 \cdot 3}}{2 \cdot 16} = \frac{1,07569}{0,17431}.$$

Csak a második értéknek van értelme:

$$\cos\beta = \sqrt{0,17431} = 0,41750, \text{ tehát}$$

$$\beta = \arccos 0,41750 = 65,32^\circ.$$

A feladat eredeti kérdésére válaszoltunk. Érdekelhet minket azonban az is, hogy mekkora a hajlásszöge annak a lejtőnek, amely esetén egyáltalán teljesülhet a feladat mindkét követelménye (egyszerre érkezzenek a  $P$  pontba és ott azonos legyen a sebességük nagysága). Az (1) egyenletből következik, hogy

$$\begin{aligned} \cos\alpha &= 2\cos\beta = \\ &= 2\cos 65,32^\circ = 2 \cdot 0,41750 = 0,83501, \end{aligned}$$

tehát

$$\alpha = \arccos 0,83501 = 33,38^\circ.$$

Egyetlen más lejtőn sem sikerülhet a mutatvány. A kezdősebesség nagyságától független az adat, a különböző kezdősebességek esetén a pályák hasonlósági transzformációkkal egymásba átvihetők.

*Ellenőrzés és összehasonlítás a KöMaL*

*P 4225 feladatával*

Legyen a lejtő magassága  $b = 1,25$  m! Ekkor a lejtő  $d$  alapja

$$d = \frac{b}{\operatorname{tg}\alpha} = \frac{1,25 \text{ m}}{\operatorname{tg} 33,38^\circ} = 1,897 \text{ m},$$

a lecsúszó test útja

$$s = \frac{b}{\sin\alpha} = \frac{1,25 \text{ m}}{\sin 33,38^\circ} = 2,27 \text{ m}.$$

A lecsúszó test sebessége

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1,25 \text{ m}} = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Ekkorának kell lennie a ferdén elhajított golyó sebességének is. A leérkezés ideje:

$$\begin{aligned} t_{cs} = t_{haj} &= \frac{2s}{v} = \frac{2b}{v\sin\alpha} = \\ &= \frac{2 \cdot 1,25 \text{ m}}{5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \sin 33,38^\circ} = 0,9088 \text{ s}. \end{aligned}$$

A hajítási időnek valóban ekkorának kell lennie (vagyis azonos sebességgel, egyszerre lesz a két golyó  $P$ -ben):

$$t_{haj} = \frac{2v\sin\beta}{g} = \frac{2 \cdot 5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \sin 65,32^\circ}{10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,9088 \text{ s}.$$

Végül: valóban a  $P$ -ben találkoznak, ugyanis a hajítás távolsága a kezdeti adatokkal kifejezve:

$$\begin{aligned} x_{\max} &= \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} = \\ &= \frac{25 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot \sin(2 \cdot 65,32^\circ)}{10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1,897 \text{ m}, \end{aligned}$$

és a lejtő alapjának hossza:

$$d = \frac{b}{\operatorname{tg}\alpha} = \frac{1,25 \text{ m}}{\operatorname{tg} 33,38^\circ} = 1,897 \text{ m}.$$

Természetesen kielégül a *KöMaL*-feladat megoldásának egyenlete is:

$$\frac{1}{\operatorname{tg}\beta} = \frac{1}{2} \sin 2\alpha,$$

tehát

$$\frac{1}{\operatorname{tg} 65,32^\circ} = \frac{1}{2} \sin(2 \cdot 33,38^\circ),$$

ahol

$$\frac{1}{\operatorname{tg} 65,32^\circ} = 0,4595,$$

$$\frac{1}{2} \sin(2 \cdot 33,38^\circ) = 0,4594.$$

(A kis eltérés a kerekítésekből származik.)

# Fehér István és Deme Sándor (szerk.): SUGÁRVÉDELEM

Az ELTE Eötvös Kiadó és a Somos Környezetvédelmi Kft. közös kiadása

Budapest, 2010.

A sugárvédelem teljes területét átfogó könyvet neves hazai sugárvédelmi szakemberek írták. Terjedelme 573 oldal, és 17 decimális számozású fejezetből áll.

A könyv áttekinti az ionizáló sugárzások elleni védelem legfontosabb elméleti kérdéseit, gyakorlati módszereit és eredményeit. Az első fejezetet *Fehér István* írta a sugárvédelem nemzetközi és hazai történetéről. Bemutatja az ionizáló sugárzások megismerésének és a mesterséges sugárforrások létrehozásának legfontosabb mérföldköveit, a hazai sugárvédelem fejlődésének főbb állomásait. Fehér István munkája a sugárvédelem dozimetriai alapjairól szóló második fejezet is. A sugárvédelmi dozimetriában használatos mennyiségek ismertetésekor hangsúlyozza, hogy a Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság (ICRP) új, 103. számú ajánlása a korábbi, ICRP 60. ajánlásához képest eltérő, úgynevezett testszöveti súlytényezőket javasol, amelynek az effektív dózis meghatározásakor van jelentősége. A harmadik fejezet (szerzője *Köteles György*) témája az ionizáló sugárzás hatása az emberi szervezetre. Itt a sugárzás biológiai hatásain kívül a sugárhatást módosító tényezőkről és a mai sugárvédelem alapkérdéseiről, „a kis dózis” dilemmáról és az LNT-modell érvényessége mellett és ellene szóló érvekről is olvashatunk.

A negyedik fejezet (*A sugárvédelmi szabályozás*) szerzője *Koblinger László*. Részletesen ismerteti a terület legfontosabb nemzetközi szervezeteinek (ICRP, IAEA, UNSCEAR) tevékenységét, az Európai Unió szabályozását, valamint az ezekre épülő hazai szabályozást. Az ötödik fejezet (*Védekezés a külső sugárterhelés ellen*), amelynek szerzői *Ballay László* és *Deme Sándor*, a különböző típusú sugárzások részecskesűrűsége és dózisa közötti összefüggéseket közli, továbbá kitér a sugárzások elleni fizikai védelem méretezésének gyakorlati kérdéseire is. A hatodik fejezetben (*A belső sugárterhelés mechanizmusa és számítása*) *Andrási Andor* a szervezetbe bekerült radioaktív anyagok viselkedésének leírására szolgáló biokinetikai modelleket, továbbá a belső sugárterhelés számításához szükséges dozimetria-modelleket tárgyalja, majd röviden bemutatja a gyakorlatban használatos módszereket is. A hetedik fejezet (*Védekezés nyitott radioaktív készítmények felhasználásánál*) *Ballay László* munká-

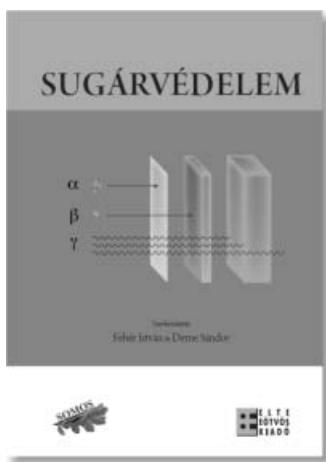
ja. A legfontosabb felhasználási területek és radioizotópok bemutatása után a fejezet ismerteti az izotóplaboratóriumok osztályozásának alapjait és kialakításának követelményeit, majd a szennyeződés elleni védelem legfontosabb eszközeit.

A nyolcadik fejezetet (*Nukleáris és más radioaktív anyagok felügyelete és védettségi kérdései*) *Horváth Kristóf* írta olyan, sajnos napjainkban is időszerű kérdésekről, mint az Atomsorompó Szerződés rendszere,

a nukleáris és más radioaktív anyagok fizikai védelme. A radioaktív anyagok biztonságos szállításáról *Nádasi Iván* írt a kilencedik fejezetben, ismertette a szabályozás jogszabályi és sugárvédelmi hátterét, a csomagolással szembeni fő követelményeket. A tizedik fejezetben (*Radioaktív hulladékok*) *Ormai Péter* bemutatja a radioaktív hulladékok kezelésének és elhelyezésének biztonsági alapelveit, majd a hazai szabályozást, létesítményeket ismerteti. A tizenegyedik fejezet (*A sugárveszélyes munkahelyek ellenőrzési módszerei*) *Deme Sándor* és *Zagyvai Péter* munkája. A fejezet fő részei: a munkahelyi ellenőrzés szer-

vezési, szabályozási kérdései és az ellenőrzés mérés-technikája. A személyi dozimetriáról szóló tizenkettedik fejezetet *Andrási Andor*, *Deme Sándor* és *Zagyvai Péter* írta. A fejezet a szabályozási, szervezési kérdések ismertetése után részletesen tárgyalja a külső és belső sugárterhelés személyi ellenőrzésének mérési módszereit.

A tizenharmadik fejezet (*Környezetellenőrzés*) öt szerző munkája: *Deme Sándor*, *Kanyár Béla*, *Vincze Árpád*, *Zagyvai Péter* és *Zombori Péter*. A fejezetben a radioaktív kibocsátások ellenőrzésének, a radioaktív anyagok környezeti terjedésének és az ennek következtében fellépő emberi sugárterhelés meghatározásának kérdéseit tárgyalják igen részletesen. Nagyon fontos területről, a sugárvédelmi műszerek metrológiai követelményeiről írt *Csete István* a tizennegyedik fejezetben, ismertette a dózismennyiségek hazai etalonjait és a mérőeszközök kalibrálási, hitelesítési követelményeit. Fehér István, Kanyár Béla és Vincze Árpád a tizenötödik fejezetben a lakosság természetes és mesterséges eredetű sugárterhelésének összetevőit tárgyalja. A tizenhatodik fejezetben (*Nukleárisbaleset-elhárítás*) Fehér István és Zombori Péter az általános



elvekből és nemzetközi követelményekből kiindulva a hazai rendszer felépítését és működését mutatja be. Az utolsó fejezetben a legfontosabb hazai nukleáris létesítmény, a Paksi Atomerőmű sugárvédelmét ismerteti *Bujtás Tibor*. A fejezet az atomerőmű technológiai berendezéseinek bemutatásával kezdődik, végül a munkahelyi és környezeti sugárvédelmi ellenőrzési rendszerek tárgyalásával zárul.

A kötet a legfontosabb fogalmak meghatározásával, majd magyar nyelvű szakkönyvek jegyzékével fejeződik be. Az utóbbi kiegészíti az egyes fejezetekhez megadott – általában angol nyelvű – irodalmat. A hiánypótló könyv a sugárvédelem teljes területét lefedi, ezért minden sugárvédelemmel foglalkozó szakember figyelmébe ajánljuk.

*Gáspárdy Géza, Kerekes Andor*

## HÍREK – ESEMÉNYEK

### CSÁKÁNY ANTAL (1933–2010)

2010. augusztus 1-jén elhunyt *Csákány Antal* villamosmérnök, a KFKI egykori tudományos főmunkatársa és az ELTE nyugalmazott egyetemi adjunktusa. Középiskoláit a kőszegi és a budapesti bencés gimnáziumban végezte, 1951-ben érettségizett kitűnő eredménnyel, majd a Budapesti Műszaki Egyetemen 1956-ban szerzett villamosmérnöki diplomát. Első munkahelye az Egyesült Izzó volt. 1957-ben került a KFKI-ba, ahol nukleáris elektronikai műszerek fejlesztésével, majd a számítógépek közötti digitális adatátvitel kérdéseivel foglalkozott. Különösen nagy érdeklődéssel és eredményességgel tanulmányozta a méréselméletben és a jelfeldolgozás terén felmerülő problémákat. Ezek felismerése és hatékony kezelése a természettudományos kutatásokban alkalmazott műszerek fejlesztésekor és gyártásuk során alapvető jelentőségű. Az 1970-es évektől kezdődően az intersztelláris rádiójelek (esetleg üzenetek) adatfeldolgozása terén végzett elméleti és gyakorlati kutatásokba is bekapcsolódott. A '80-as évek elejétől a kisszámítógépek alkalmazási lehetőségeit vizsgálva, azok oktatásban való felhasználása keltette fel a figyelmét.

Az egyetemi oktatásban már pályája kezdetétől részt vett. Az ELTE Atomfizikai Tanszékén 1959-től félállású tanársegéd, 1965-től adjunktus, majd 1992 januárjától főállású egyetemi adjunktus volt. 1997-ben történt nyugdíjba vonulásáig az egyetem Információtechnikai Laboratóriumát vezette, majd utána szerződéssel 2007-ig még tanított, amíg ebben betegsége meg nem gátolta. 48 éven keresztül végzett oktatói tevékenységet, amelyet számos díjjal és kitüntetéssel ismertek el. Munkásságát számos cikk, egyetemi jegyzet és szakkönyv fémjelzi, amelyek többsége még ma is keresett az antikváriumokban.

Ennyit mondanak a pusztá tények, azonban Csákány Antal életműve ennél sokkal színesebb. A KFKI fénykorában egyike volt az intézet, majd később kutatóközpont „esőcsinálóinak”, aki meghatározó szerepet játszott az elektronikus műszerek és számítógépek fejlesztésében és alkalmazásainak feltérképezésében.

1982-ben, a *Fizikai Szemlében* *Antal Jánossal* közösen írt *Fizika és a számítástechnika* című cikkükben, hazánkban az elsők között hívták fel a szakmai olvasóközönség figyelmét a számítástechnikára, mint „a tudomány, technika, a gazdasági, sőt a mindennapi élet egyre több területén is lassanként nélkülözhetlenné váló eszköztárra”. Ezzel kapcsolatban érdekességgé feltétlenül meg kell említeni az általa tréfaként kidolgozott *jelentésgenerátort*, egy olyan számítógépes programot, amely a betáplált szakmai és közhely-szókincsből jelentést írt a megadott paramétereknek (jelentés hossza, témaköre, pozitív, vagy éppen negatív eredménye stb.) megfelelően.

A program nagy derűtséget okozott a KFKI kutatói és az ELTE munkatársai, diákjai között egyaránt. Nem lehet nem észrevenni azt a kifinomultságot, ahogyan egy alapvetően szakmai munkával egyszerre népszerűsíti a számítástechnikát, megmutatja annak alkalmazhatóságát egy laikusok által korábban elképzelhetetlenek tűnő területen, egyúttal ráirányítja a figyelmet egy (csak?) akkoriban gyakran tapasztalt visszárs társadalmi gyakorlatra.

Csákány Antal szeretett tanítani, és meghatározó szerepe volt abban, hogy fizikusok oktatásában az elektronika (informatika-számítástechnika) területén az élenjáró legkorszerűbb ismeretek eljutottak a hallgatókhoz. Előadásai rendkívül népszerűek voltak a hallgatók körében, az előadóterem mindig zsúfolásig megtelt, még a tanárszakosok is tömegesen vettek részt az érdekes és mindig szórakoztató órákon. Ebben nagy része volt nagyszerű humorérzékének is. Egykori hallgatói ma is idézik egyes kiszólásait, mint például „A gondolat ostobasága lenyűgöző!”, vagy „Kérem szépen, az IBM-PC-ből sok minden kimaradt, főleg az IBM-PC.”

Sok esetben egyetemen kívüli, *civil* személyek is hasznos dolgokat tanulhattak az előadásokból. Megemlíthető például, hogy egy későbbi neves hazai orvosprofesszor, akinek szakterülete a pszichológia és a hipnózis lett, rendszeresen ott ült a padokban. (A

tényekhez tartozik, hogy az említett orvos kandidátusi vizsgája egyik melléktárgyának az elektronikát választotta. Később azután közösen több műszert és vizsgálati eljárást is kifejlesztettek.)

Fontos hangsúlyozni, hogy oktatói tevékenységét nemcsak a szigorú elméleti megalapozottság, hanem a gyakorlatiasságra, a megtanultak alkalmazására való törekvés is jellemezte. Volt fizikushallgatói említik, hogy az *Elektronika* tárgyából a szokásos ellenőrző dolgozatokon túl, vizsgafeladatként mindenkinek előre el kellett készítenie egy személyre szabott áramköri tervet, amely a szóbeli vizsga alapját képezte. Az elektronikus áramkörök kidolgozása során a hallgatók olyan problémákkal szembesültek, amelyekkel a hasonló témákban dolgozó szakemberek a munkájuk során nap mint nap találkozhatnak.

Behatóan foglalkozott a fizika oktatásának problémáival is. Ebben társa volt fél évszázadon át felesége, *Judit* is, aki 30 évig az ELTE Radnóti Gyakorló Iskolájában, majd 10 évig az ELTE Tanárképző Főiskolai Karának Fizika Tanszékén tanított fizikát és fizika szak módszertant.

Csákány Antal már 1977-ben felhívta a figyelmet a fizika oktatásának hiányosságaira *Kaptafa-fizika (mérnökszemmel a fizikaoktatásról)* című cikkében, majd 1996-ban az informatika oktatása kapcsán nyomatékosabban fogalmazott: „Egy ország egészséges szellemi életéhez hozzátartozik, hogy saját felsőfokú képzésében előállítsa az egyes fontos szakterületek ismereteit újabb generációknak tovább örökítő tanárokat, valamint ugyanezen területek – legalább poten-



ciálisan – prominens művelőit. A fizika kétségtelenül azon stúdiumok közé tartozik, amelynek a tudományos fejlődés követésében-művelésében, a hétköznapi élet jelenségeinek megértésében, a világnépek kialakításában nagyon jelentékeny szerep jut. Az efféle ismeretek közismerten elfogadottak – amit csak az a néhány médiariporter cáfol, akik spirituális fölényként emlegetik ebbéli ismereteik fogyatékoságait.”

Az oktatással kapcsolatos felismerések a családjában is alkalmazásra kerültek, *Anikó* lánya mérnök lett, és matematikát oktat a Műegyetemen, három fiú unokáját pedig ő maga vezette be a számítástechnika és informatika rejtelmeibe.

Talán kevésbé ismert, hogy szeretett és tudott főzni, szakmai kreativitását természetes módon egészítette ki a kreatív hobbi, a főzés. Mindig új ötletekkel, új ételekkel kísérletezett, vagy a hagyományos étkeket igyekezett új ízekkel gazdagítani.

Életének utolsó éveiben betegsége visszafogta fizikai aktivitását, azonban szellemi frissessége és közéleti érdeklődése töretlen maradt. Hosszú telefonbeszélgetésekben vitatta meg a szakmai közélet és hazai politika eseményeit, és továbbra is élénken érdeklődött a KFKI – vagy korszerűbben fogalmazva, „a csillebérci telephely” – mindennapjai iránt. Utolsó ilyen beszélgetésére e sorok írójával halála előtt három nappal került sor.

Csákány Tóni hirtelen hagyott itt bennünket. Családján kívül egykori tanítványainak, kollégáinak és közeli ismerőseinek is nagyon fog hiányozni.

*Bencze Gyula*

## A TÁRSULATI ÉLET HÍREI

### Új helyre költözik az Eötvös Loránd Fizikai Társulat

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat elhagyva eddigi Fő utcai, az MTESZ székházában található irodáját, 2010 októbere folyamán új helyre, a KFKI csillebérci telephelyére költözik.

A pontos cím: 1121 Budapest, Konkoly Thege Miklós út 29–33., 31. épület, II. emelet, 315. szoba.

A költözés nem érinti a Társulat telefon- és faxszámát, az továbbra is (1) 201-8682. A Társulat Nagy Margó ügyvezető titkáránál található mobiltelefon-száma: 06-20-5703085.

A Társulat a költözés kapcsán megújítja elektronikus postacímét is, amely [mail.elft@gmail.com](mailto:mail.elft@gmail.com).

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](mailto:mail.elft@mtesz.hu)

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

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

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

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

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

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



ROBOTER ZU DEN PLANETEN  
ROBOT EMISSARIES TO EXPLORE THE PLANETS



ISSN 0015325-7  
9 770015 325009 | 1 0010