

fizikai szemle



2013/2

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat
havonta megjelenő folyóirata.
Támogatók: A Magyar Tudományos
Akadémia Fizikai Tudományok Osztálya,
az Emberi Erőforrások Minisztériuma,
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

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>



A címlapon:

A Tejút sok millió csillagának
a déli égboltot átszelő sávja
az Európai Déli Observatórium
(ESO) VLT-távcsőrendszerének
sziluettje fölött
(Az Európai Déli Observatórium fél
évszázada című cikkhez).
Forrás: ESO/Y. Beletsky

TARTALOM

<i>Nagy Péter, Tasnádi Péter:</i> Parrondo-paradoxon – avagy a kevert stratégiák csodája	37
<i>Elekes Zoltán:</i> Rezisztívlap-kamra, mint gyorsneutron-detektor	42
<i>Nagy Elemér:</i> CERN-i visszaemlékezések	47
<i>Varga Péter:</i> Esszé a mérésekről, amelyek a Planck-törvény felfedezéséhez vezettek – 2. rész	51
<i>Kövári Zsolt:</i> Az Európai Déli Observatórium fél évszázada	56
<i>Horváth Zsuzsa, Érdi Bálint:</i> Exobolygók a fizika érettségén – II. rész	60

A FIZIKA TANÍTÁSA

<i>Leitner Lászlóné:</i> II. Szalay Sándor Fizika Emlékverseny	63
Országos Szilárd Leó Fizikaverseny 2012/2013 – emlékeztető	65
56. Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató – emlékeztető	72

KÖNYVESPOLC

HÍREK – ESEMÉNYEK

<i>P. Nagy, P. Tasnádi:</i> Parrondo's paradoxon – the miraculous result of mixing strategies	
<i>Z. Elekes:</i> The resistive foil chamber used as a fast neutron detector	
<i>E. Nagy:</i> CERN reminiscences	
<i>P. Varga:</i> On the measurements which led to the discovery of Planck's law – part 2	
<i>Z. Kövári:</i> Half century of European Southern Observatory	
<i>Zs. Horváth, B. Érdi:</i> "Exoplanets" as a Physics topic of secondary school final exams – part II	

TEACHING PHYSICS

L. Leitner: The second A. Szalay Memorial Physics Contest

BOOKS, EVENTS

<i>P. Nagy, P. Tasnádi:</i> Parrondos Paradoxon – das unerwartete Ergebnis der Vermischung zweier Strategien	
<i>Z. Elekes:</i> Die Vielplattenkammer als Detektor schneller Neutronen	
<i>E. Nagy:</i> CERN – Erinnerungen	
<i>P. Varga:</i> Über die Messungen, die zur Entdeckung des Planckschen Gesetzes führten – Teil 2.	
<i>Z. Kövári:</i> Ein halbes Jahrhundert ESO	
<i>Zs. Horváth, B. Érdi:</i> „Exoplaneten“ als Physikthema der Reifepfung – Teil II.	

PHYSIKUNTERRICHT

L. Leitner: Der zweite A. Szalay-Gedenkwettbewerb in Physik

BÜCHER, EREIGNISSE

<i>П. Надь, П. Тауннади:</i> Парадокс Парронда – неожиданный результат смешанная двух стратегий	
<i>З. Элекеи:</i> Многолистовая камера для обнаружения быстрых нейтронов	
<i>Э. Надь:</i> Воспоминания связанные с CERN-ом	
<i>П. Варга:</i> Измерения, служащие основами изобретения закона Планка – часть вторая	
<i>Ж. Кёвари:</i> Полвека обсерватория ESO	
<i>Ж. Хорват, Б. Эрди:</i> „Экспланеты“ как предмет заключительного экзамена средних школ по физике – часть вторая	

ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ

Л. Лейтнер: Второй Памятный Конкурс по физике им. Ш. Салай

КНИГИ, ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ

Fizikai Szemle
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését anyagilag támogatják:



paksi atomerőmű



Nemzeti
Kulturális
Alap

NCA
Nemzeti Civil Alaprogram



A FIZIKA BARÁTAI

Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

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

LXIII. évfolyam

2. szám

2013. február

PARRONDO-PARADOXON

– AVAGY A KEVERT STRATÉGIÁK CSODÁJA

Nagy Péter – Kecskeméti Főiskola, GAMF Kar
Tasnádi Péter – Eötvös Loránd Tudományegyetem, TTK

*Több dolgok vannak földön és égen,
Horatio, mintsem bölcselmetek
Álmodni képes.*

W. Shakespeare: Hamlet

Hétköznapjaink során, folyóiratokban, televízióban és rádióadásokban egyre gyakrabban találkozunk kockázatbecslésekkel, döntéshozatalt megkönnyítő játékelméleti következtetésekkel, valószínűségi becslésekkel. A természettudományos törvények egy része is valószínűségi megfogalmazásban jelenik meg, és a mindennapok döntéshozatalaiban valóban fontos szerepet játszanak a valószínűségi megfontolások. Emiatt a középiskolában és a felsőoktatás bevezető kollégiumaiban is meg kell mutatnunk tanítványainknak azokat a jellegzetes problémákat, amelyek megoldásakor érdemes valószínűségi megközelítéssel élni. E gondolatmenetek egyik legkézzelfoghatóbb és leglátványosabb megjelenése a játékelméletben található, ezért cikkünket játékelméleti bevezetéssel indítjuk. Olyan gondolatokat mutatunk be, amelyek alkalmazása mind a hétköznapi életben, mind a természettudományos következtetésekben meglepő eredményre vezet. A gondolatmenetek megértéséhez először tömören ismertetjük a játékelméleti stratégiákkal kapcsolatos fogalmakat.

A tömör leírást oldja a cikk színes, részletes matematikai számításokat tartalmazó elektronikus változata, amely megtalálható tematikus oldalunkon (<http://csodafizika.hu/parrondo>), ahol az anyagot sok kép, videóval, szimulációval és futtatható alkalmazásokkal illusztráljuk. A honlapon a témához kapcsolódó link-gyűjtemény is segíti a további tájékozódást.

Egy kis játékelmélet, tiszta és kevert stratégiák

A legtöbb játék több lépésből áll, és a játékosoknak lépésenként kell újabb és újabb döntéseket hozniuk. Ha a játékos döntéseit valamilyen egyértelmű szabály alapján hozza meg, tehát ebből a szabályból adott helyzetben mindig ugyanaz a lépés következik, akkor a játékelmélet szerint tiszta stratégiát játszik. A nem tiszta stratégiák alkalmazásakor a döntéshozatal nem egyértelmű. Nem tiszta stratégiát választ például az a futballjátékos, aki ugyanabban a szituációban éppen akkori hangulata, megérzése szerint passzolja tovább a labdát. Kevert stratégiás játékmód esetében a játékos a játék folytatásának különböző lehetőségei között előre meghatározott valószínűséggel választ, azaz az általa meghatározott valószínűségek szerint véletlenszerűen hozza meg döntését.

A játékelmélet szerint minden játékos számára mindig létezik optimális kevert stratégia, amelyet az úgynevezett Nash-egyensúly határoz meg.¹

A véletlenszerű kevert stratégia alkalmazása is jól illusztrálható egy labdarúgóval, aki csapata egyik tizenegyes-specialistája és minden edzésen sokat gya-

¹ Az elvet *John Nash* matematikus fedezte fel 22 éves doktoranduszként. A felfedezés körülményeinek legendája megnézhető a Nash életét feldolgozó *Egy csodálatos elme* című mozifilmről vett részleten, amely megtalálható honlapunkon.



1. ábra

korolja a tizenegyesrúgást. Tapasztalata szerint a legbiztosabb, legerősebb, az egyéni rúgótechnikájához legjobban illeszkedő lövése a bal alsó sarokra csavarva meglokt labda, de alig rosszabb hatásfokkal működik a középére a lécs alá „csőrrel” tisztán megrúgott lövése is. Természetesen máshova is jól lövi a labdát (például a jobb felső sarokba), de azért mégsem olyan pontossággal és megbízhatósággal, mint a bal alsó sarkos lövést. Hova rúgja adott, éles szituációkban a tizenegyes? Világos, ha mindig a legjobb lövést választja, akkor hamar kiismerik (manapság természetesen, hogy az ellenfeleket videón tanulmányozzák) és a kapusok eleve a bal alsó sarokra vetődnek majd. Ezért érdemes néha máshova lőnie, még ha azok a lövések kissé rosszabbak is. Kiderül, hogy az optimális stratégia valami ilyesmi: a játékos a büntető rúgás előtt titokban feldob egy húszoldalú „kockát”, ha az 1–14 számok valamelyike jön ki (azaz 70% valószínűséggel), akkor a bal alsó sarokra csavarja a labdát, ha a 15–19 számok valamelyikét kapja (tehát 25% valószínűséggel), akkor középére a lécs alá „csőrrel” tisztán megrúgott lövést választja, ha pedig 20 adódik (5% valószínűséggel), akkor a jobb felső sarkot célozza meg.

A fenti fiktív példa helyett a büntetőrúgások több európai bajnokságból összegyűjtött statisztikájából adódó eredményeket tárgyaljuk a cikk elektronikus változatának függelékében az [1] tanulmány alapján.

A tudomány számtalan konkrét szituációban – a fizikától kezdve a biológiáig, a közgazdaságtól a szociológiáig – megmutatta, hogy adott helyzetben mindig valamilyen véletlenszerű kevert stratégia az optimális. Például az állatok táplálékkeresési mozgására irányuló megfigyelések azt mutatják, hogy egyes állatfajok (például ragadozó halak, albatroszok, majmok) nem egyszerű (Brown-eloszlású) bolyongással, hanem az úgynevezett Lévy-eloszlást követve mozognak: ebben az eloszlásban a rövidtávú véletlenszerű bolyongást ritkán előforduló hosszabb lépések bontják meg (1. ábra). Ezt úgy is megfogalmazhatjuk, hogy a táplálékkeresők véletlenszerű kevert stratégiát alkalmaznak: a lokális, rövid távon végzett bolyongást (kicsiny terület átfésülését) véletlenszerűen váltogatják a nagyobb léptékű,

határozottabb irányultságú mozgással (területváltás). A mikro-rendszereket leíró kvantumállapot a rendszer makroszkopikusan (klasszikus fizikai szituációkban) mérhető tulajdonságaihoz rendelhető állapotainak lineáris kombinációja, komplex amplitúdókkal súlyozott kevert állapot (izgalmas és lényegi eltérés az, hogy a kimeneteli valószínűségeket ezen amplitúdók négyzetei adják). Egyértelműen kijelenthető, hogy a kevert stratégiák a tudományokban és a mindennapi életben egyaránt kiemelt jelentőséggel bírnak.

A paradoxon

A kevert stratégiákra vonatkozóan *Juan Parrondo*, a madridi egyetem fizikusa igen különös és döbbenetes felfedezést tett, ami erősen foglalkoztatja a legkülönbözőbb tudományterületek (például fizika, biológia, közgazdaságtan és szociológia) képviselőit. Azt a ma már Parrondo-paradoxon néven ismertté vált – e helyen játékelméleti megfogalmazásban interpretált – állítást bizonyította, hogy *léteznek olyan stabilan veszteséges stratégiák, amelyeket keverten játszva – akár véletlenszerű kevert stratégiával, akár valamilyen fix minta szerint keverve – az eredmény folyamatos, nagy nyereség lehet.*

A Parrondo-játék prototípusa

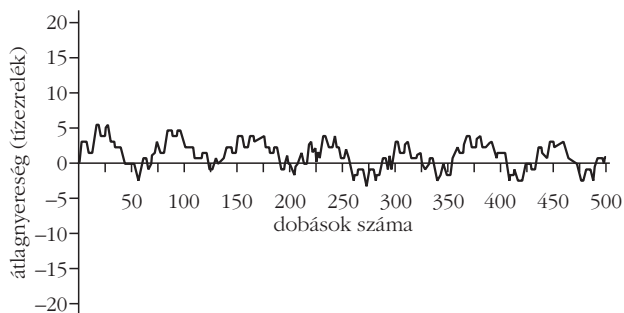
Tekintsünk két pénzfeldobásos szerencsejátékot, amelyekben minden egyes pénzfeldobásnál legyen a tét egységnyi. Mindkét játék során a nyereményt az határozza meg, hogy mit dobunk egy pénzérmével: fej esetén egységnyi a nyereségünk (+1), írás esetén egységnyi a veszteségünk (–1).

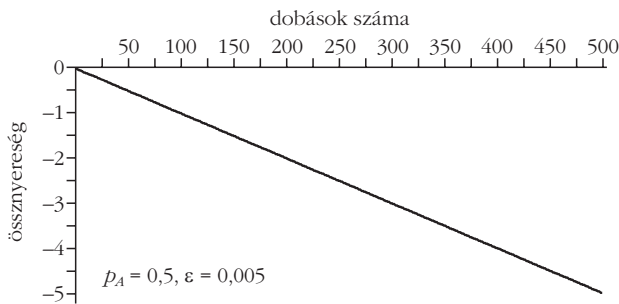
Az *A* játék során csak egy pénzérmét használunk.

Ha a pénzérme szimmetrikus (azaz a fej és írás azonos eséllyel jön ki), akkor a játék dobásonkénti várható nyeresége nyilvánvalóan 0, azaz sok játékot lejátszva a nyeremény értéke közel nulla marad. A 2. ábra a játék számítógépes szimulációját mutatja (a szimulációs ábrákon minden esetben több futtatás, azaz sok lejátszott játék átlagos eredményét jelenítjük meg).

Ha a pénzérme nem szimmetrikus, mondjuk $(p_A - \epsilon) \neq 0,5$ valószínűséggel fej, $(1 - p_A + \epsilon)$ valószínűséggel pedig írás jön ki, akkor *az egy dobásra eső nyereség*

2. ábra. Forrás: <http://www.datagenetics.com/blog/august22012/index.html>





3. ábra. Forrás: <http://www.datagenetics.com/blog/august22012/index.html>

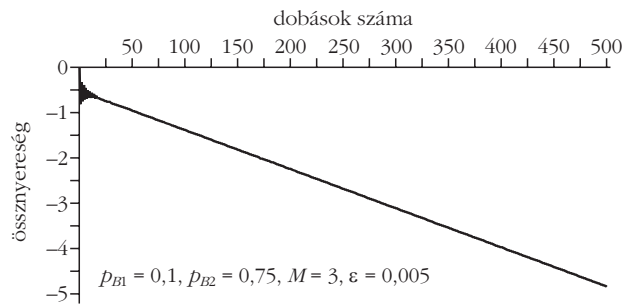
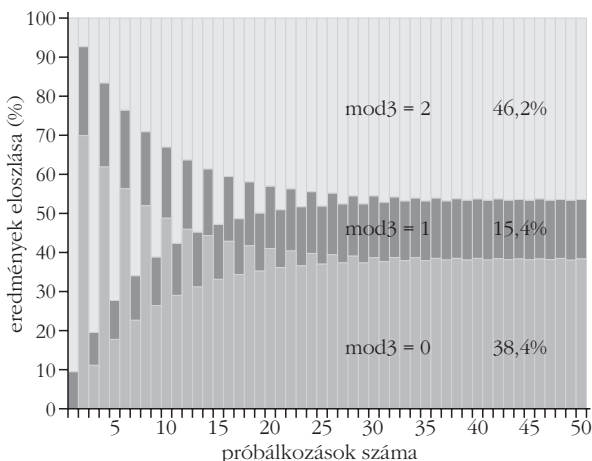
várható értéke nem nulla, például $p_A = 0,5$ és $\epsilon = 0,005$ esetén a játék hosszú távon nyilvánvalóan veszteséges, a nyereség várható értéke $\langle n y_1 \rangle^{(A)} = -0,01$ (az ϵ -nal megadott aszimmetria bevezetése talán indokolatlannak tűnik, de a szakirodalom egyfajta kontrollparaméterként használja). A játék szimulációját a 3. ábra mutatja.

A B játék kicsit bonyolultabb. Itt két pénzérmét használunk, és meghatározott szabály szerint dobunk vagy az egyikkel, vagy a másikkal. Az egyik (B1) érmét „rossz” érmének nevezzük, mert feldobva $(p_{B1} - \epsilon)$ valószínűséggel ($p_{B1} \leq 0,5$ és $0 \leq \epsilon$) jön ki fej és $(1 - p_{B1} + \epsilon)$ valószínűséggel írás, a másikat (B2) pedig „jó” érmének, mert vele dobva $0,5 \leq (p_{B2} - \epsilon)$ valószínűségű a fej, és $(1 - p_{B2} + \epsilon)$ valószínűségű az írás. A játék során a B1 érmével akkor dobunk, ha a játék kezdete óta felhalmozott nyereségünk az M (M tetszős szerint választott) egész számmal osztható, a B2 érmével pedig akkor, ha nem osztható.

Példaként tekintünk az $M = 3$, $p_{B1} = 0,1$, $p_{B2} = 0,75$ és $\epsilon = 0,005$ klasszikus Harmer–Abbott féle (továbbiakban H–A) esetet [2]. Noha nem annyira nyilvánvaló, mint az A játék esetén, a B játék is hosszú távon mindenképpen veszteséges.

Első – kézenfekvőnek tűnő – gondolatunk szerint a B1 érmével történő dobás valószínűsége $p(B1) = 1/3$, a B2-vel történő pedig $p(B2) = 2/3$, amivel az egy dobásra jutó nyereség várható értékére (viszonylag könnyű számolással) $+0,05668$ adódik, tehát a játék hosszútávon nyereséges lenne. Azonban számítógé-

5. ábra. Forrás: <http://www.datagenetics.com/blog/august22012/index.html>



4. ábra. Forrás: <http://www.datagenetics.com/blog/august22012/index.html>

pes szimulációval játszva a játékot egészen más tapasztalunk (4. ábra).

Világosan látható, hogy a játék veszteséges, az egy játékra eső átlagos nyereség az egyenes meredekségéből becsülhető: például 50 játék után mintegy $-0,95$ egység, míg 450 játék után nagyjából $-4,45$ egység, így a meredekség, azaz a játékankénti várható nyereség körülbelül

$$\frac{(-4,45) - (-0,95)}{450 - 50} = -0,00875!$$

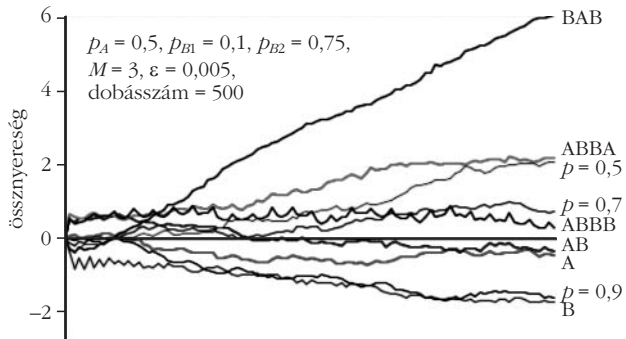
Ennek oka az, hogy a játék során az egyes (0, 1 és 2) maradékot adó „össznyeremény-állapotok” nem azonos ($1/3$) valószínűségűek, hanem hosszú távon nem-egyenletes egyensúlyi eloszláshoz tartanak (a játékmenetek sztochasztikus Markov-folyamatok, amelyek egyensúlyi határeloszlásait a honlapunkon kipróbálható javascript alkalmazással numerikusan határozzuk meg). A számítógépes szimulációval kapott eloszlások alakulását az 5. ábra mutatja.

Látható, hogy a 0 maradékosztályú össznyeremény-állapot – azaz a B1 „rossz” érmével való dobás – valószínűsége, nagyobb $1/3$ -nál, így kissé megnő a vesztes dobás esélye, ami végső soron azt eredményezi, hogy az egy játékra eső átlagos nyereség értéke $-0,00868$ lesz, ami igen jó egyezést mutat a szimulációból kapott $-0,00875$ becsléssel.

Van tehát egy egyszerű (A) és egy bonyolultabb (B) játékunk (stratégiánk), mindkettő stabilan (hosszú távon) veszteséges. Parrondo fantasztikus felfedezése az, hogy ha ezt a két játékot keverten játsszuk, akár véletlenszerűen döntve el, hogy éppen melyik stratégia szerint játszunk, akár megfelelő fix séma szerint felváltva játszva a két stratégiát, akkor hosszútávon stabilan nyereségre tehetünk szert! A várakozással ellentétben tehát a kevert játék nem marad veszteséges, hanem alapvető változás áll be: a két veszteséges stratégia (véletlenszerű vagy adott séma szerinti) változtatásával nyereséges játék alakulhat ki!

A következőkben egy véletlenszerű kevert stratégiát és egy fix minta szerinti kevert stratégiát tárgyalunk meg, továbbra is a $p_A = 0,5$, $M = 3$, $p_{B1} = 0,1$, $p_{B2} = 0,75$ és $\epsilon = 0,005$ (H–A) esetet véve példaként.

Nézzük először a véletlenszerű kevert stratégiát! Minden egyes dobás előtt véletlenszerűen választunk, hogy az A vagy a B játék szerint játszunk, p valószínűséggel az A játékot, $(1 - p)$ valószínűséggel pedig B játékot választjuk.



6. ábra. A <http://www.cut-the-knot.org/ctk/Parrondo.shtml> oldal szimulációját használva.

Ekkor például $p = 0,5$ esetén az egy dobásra eső átlagos nyereség értéke $+0,0157$ lesz, vagyis a két stabilan veszteséges játékot véletlenszerű kevert stratégiával játszva hosszú távon nyereségesek leszünk! A számítások azt mutatják, hogy $0,0703 < p < 0,8471$ értéktartományban a véletlenszerű kevert stratégia nyereséges (körülbelül $p = 0,41$ értéknél maximális), $0 < p < 0,0703$ és $0,8471 < p < 1$ értékeknél veszteséges.

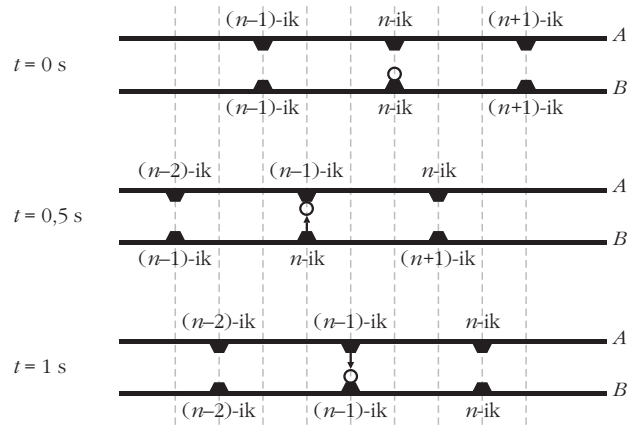
Játsszuk most az A és B játékot felváltva, azaz az AB ismétlődő séma szerint. A számítások szerint az egy dobásra eső átlagos nyereség ekkor $-0,00674$, tehát bár a játék továbbra is veszteséges marad, a veszteség mindkét eredeti játékhoz képest csökken, holott intuíciónk szerint a két játék ötvözetével a veszteségnek a két eredeti játék vesztesége között kellene lennie. Találhatók azonban olyan sémák, amelyek hosszú távon nyereségesek, például az összes nem homogén hármas csoport (például BAB), míg a négyes csoportok között egyaránt találhatók nyereségesek ($ABBA$) és veszteségesek ($ABBB$).

A fentebb tárgyalt játékok on-line számítógépes szimulációját kipróbálhatjuk a [3] helyen található java-applet segítségével. A 6. ábrán az Abbott-féle esetre végzett futtatás eredménye látható. A kép öt nyereséges (a BAB , az $ABBA$ és az $ABBB$ minták, valamint a $p = 0,5$ és $p = 0,7$ véletlenszerű kevert stratégia), és négy veszteséges stratégia (az eredeti A és B játékok, az AB minta, valamint a $p = 0,9$ véletlenszerű kevert stratégia) eredményét mutatja.

Az Excel táblázatkezelőt ismerő és használó olvasóink figyelmébe ajánljuk a [4] fájlt, amelyhez használati leírást is olvashatnak angol nyelven [5].

Egy szemléletes mechanikai modell

A fentiek szemléltetésére egyszerű mechanikai modellt alkothatunk. Vegyünk két párhuzamos (A és B) fogas-szalagot, amelyek egy egyenes mentén mozognak (legyen a jobbra irány a pozitív, a balra a negatív). Mindkét fogas-szalagon a fogak azonos $L = 0,15$ m távolságra vannak, adott $t = 0$ időpillanatban a két szalagon a fogak pontosan egybeesnek, a fogakat a könnyebb áttekinthetőség érdekében sorszámozzuk meg (7. ábra). Az A fogas-szalag egyenletes $0,1$ m/s sebességgel mozog jobbra. A B fogas-szalag viszont alternáló



7. ábra

mozgást végez, $0,5$ s-ig $-0,2$ m/s sebességgel (balra) mozog, majd $0,5$ s-ig $+0,4$ m/s sebességgel (jobbra) mozog, tehát a B szalag átlagsebessége is $0,1$ m/s, azaz jobbra mutató eredő mozgása van.

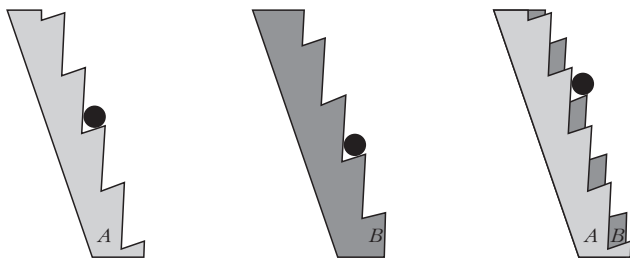
A fogas-szalagok egyikén teher helyezkedik el (a 7. ábrán kis karika szemlélteti). A két szalag között „kicszerelődési kölcsönhatás” működik, ha a szalagokon két fog éppen szembekerül egymással, akkor a teher az aktuális szalagról (amelyen eddig volt) áttevődik a másik szalag szemben levő fogára.

Kövessük nyomon a fogas-szalagok és a teher mozgását egy másodpercig. A kezdő pillanat az ábra felső részén látható, a teher éppen ekkor lépett át az A szalag n -ik fogáról a B szalag n -ik fogára. $0,5$ s alatt az A szalag $0,05$ m (1 segédvonalnyi) távolságot tesz meg jobbra, míg a B szalag $0,1$ m (2 segédvonalnyi) távolságot tesz meg balra. Ekkor a B szalag n -ik foga, ahol a teher eddig volt, éppen szembe kerül az A szalag $(n-1)$ -ik fogával, így a teher átkerül az A szalagra (az ábra középső része). A következő $0,5$ s alatt az A szalag ismét $0,05$ m (1 segédvonalnyi) távolságot tesz meg jobbra, míg a B szalag $0,2$ m (4 segédvonalnyi) távolságot mozdul el szintén jobbra. Ekkor az A szalag $(n-1)$ -ik foga, ahol a teher eddig volt éppen szembe kerül a B szalag $(n-1)$ -ik fogával, így a teher átlép a B szalagra (az ábra alsó része).

Egy másodperc alatt tehát mindkét szalag $0,1$ m (2 egységnyi) távolságot mozdul el jobbra, ezzel szemben a teher $0,05$ m (1 egység) hossznyira balra került! *A szalagok és a teher mozgását hosszabb ideig figyelve azt látnánk tehát, hogy miközben mindkét fogas-szalag jobbra halad, a közöttük átlépegető (de a mozgásegyenes irányában passzív) teher balra halad!*

A fogas-szalagos mechanikai modell könnyen átfogalmazható például mozgólépcsős változatra: fogas-szalagok helyett mozgólépcsők, jobb-bal mozgás helyett le-fel mozgás, fogak helyett lépcsőfokok és teher helyett utas² helyettesítendő. A lényeg a 8. áb-

² A mozgólépcsős változat on-line számítógépes szimulációja kipróbálható a [3] helyen található java-applet segítségével, illetve az erről készült film megtekinthető egy rövid magyar alámondásos [6] videón.

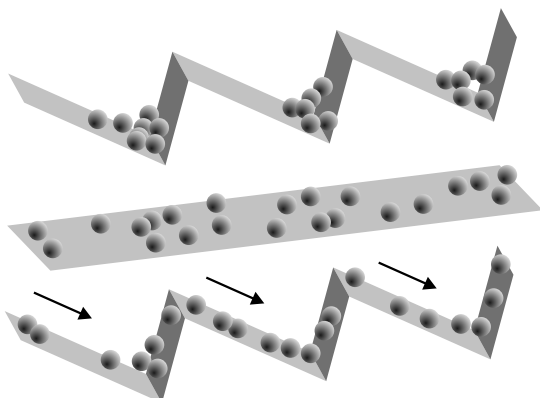


8. ábra

rán foglalható össze: mind a világos (A), mind a sötét (B) mozgólépcső lefelé halad. Az A lépcső egyenletesen lefelé, a B lépcső pedig alternáló mozgással: rövid ideig felfelé, majd ugyanannyi ideig kétszer akkora sebességgel lefelé mozog, így végül B átlagsebessége is lefelé mutat, még hozzá azonos értékű A sebességével. A mozgás élményszerűvé tehető a honlapon található szimulációval. Ott a két mozgólépcsőt külön-külön üzemeltetve tapasztalhatjuk, hogy a fekete golyóval reprezentált utas bármelyik lépcsőn lefelé mozog. Ha azonban egyszerre működtetjük a két mozgólépcsőt, és mozgásukat a fenti modell szerint szinkronizáljuk, (tehát az alternáló lépcső n -ik foka a másik lépcső n -ik és $(n-1)$ -ik foka között „rezeg”), akkor azt láthatjuk, hogy az utas felfelé halad a két egyenként lefelé haladó mozgólépcsőn (az ábra jobb oldala).

Parrondo tulajdonképpen ilyen jellegű fizikai problémákon dolgozva ismerte fel a ma már a nevét viselő paradoxont. Az általa készített modellben az egyérmés A játék sima felszínű, adott lejtésszögű lejtőnek felel meg, a játékban fogadva hosszú távon csak veszíteni lehet, *a lejtőn pedig mindig lefelé (balra) csúszik a tárgy*. A kétérmés B játék olyan fűrészfogazott lejtőnek feleltethető meg, amelynek *átlagos lejtése* ugyancsak *balra mutat, fűrészfogai azonban aszimmetrikusak. A lejtőre helyezett tárgy természetesen most is balra-lefelé mozog*. Képzelnék el azonban, hogy a fogazott lejtő sűrű egymásutánban változtatja felszínét, először sima, majd átmegey fogazottba, majd újra kismul, azaz a lejtő felszíne hol az egyik, hol a másik alakot vesz fel (9. ábra). *Megfelelően választva a hajlásszöveget, a fűrészfogak aszimmetriáját és a váltogatások időzítését, azt tapasztalhatjuk, hogy a felszínét változtató lejtőre tett tárgy jobbra-felfelé halad*.

9. ábra



Kitekintés

Bár Parrondo felfedezése – mint látni fogjuk – valóságos lavinát indított el, és a legkülönfélébb tudományterületek művelőinek intenzív munkája számos publikációt eredményezett, a kérdéskörnek – sajnos – magyar nyelven hozzáférhető irodalma szinte egyáltalán nincs. Az interneten (a Google és Yahoo keresőkkel) csak két oldalt találtunk: *Jéki László* 2000-ben a Magyar Tudományban megjelent [7] cikkét és *Korpa Bálint* 2005-ös [8] írását.

Létezik viszont angol nyelvű hivatalos oldal [9], amelyen számos fontos és érdekes információt találhatunk, külön felhívjuk a figyelmet a *Useful links* és a *Publications* menüpontokra, ez utóbbihoz tartozó lapon meggyőződhetünk arról, hogy a tudományterületek milyen széles skáláján folyik kutatás e témában. Az alábbiakban – bevallottan szubjektív – válogatást, áttekintést adunk a Parrondo-paradoxonhoz kapcsolható érdekes kutatási eredményekből.

Az úgynevezett *molekuláris (Brownian ratchet) motorok* modelljei (lásd például [10]-ben) értelmezhetőek a Parrondo-paradoxon interpretációjaként [11]. Két, külön-külön például balra mutató eredő erőhatású potenciált kapcsolgatva a potenciáltérben mozgó mikrorészecskék statisztikus átlagban jobbra haladhatnak (a Parrondo féle lejtős kapcsolgatással való szoros analógia igen nyilvánvaló). A témáról magyar nyelven a *Fizikai Szemle* 1996/6. számában megjelent *Biológiai mozgások statisztikus fizikai modelljei* című cikket ajánljuk olvasásra. A Brown-motorok működését szimuláló [12] java-applet elérhető saját weboldalunkról is [13].

A [14]-ben olvasható cikk a Parrondo-paradoxon genetikai alkalmazását adja az *episztázis* (az a jelenség, amikor egy gén hatása elnyomja egy másikét) modellezésében.

Nagyon izgalmas eredmény az úgynevezett *Allison-keverék* (Allison mixture) [15]. Képzelnék el két véletlen számsorozatot, amelyek autokorrelációs indexe nulla és függetlenek egymástól. Az általánosság megszorítása nélkül – az egyszerűség kedvéért – tekintsünk itt két bináris (csak 0 és 1 számokat tartalmazó) sorozatot. Készítsünk egy harmadik sorozatot úgy, hogy a két eredeti sorozat elemeit véletlenszerűen keverve használjuk a következő (Markov típusú) szabály szerint: ha az új sorozat n -ik indexű helyén álló száma az 1. sorozatból származott, akkor a következő elem legyen $(1-\alpha_1)$ valószínűséggel az 1. sorozat következő, $(n+1)$ indexű száma, illetve α_1 valószínűséggel a 2. sorozat következő $(n+1)$ indexű száma, ha pedig az aktuális (n) indexű helyen álló szám a 2. sorozatból származott, akkor a következő szám legyen $(1-\alpha_2)$ valószínűséggel a 2. sorozat következő $(n+1)$ indexű száma, illetve α_2 valószínűséggel az 1. sorozat következő $(n+1)$ indexű száma. A két független, autokorrelálatlan sorozatból tehát teljesen véletlenszerűen álljuk össze a harmadik sorozatot, így nyilvánvalóan azt várjuk, hogy az új sorozat ρ autokorrelációs indexe is nulla lesz.

Valójában azonban gyakran nem-nulla érték adódik:

$$\rho = \frac{1}{\sigma^2} \frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} (\mu_1 - \mu_2)^2 (1 - \alpha_1 - \alpha_2),$$

ahol μ_1 és μ_2 a két eredeti sorozat várható értéke, σ^2 pedig az új sorozat szórásnégyzete (varianciája). Ez a tény új távlatokat nyit sok tudományterületen, mint például az informatika, a genetika, vagy az önszerveződő rendszerek fizikája.

A Parrondo játék (kvantum)optikai modelljét tárgyalja a [16] cikk, amely a korábban említett Brownmotorok tervezésére lehet alkalmas.

A [17] helyen található cikk a Parrondo-paradoxon kvantumfizikai interpretációját tárgyalja és mutatja be annak kvantumhálózatokon való implementációját.

A [18] tanulmány a Parrondo játék kódttömörítését alkalmazását tárgyalja.

A káosz csak néhány évtizedes jelenségkör a fizikában, és a kaotikus rendszerek szabályozása sokáig lehetetlen célnak minősült: „Egy kaotikus folyamat általában nem jósolható meg és nem is szabályozható. Nem jósolható meg, mert már nagyon kicsiny zavaró hatás is a folyamat exponenciálisan növekvő perturbációját eredményezi. Nem szabályozható, mert a kicsiny zavarások csak más kaotikus állapothoz, nem pedig valamilyen stabil, megjósolható alternatívához vezetnek.” (*Freeman Dyson: Engineers Dreams*, 1988). Ma már számos módszer létezik a káosz „megregulálására”, izgalmas, új, nem-perturbatív metódust mutat be például a [19] helyen olvasható cikk, amely megmutatja, hogy két kaotikus viselkedésű rendszer között kapcsolgatva az eredő viselkedés szabályos lehet.

Nyilván sokakban vetődik fel a kérdés, hogy miként lehetne ezt az izgalmas felfedezést a hétköznapi életben kamatoztatni, például a szerencsejátékokban vagy mondjuk a tőzsdén. A szerencsejátékok vonatkozásában érdekes és részletes elemzés található a [20] helyen a pókerben való alkalmazásra. A gazdasági tuda-

mányokba csak lassan hatol be ez az új eredmény, de azt már kimutatták, hogy bizonyos esetekben két külön-külön hosszú távon veszteséges részvényportfólió közötti véletlenszerű tőkeátcsoportosítások révén az alaptőke növekedhet! Két kapcsolódó érdekes olvasni-való található a [21], illetve [22] címenek.

Derek Abbott a Parrondo's Paradox Group vezetője remek összefoglalót írt a területen folyó kutatási témákról [23].

Végezetül egy érdekes és népszerű szinten megírt (angol nyelvű) áttekintés olvasható a témáról a [24] weboldalon.

Felhasznált és javasolt irodalom

1. <http://www.palacios-huerta.com/docs/professionals.pdf>
2. <http://arxiv.org/pdf/cond-mat/0003386.pdf>
3. <http://www.cut-the-knot.org/ctk/Parrondo.shtml>
4. <http://csodafizika.hu/parrondo/store/excel/parrondo.xls>
5. http://csodafizika.hu/parrondo/store/excel/parrondo_excel_leiras.pdf
6. http://csodafizika.hu/parrondo/store/parrondo_lepcso.avi
7. <http://epa.oszk.hu/00700/00775/00022/1136-1137.html>
8. http://www.tozsdestrategia.hu/Publicat/parrondo_paradox.htm
9. <http://www.eleceng.adelaide.edu.au/Groups/parrondo/index.html>
10. <http://arxiv.org/pdf/cond-mat/9810326.pdf>
11. <http://digital.csic.es/bitstream/10261/7433/2/mem-mod1.pdf>
12. <http://www.elmer.unibas.ch/bm/index.html>
13. <http://csodafizika.hu/parrondo/store/bm/index.html>
14. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1931524/>
15. Allison, A., Pearce, C. E. M., Abbott, D.: Finding keywords amongst noise: Automatic text classification without parsing. *Proc. SPIE Noise and Stochastics in Complex Systems and Finance*, Florence, Italy, Eds: János Kertész, Stefan Bornholdt, and Rosario N. Mantegna 6601 660113 (2007)
16. <http://arxiv.org/pdf/1010.5183v1.pdf>
17. <http://arxiv.org/pdf/quant-ph/0502185.pdf>
18. <http://arxiv.org/pdf/cond-mat/0402515v1.pdf>
19. <http://arxiv.org/ftp/nlin/papers/0406/0406010.pdf>
20. <http://parrondoparadox.blogspot.co.uk/>
21. <http://www.sais.se/mthprize/2002/almberg2002.pdf>
22. http://www.cmth.bnl.gov/~maslov/optimal_investment_ijtaf.pdf
23. <http://www.scribd.com/doc/5626750/Developments-in-Parrondos-Paradox>
24. <http://www.eleceng.adelaide.edu.au/Groups/parrondo/articles/Playing%20both%20sides,%20Erica%20Klarreich.htm>

REZISZTÍVLAP-KAMRA, MINT GYORSNEUTRON-DETEKTOR

Elekes Zoltán

MTA Atommagkutató Intézete, Debrecen
Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Németország

Az atommagok szerkezetének tanulmányozása új lendületet kapott az instabil, radioaktív ionnyalábok [1] megjelenésével, hiszen az atommagtérkép oly tartományai lettek elérhetőek, ahol a neutronok és protonok aránya jelentősen eltér a stabilitás völgyében tapasztalttól. Számos fantasztikus jelenséget tártak fel az elmúlt húsz évben, mint például a neutronglóriás atommagok, amelyekben a valencianeutronok, azaz a zárt, mágikus héjon túli neutronok, az atommagtörzstől messze keringenek, glóriát vonva köré [2]. Továbbá tanúi lehettünk annak a felfedezésnek, hogy a má-

gikus számok megváltoznak az egzotikus atommagok tartományában [3], ami közvetlenül jelentkezik a csillagfejlődésben és az elemek gyakoriságának kialakításában [4].

A németországi Darmstadtban már megkezdődött az Antiproton és Ion Kutatóközpont (FAIR) [5] építése, ami tulajdonképpen a már működő Nehézion Kutatóintézet (GSI) gyorsítóparkjának a továbbfejlesztését és különböző detektorokkal való ellátását jelenti. A atommagszerkezettel foglalkozó radioaktív ionnyalábos kutatásokra több együttműködés is létrejött,

amelyek közül az R^3B (Reakciók Relativisztikus Radioaktív Ionnyalábokkal) [6] azt a célt tűzte ki, hogy kinematikailag teljes mérések során a neutron- és protonelhullatási vonalakhoz közeli vagy azon túli atommagok szerkezetét tárja fel. A kinematikailag teljes mérés azt jelenti, hogy a magreakcióban keletkező összes részecskét és sugárzást detektáljuk, továbbá meghatározzuk jellemzőiket (energia, lendületvektor).

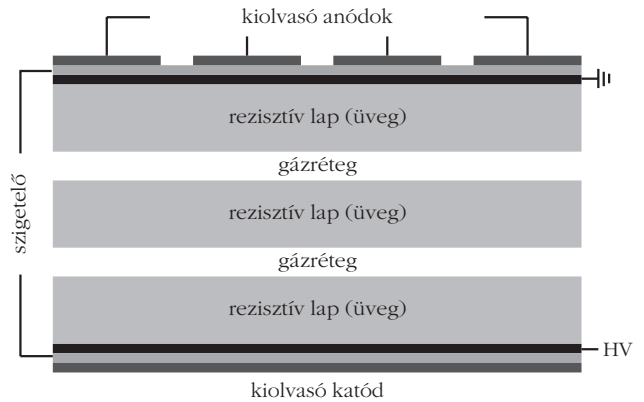
A kísérletek során gyakran előfordul, hogy a vizsgált magreakcióban nagy energiával rendelkező (200 MeV – 1 GeV), úgynevezett gyors neutronok is keletkeznek. Ezek észlelése is már komoly gondot okoz, mert közvetlenül nem megfigyelhető; helyes lendületmeghatározásukhoz pedig már külön algoritmus felállítása szükséges, amelyet később részletesen tárgyalunk.

Manapság gyorsneutron-detektorként leginkább plazmatik- vagy folyadékszcintillátorokat használnak. Ilyet alkalmaz például az R^3B elődje a LAND kollaboráció is, vagy a MONA-LISA csoport az egyesült államokbeli Michigan Állami Egyetemen, ahol a neutron-detektor fejlesztésében komoly szerepet vállaltak az ELTE kutatói is. A szcintillátoranyagban a neutronok által létrehozott reakciótermékek fényfelvillanást keltenek. A fényt a szcintillátor egy kiszemelt pontjára vezetik, ide fotoelektron-sokszorozót helyeznek, amelynek segítségével elektronikus jelet hoznak létre. A kiváló időfelbontást adó fotoelektron-sokszorozók azonban rendkívül drágák, és ez különösen akkor jelent jelentős anyagi terhet, ha az extrém alacsony intenzitású (akár 1 részecske/másodperc) radioaktív ionnyaláboknál akarunk kísérletezni. Ilyenkor a magreakcióban keletkező részecskéket és sugárzásokat detektáló berendezések maximális határfokára kell törekedni, ehhez sok (több száz) detektort szükséges. Az R^3B kollaboráció keretein belül ezért vizsgáltuk meg, hogy a problémára milyen jóval olcsóbb (akár fele annyiba kerülő), de hatékony megoldást lehet találni.

Rezisztívlakra

A vizsgálni kívánt magreakciók szigorú feltételeket szabnak a gyorsneutron-detektor számára: 90%-nál nagyobb hatásfok, 80 mrad fedési szög 12 méterre a magreakciót kiváltó céltárgytól ($2 \times 2 \text{ m}^2$ felület), $\sigma_t = 100 \text{ ps}$ időfeloldás, nagy helyzetérzékenység ($\approx 3 \text{ cm}$), multineutron-események azonosítása és $\sigma_E = 20 \text{ keV}$ -es energiafeloldás 100 keV-nél a gerjesztésienergia-spektrumban (amely szoros összefüggésben van az időfeloldással, ahogy azt később látni fogjuk). Ezek közül talán az időfeloldás a legnehezebben teljesíthető követelmény, azonban megoldásként pontosan emiatt jöhetnek szóba az úgynevezett rezisztívlak-kamrák.

Működésük a félvezető detektorokéhoz hasonlóan a *Shockley és Ramo* által az 1930-as évek végén megmutatott összefüggésen alapul, ami szerint egy mozgó

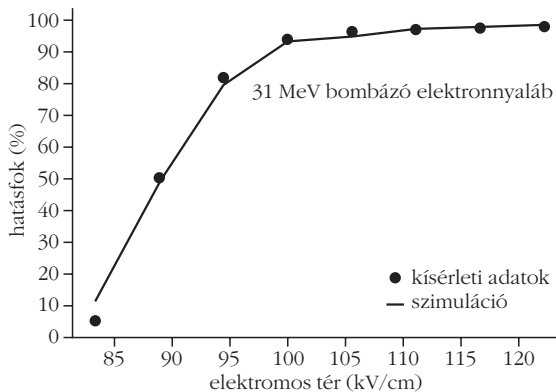


1. ábra. Rezisztívlak-kamra vázlatos rajza.

töltés a közelébe helyezett elektródán az indulásától kezdve áramot indukál. Ezen áram nagysága egyenesen arányos a töltés mértékével, sebességével és az úgynevezett súlypotenciállal, ami a töltés és az elektróda csatolását írja le, és kizárólag az elrendezés geometriájától függ. Felépítésük vázlatos rajza az 1. ábrán látható. Amikor egy töltött részecske áthalad a gáztértegeken – amelyek jellemzően fél milliméter vastagságúak –, elektron-ion párokat keltve ionizálja a gázt. A kamra külső oldalaira kapcsolt nagy feszültség hatására, az elszigetelt, elektromosan lebegő, rezisztív lapok (például üveg) rendkívül nagy, egyenes elektromos teret ($\approx 100 \text{ kV/cm}$) alakítanak ki a gáztértegekben, így az elektronok és az ionok ellentétes irányban indulnak a kiolvasó elektródák felé, áramot indukálva bennük. Az ionok sebessége nagyon kicsi, ezért hatásuk az elektronokéhoz képest elhanyagolható. Az elektronok útjuk során tovább ionizálják a gázt, amellyel elektronlavinákat keltenek. Az elektródán indukált teljes áram az egyes gáztértegekben haladó egyedi lavinák hatásának szuperpozíciójaként alakul ki. Az elektródák végére kötött erősítő és diszkriminátor szolgáltatja azt a jelet, amit egy adatfeldolgozó rendszer már képes fogadni. A rezisztívlak-kamrák nemcsak ilyen lavina-, hanem kisülési (streamer) módban is lehet alkalmazni, amikor a várt detektálandó részecskék időegységre eső száma kicsi. Ez a kisülési állapot akkor következik be, ha a lavina elér egy bizonyos méretet, amikor a gerjesztett gázatomok által legerjesztődéskor kibocsátott fotonok is részt vesznek az ionizációban.

Töltött részecskék detektálására ilyen kamrákat sok helyen alkalmaznak, például Nagy Hadronütköztető (LHC) három detektora (ATLAS, ALICE, CMS) is ilyenre észleli a müonokat. Kezdeti lépések történtek már alacsonyenergiás neutrondetektorként való felhasználásra is, de alkalmazhatóságukat eddig még senki sem vizsgálta nagyenergiás neutronokra.

Az általunk épített detektorokat – egyedi módon – úgy terveztük, hogy a rezisztívlak-kamra kiolvasó elektródáinak anyaga (rozsdamentes acél az anód, réz a katód) és vastagsága olyan legyen (4 mm), hogy a neutronok nagy valószínűséggel keltsenek bennük töltött részecskéket, amelyek a kamrában lévő gázt ionizálják. A gáztértegek számát (4) és vas-



2. ábra. Rezisztívlap-kamra hatásfoka az alkalmazott elektromos tér függvényében a szimuláció eredményével összevetve.

tagságát (0,3 mm) úgy választottuk meg, hogy a töltött részecskék detektálási valószínűsége közel legyen a 100 százalékhoz és a kamra időfeloldása a 100 ps-hoz. Ezt a gyakorlatban úgy oldottuk meg, hogy két kamrát építettünk egybe: a középen lévő kiolvasó anódok mindkét oldalára két-két gázréteg került. Mivel lavinamódban kívántuk a neutrondetektort üzemeltetni, nagyrészt nagy elektronegativitású (elektronmegkötési képesség) freont (85%) és SF₆-ot (10%) – amelybe kisebb mennyiségben (10%) nagy fotonelnyelési képességű izobutánt kevertünk – töltöttünk a kamrába. Rezisztív lapokként egyszerű, 1 mm vastag, úsztatott üveget, szigetelőként pedig poliészter Mylar-fóliát (0,1 mm) használtunk. A kiolvasó anódok vastagságát 25 mm-nek, míg az anódok közötti réseket 1,5 mm-nek választottuk a megfelelő helyzetérzékenység és az anódok közötti kicsi elektronikus áthallás érdekében. Mivel 2 méter hosszú (és 50 cm széles) rezisztívlap-kamra megépítése, amit a követelmények támasztanak, nem magától értetődő (ezzel eddig még nem is próbálkoztak), először kisebb, 40 cm hosszú és 20 cm széles prototípusokat gyártottunk, majd ezek hatásfokát és időfeloldását mértük elektron és neutron bombázó részecskék esetén. Ezután készítettük el a 2 méter hosszú detektort, amit szintén teszteltünk elektronokkal. A kísérletekkel párhuzamosan a GEANT4 programcsomaggal szimulációkat is végeztünk. Az ezekben alkalmazott paramétereket a szimuláció kimenete és a mérési eredmények összevetésével rögzítettük, majd ezen paraméterek felhasználásával a végső elképzelt detektorrendszert is szimuláltuk azért, hogy megállapítsuk, vajon képesek vagyunk elérni a kívánt további (hatásfokon és időfeloldáson túli) követelményeket.

Kísérleti eredmények

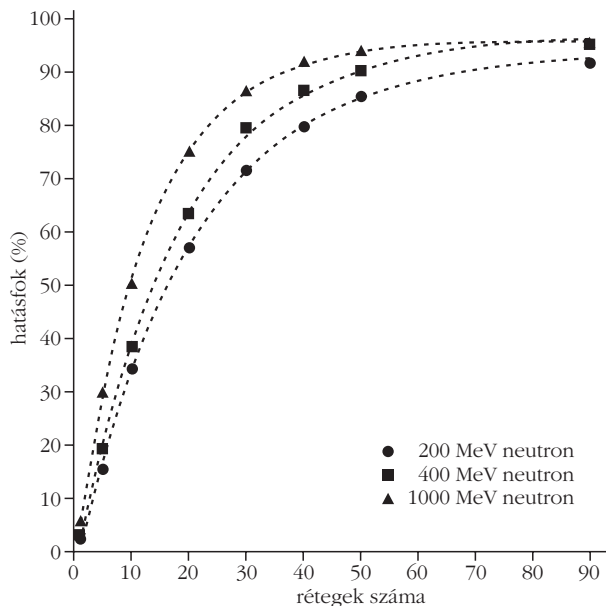
Az elektronnyalábos méréseket a németországi Drezdában végeztük, ahol a Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf kutatóintézetben rendelkezésre állt az ELBE elektrongyorsító, amelynek 31 MeV energiájú elektronjaival bombáztuk detektorainkat, és meghatároztuk hatásfokukat és időfeloldásukat. Az ELBE gyorsítót különleges módon üzemeltettük: a nyaláb-

1. táblázat

A 2 m hosszú rezisztívlap-kamra 31 MeV energiájú elektronok felhasználásával meghatározott kísérleti hatásfoka és időfeloldása

kiolvasó elektróda	nyalábhelyzet (mm)	hatásfok (%)	időfeloldás (ps)
11	283	93 (0,2)	91 (0,3)
16	283	93 (0,2)	94 (0,3)
4	283	92 (0,2)	94 (0,3)
4	566	95 (0,2)	83 (0,3)
4	766	95 (0,2)	77 (0,3)
4	960	95 (0,2)	84 (0,3)

csomagok maximum egy elektront tartalmaztak, így a nyalábbintenzitást könnyen változtathattuk. A hatásfok meghatározásához a rezisztívlap-kamrára eső elektronok számát egy elé és mögé helyezett, koincidienciába kötött, plasztik szcintillátorral számoltuk, ezt az értéket vetettük össze a kamrában mért jelek számával. Az időfeloldáshoz pedig a kamrából jövő időjelet a gyorsító igen pontos, rádiófrekvenciás jeléhez képest határoztuk meg. A kapott hatásfokértékeket a 2. ábrán láthatjuk az alkalmazott elektromos tér függvényében, összevetve a szimuláció eredményével (folytonos vonal). Kitűnő egyezést sikerült elérni a szimulációban alkalmazott három paraméter finomhangolásával, amelyek közül az első a jelfeldolgozó elektronikai egység küszöbértéke volt, amely felett az adatgyűjtő rendszer regisztrálta az eseményt. A gázon történő áthaladásuk során a töltött részecskék általában több elsődleges elektront is keltenek, amelyek mind egy-egy elektronlavinát idézhetnek elő, és ha elég közel vannak egymáshoz, akkor egy, közös lavinaként viselkednek. A távolságot két olyan elsődleges elektron között, amelyek közös lavinát alakítanak ki a második paraméter szabályozta. Ha a lavina elér egy bizonyos nagyságot, akkor módosítja az alkalmazott elektromos teret, ezzel saját sokszorozódását is. Ezt úgy vettük figyelembe, hogy a lavinaméret növekedését csak egy adott értékig (harmadik paraméter) engedjük. Az alkalmazott elektromos teret ezután azon az értéken rögzítettük, ahol a hatásfok már nem növekszik tovább, azaz a görbe telítési szakaszán, és megvizsgáltuk, hogyan változik a hatásfok és az időfeloldás, ha az elektronnyalábot különböző kiolvasó elektródára irányítjuk, illetve az elektróda más-más pontjait bombázzuk (1. táblázat). A hatásfok minden esetben meghaladja a 90%-ot, míg az időfeloldás a 100 ps-os kívánt határ alatt marad. További teszteknek vetettük alá a detektort a svédországi Uppsalában található gyorsítócentrumnál, ahol kvázi monoenergiás (175 MeV átlagos energiájú) neutronok felhasználásával határoztuk meg a hatásfokot, ami 1,0(0,2)%-nak adódott. Ez remek egyezést mutatott a szimulációból kapott értékkel, ami biztos alapot adott a teljes rendszer tulajdonságainak szimulációval történő jellemzésére.



3. ábra. A detektorrendszer hatásfoka neutronokra az egymás után helyezett rétegek számának függvényében.

A teljes detektorrendszer szimulációja

Egy nagy hatásfokú rendszert úgy építettünk fel a szimulációban az egyedi $2 \times 0,5 \text{ m}^2$ felületű egységekből, hogy rétegeket alakítottunk ki négy kamrából, így egy réteg felülete $2 \times 2 \text{ m}^2$ lett. Mivel egy-egy réteg hatásfoka kicsi neutronokra, ezért számukat egyre növeltük úgy, hogy egymás mögé helyeztük őket. A 3. ábrán láthatjuk, hogy a rétegek számával miként nő a detektorrendszer teljes hatásfoka. A megkövetelt 90%-os értéket 400 MeV-es neutronokra 50 rétegnél érjük el, ami körülbelül 1,2 méter mélységű, meglehetősen robusztus elrendezést jelent. A rendszer további jellemzőit ekkora mérettel szimuláltuk, azonban mielőtt ezekre rátérnénk tisztáznunk kell az úgynevezett invariánstömeg-spektroszkópia fogalmát.

Az atommagok gerjesztett állapotainak energiája és azok közötti átmenetek vizsgálata alapvető jelentőségű az atommagszerkezet tanulmányozása során. Az invariánstömeg-spektroszkópia segítségével a nem kötött, gerjesztett állapotokat tárhatjuk fel. Ilyenkor a vizsgálni kívánt atommagot ütköztetjük egy megfelelően megválasztott céltárggyal, ami gerjesztett állapotot hoz létre, amelyből az atommag részecskéket és sugárzást kibocsátva elbomlik. Az invariáns tömeget a részecskék egy rendszerére (természetes egységek használatával, azaz fénysebesség $= 1$ feltétellel) a következőképpen adhatjuk meg:

$$M_{inv} = \sqrt{\sum_i E_i^2 - \sum_i P_{xi}^2 - \sum_i P_{yi}^2 - \sum_i P_{zi}^2}, \quad (1)$$

ahol E_i , P_{xi} , P_{yi} , P_{zi} a rendszert alkotó részecskék teljes energiája és lendületvektorának komponensei. A bomlás előtt és után – ahogy neve is mutatja – az in-

variáns tömeg ugyanannyi, azaz bomlás előtt a képlet egyszerűsödik:

$$M_{inv} = M_b + E^*, \quad (2)$$

ahol M_b a céltárgyba ütköző atommag tömege és E^* a gerjesztési energia. A bomlás utáni invariáns tömeget a kibocsátott részecskékre és sugárzásra kell összegezni. A gerjesztési energiát tehát a bomlás utáni invariáns tömeg és a bombázó atommag tömegének különbsége adja. Összpontosítsunk most egy neutronra, mint kibocsátott részecskére! Ha mérjük a becsapódási helyét (x, y, z) a detektorban és a repülési idejét (t) , akkor az alábbi egyszerű, relativisztikus kinematikai képletek segítségével megadható a részecske lendületvektora és teljes energiája:

$$v = \frac{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}{t}, \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}, \quad (3)$$

$$E = \gamma M_n, \quad P = \sqrt{E^2 - M_n^2}, \quad (4)$$

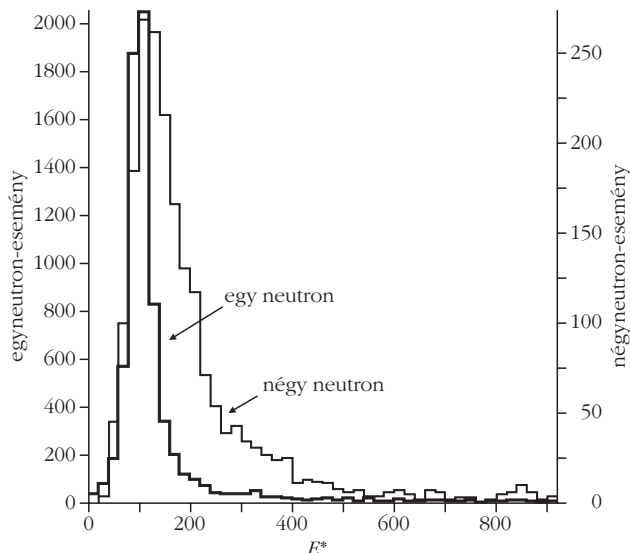
$$P_{x(y,z)} = P \frac{x(y,z)}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}, \quad (5)$$

ahol v a neutron sebessége, γ a Lorentz-faktor, c a fénysebesség és M_n a neutron nyugalmi tömege. Ebből következik, hogy a detektorrendszer időfeloldása és helyzetérzékenysége meghatározza az energiafeloldást a gerjesztésienergia-spektrumban. Azonban a neutron repülési idejének és becsapódási helyének meghatározása az alábbi okok miatt rendkívül nehéz.

1. A neutronok általában többször szóródnak egy nagy detektorrendszerben, ami megváltoztatja repülési irányukat. Ha az első szóródáskor keletkező másodlagos részecskét nem sikerül találatként azonosítani, például az elektronikai küszöbérték miatt, akkor helytelen lesz a lendületmeghatározás.

2. A neutronok a detektorrendszerben megtett útjuk során több másodlagos részecskét keltenek, amelyeket találatként azonosíthatunk, ami azt jelenti, hogy egy neutron becsapódására a detektorrendszer találati válasza általában sokszoros és ezek a találatok igen közel lehetnek egymáshoz. Ha nem a megfelelő találat felhasználásával rekonstruáljuk a lendületvektort, akkor hamis gerjesztésienergia-értéket kapunk.

3. Amennyiben a magreakcióból csak egy neutront várunk, akkor általában a legjobb megoldás, ha az időben első találat felhasználásával állítjuk helyre a lendületvektort, azonban sok esetben több neutron kibocsátásával kell számolnunk, amelyek mind több találatot adnak a detektorrendszerben. Az egyes neutronokhoz tartozó megfelelő találatok hozzárendelésére algoritmusokat kell felállítani. Anélkül, hogy a részletekbe bocsátkoznánk annyit érdemes elmondani, hogy az általunk kidolgozott ilyen kiválasztási eljárás a találatok



4. ábra. Rekonstruált gerjesztésienergia-spektrumok 100 keV-es idealisztikus bemenő gerjesztési energia, illetve egy (bal tengely) és négy (jobb tengely) kibocsátott neutron esetén.

térbeli csoportosítását, egymás közötti kauzalitásvizsgálatát és a hozzájuk rendelt virtuális részecskék látszólagos sebességének a bejövő atommag sebességéhez történő összehasonlítását foglalja magába.

A detektorrendszer válaszát a szimulációban úgy teszteltük, hogy egy 600 MeV/nukleon energiával rendelkező ^{132}Sn bombázó atommag egy nagy tömegű céltárgy-atommag (^{208}Pb) Coulomb-terében történő felbomlását modelleztük, amelyben egy $^{132}\text{-}n\text{Sn}$ atommag és n darab neutron keletkezik. Egy bemenő adatállományt készítettünk, amelyben a különböző Sn atommagok és n darab neutron lendületvektora szerepelt a fenti magreakciót leíró relativisztikus kinematika szerint. A bemenő gerjesztési energiát idealisztikusnak, azaz feloldás nélkülinek vettük. A detektor által szolgáltatott gerjesztési energiát úgy rekonstruáltuk, hogy az Sn atommagok lendületvektorát közvetlenül a bemenő adatállományból vettük, míg a neutronokét a találatok becsapódási helyéből és a repülési időből állítottuk helyre. A becsapódási hely két komponensét a találatot szolgáltató detektor száma és kiolvasó elektróda száma adta, amelyek helyzetét egy igazi kísérletben is ismerjük. A harmadik komponens

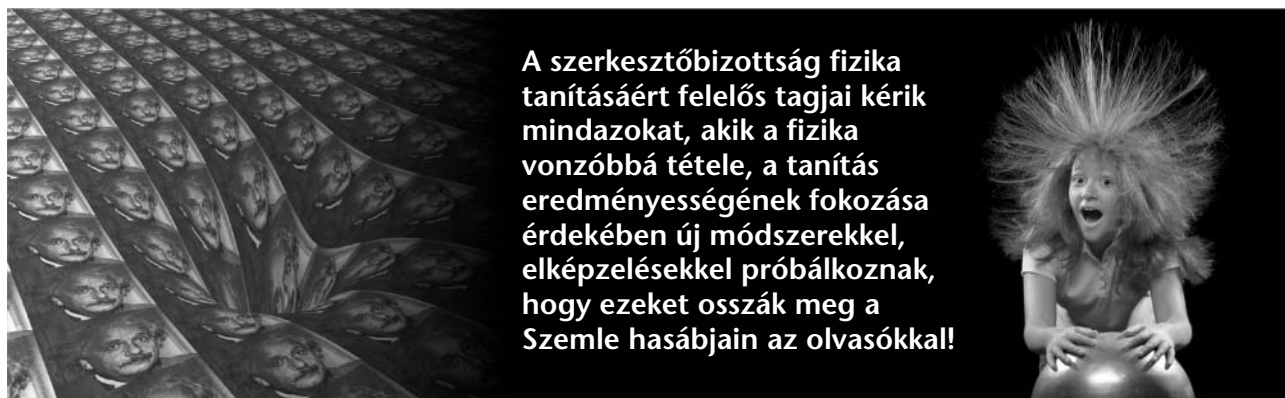
pedig a kiolvasó elektróda két végén mért detektálási idők különbségéből számoltuk ki a jelterjedés sebességét ismerve, ahogyan azt a kísérletek analízise során is tesszük. Az eredményül kapott gerjesztésienergia-spektrumokat láthatjuk a 4. ábrán 100 keV-es idealisztikus bemenő gerjesztési energia, illetve egy és négy kibocsátott neutron esetén. A csúcsok feloldása rendre $\sigma_E = 19$ keV és 77 keV egy és négy neutronra. A négy neutronos eseményeknél nagyobb energiák felé látható kiterjedés a tökéletesen találat-hozzárendelés eredménye. Nagyobb bemenő gerjesztési energiák esetén a helyzet jobb, mert a kirepülő neutronok nagyobb szöglet zárnak be egymással, így a detektorban a találatok nem olyan közel jelentkeznek.

Összefoglalás

Sikeresen megépítettük a jelenlegi legnagyobb rezisztívlap-kamrát, amelynek időfeloldása kitűnő, 100 ps alatti. Méréseink bizonyítják, hogy tökéletesen alkalmazható neutrondetektorként. Az egyedi elemekből nagy detektorrendszer építhető, amelynek a teljes gyorsneutron-detektálási határfoka igen magas is lehet ($\geq 90\%$). Szimulációink azt mutatják, hogy olyan magreakciókban, amelyek egy neutron kibocsátásával járnak, a gerjesztési energia remek energiafeloldással állítható helyre. Amikor több neutron detektálásával kell a gerjesztési energiát rekonstruálni az energiafeloldás rosszabb, de még elfogadható választ ad a detektorrendszer ahhoz, hogy hasznos következtetéseket tehesünk a vizsgált magreakciókat és atommagokat illetően. Ez azt jelenti, hogy a rezisztívlap-kamrák versenytársai lehetnek a plasztik szcintillátoroknak, amelyek manapság a leginkább használatos gyorsneutron-detektorok.

Irodalom

1. Elekes Z.: Mágikus számok, nemes atommagok. *Fizikai Szemle* 58/3 (2008) 98.
2. Lovas R.: Gloria in excelsis. *Fizikai Szemle* 54/9 (2004) 289.
3. Dombrádi Zs.: A héjszerkezet átrendeződése egzotikus atommagokban. *Fizikai Szemle* 57/7 (2007) 221.
4. Gyürky Gy.: Az asztrofizikai p-folyamat. *Fizikai Szemle* 60/2 (2010) 37.
5. <http://www.atomki.hu/fair.hu>
6. <http://www.gsi.de/work/forschung/nustarena/kernreaktionen/activities/r3b.htm>



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

Örömmel teszek eleget *Horváth Dezső* felkérésének, hogy a CERN-nel (Centre Européen pour la Recherche Nucléaire, Európai Nukleáris Kutatási Szervezet) kapcsolatos visszaemlékezéseimből néhányat leírjak, hiszen tudományos tevékenységem túlnyomóan ehhez a nagyszerű intézethez kötődött.

CP-sértés

1966-ban az a szerencse ért, hogy Dubnából fél évre kiküldtek a CERN-be. A kutatási téma a CP-sértés részletes tanulmányozása volt. A kombinált tér- és töltéstükrözési (CP) szimmetria megsérülését 1964-ben fedezték fel kimutatván, hogy nemcsak a rövid életű (K_s), hanem a hosszú élettartammal rendelkező (K_L) részecske is elbomlik a pozitív CP-állapotú $\pi^+\pi^-$ végállapotba. Külön rejtély volt, hogy a szimmetria csak igen csekély mértékben sérült meg, egyesek egy új, szupergyenge kölcsönhatás nyomát vélték megtalálni benne. Kísérleti szempontból a soron következő kérdés az volt, vajon a K_L részecske elbomlik-e két *semleges* pionra is.

A $K_L \rightarrow \pi^0\pi^0$ kimutatására a CERN-ben egy egészen különleges buborékkamra épült. A K_L nyalábot hosszú vákuumcsőben vezették el a kamráig, sőt a kamrán belül is, mert ha bomlása előtt anyaggal találkozik, átalakul K_S -sé, ami természetesen CP-sértés nélkül is elbomlik két pionra. Minthogy a semleges pionok keletkezésük után igen gyorsan két fotonra bomlanak, a $K_L \rightarrow \pi^0\pi^0$ bomlást a kamrában négy foton keletkezése jelezte. Igen ám, de a K_L CP-sértés nélkül több ezerszer nagyobb valószínűséggel elbomlik három semleges pionra, ami hat foton eredményez. Tehát nagyon fontos volt meggyőződni arról, hogy minden foton detektál a kamra. E célból a kamrán áthaladó vákuumcső alatt, a kamra alján a dugattyúra egy tükröt helyeztek el, amelyben látni lehetett, ha egy foton a vákuumcső hátsó feléről indult, amit a fényképező kamerákkal nem lehetett volna közvetlenül észlelni. Emellett természetesen pontosan meg kellett határozni a detektált fotonok össztömegét, ami a semleges kaon tömegével kellett megegyezzen.

Miután sikerült kimutatni a $K_L \rightarrow \pi^0\pi^0$ bomlást [1], a következő kérdés az volt, vajon a $K_L \rightarrow 2\pi$ átmenet annak a következménye-e, hogy a K_L két különböző CP-paritású állapot keveréke, vagy a semleges K mezonok bomlása közvetlenül is sérti a CP-szimmetriát. A válasz közelebb vitt volna a szimmetriasértés eredetéhez. Ehhez szükséges volt összehasonlítani a $K_L \rightarrow 2\pi$ és $K_S \rightarrow 2\pi$ bomlási amplitúdók arányát a töltött, illetve semleges pionok esetében. Ha a két arány azonos, úgy a CP-szimmetria nem sérül meg közvetlenül. Ami a $K_S \rightarrow \pi^0\pi^0$ bomlást illeti, ennek valószínűsége akkoriban nem volt eléggé pontosan ismert, ezért ennek meghatározását Budapesten megismételtük.

André Lagarrigue,¹ az Orsay-i Lineáris Gyorsító Laboratórium igazgatója kölcsönözte nekünk a felvételeket, akinek vendégszeretetét élveztem azután, hogy dubnai kiküldetésem letelt. A felvételeket egy hagyományos, kisméretű buborékkamrával vették fel jóval korábban, és teljesen más célból. Ebben az esetben a detektor és az adatok kiértékelése is sokkal egyszerűbb volt, mert a kaonok a buborékkamrában keletkeztek és ezért ott a hosszú életű komponens megjelenésének valószínűsége elhanyagolható volt. Pusztán „csak” le kellett számolni azon eseményeket, ahol négy foton a kamra egy pontjából indult ki. Eredményünk akkoriban a legpontosabbak egyike volt [2]. Ennek ellenére a fent említett kérdés megválaszolására több mint 30 évig kellett várni, mert – mint utóbb kiderült – a két arány rendkívül közel van egymáshoz, ezért különbözőségük kimutatása kivételesen nagy pontosságot igényelt. Végül is e század elején két egymástól független kísérletben, előbb a Fermilabban, majd a CERN-ben minden kétséget kizáróan kimutatták, hogy a CP-szimmetria a semleges kaonok bomlásában közvetlenül is megsérül. Ezzel végérvényesen az is eldőlt, hogy a szimmetria megsérülése nem lehet kizárólagosan egy új, szupergyenge kölcsönhatás következménye.

Az ISR

A 70-es évek elején a CERN egy unikális gyorsítót épített, az Intersecting Storage Ringset (ISR), ahol két nagy energiájú protonnyaláb egymással szembe ütközött. Ez a módszer az ütközések hasznos energiáját, ami új részecskék keletkezésére fordíthatott, a hagyományos módszerhez képest, ahol a felgyorsított részecskenyaláb álló céltárgynak ütközik, egy igen jelentős faktoralal álló céltárgynak ütközik, az ISR felfedezése az volt, hogy a proton-proton ütközések teljes hatáskeresztmetszete az energia függvényében monoton növekedést mutat, az akkortájt népszerű elmélettel ellentétben, amely egy állandó, aszimptotikus értéket jósolt. 1973 és 1975 között, mint vendégkutató újra a CERN-ben dolgoztam, és választásom az ISR-re esett. Az aktuális kérdés ebben az időben a rugalmas proton-proton szórás hatáskeresztmetszetének energiafüggése volt. Erre a célra az egyik ütközési pont körül egy különleges spektrométert építettek. A mágneses teret úgy alakították ki, hogy az ne zavarja sem a bejövő, sem a távozó protonnyalábokat, viszont jó felbontást nyújtson az ütközésben keletkező minden kis szögben szóródó részecske impulzusának mérésére. Ezt a protonnyalábok síkjára merőleges két

¹ André Lagarrigue-nak később meghatározó szerepe volt a semleges gyenge áram kimutatásában. Korai halála miatt ezt a nagy felfedezést nem tudták Nobel-díjjal jutalmazni.

egymástól független és ellentétes irányú mágneses tér kialakításával lehetett elérni. Innen származik a berendezés neve: SFM, azaz Split Field Magnet (osztott terű mágneses tér). A spektrométer detektora a *George Charpak* által kifejlesztett, és később Nobel-díjjal jutalmazott sokszálas proporcionális kamrákból állt, amit maga Charpak és csoportja épített. A detektor valóban nagyszerű felbontást nyújtott a viszonylag kis merőleges impulzussal rendelkező, rugalmasan szóródott protonok detektálására és ezek hatáskeresztmetszetét sikerült is nagy pontossággal, közel 11 nagyságrendet átfogó tartományban meghatároznunk [3]. Eredményünket ma is idézik, mert elsőként mutatott rá a hatáskeresztmetszetben mutatkozó diffrakciós minimum és második diffrakciós maximum energiatünetére, amiből fontos információ nyerhető a proton belső szerkezetére. Ekkor már ismert volt, hogy a protonokat kvarkok alkotják. Ezért azt vártuk, hogy itt is, mint az összetettebb atommagok rugalmas szórásában, több diffrakciós minimum és maximum követi majd egymást. Nem ez történt. Sem mi, sem ezután senki más nem mutatott ki egynél több minimumot és kettőnél több maximumot a nukleonok szórásában. Valószínűleg a kvarkok bezárásával van mindez összefüggésben, de a jelenséget a kvantum-szindinamika szám szerint ma még nem tudja leírni.

Az ISR beindulásakor egyébként nem törekedtek olyan berendezést építeni, ami jó hatásokkal detektált volna nagy merőleges impulzussal rendelkező töltött részecskéket is. Úgy gondolták, hogy ilyen részecskék még a leptonok mélyen rugalmatlan szóródásában is csak nagy ritkán fordulnak elő, és nem érdemes velük foglalkozni. Ez a felfogás 1974-ben gyökeresen megváltozott az „új fizika” felfedezésével.

Az „új fizika”

Jean Iliopoulos, az úgynevezett Glashow–Iliopoulos–Maiani (GIM) mechanizmus társfelfedezője fogadás-ként egy egész láda nemes bort ajánlott fel 1974 júliusában a londoni Rochester-konferencián tartott előadásában arra az esetre, hogyha egy negyedik kvarkot, amelyet charm kvarknak neveztek, a következő Rochester-konferenciáig, tehát legkésőbb két éven belül, nem találnának meg. *Willibald Jentschke*, a CERN akkori főigazgatója ezt olyan komolyan vette, hogy a konferenciát követően elrendelt egy ötletdelutánt (brain stormingot), amelyen a legjobb kísérleti fizikusoknak el kellett mondani, hogyan képzelik el a charm kvark kimutatását a CERN-ben. Nem emlékszem, hogy bárki is mondott volna ott valami egészen újat a londoni konferencián már előadott lehetőségekhez képest, bár igen szép föliákon igyekeztek ezeket újra bemutatni. Mindaddig, amíg hozzászólásként egy halk szavú ember ki nem ment a táblához. Látszott rajta, hogy amit mond, ott találta ki. Körülbelül azt mondta, hogy ha szerencsénk lesz, akkor a charm kvarkot nem lehet majd megtalálni. Arra hivatkozott, hogy a jól ismert ϕ részecske egy strange (magyarra fordítva ritka)

és egy anti-strange ($s\bar{s}$) kvarkpár kötött állapota, és valami különös oknál fogva csak ritka mezon párra tud bomlani, vagyis olyanra, ahol mindkét mezon tartalmazza az s kvarkot. A legkisebb tömegű ritka mezon a töltött K mezon, és mivel két K mezon össztömege csak alig valamivel kevesebb, mint a ϕ mezon tömege, a rendelkezésre álló kis fázistér miatt a bomlás igen lassú, következésképpen a ϕ természetes szélessége nagyon kicsi és így kiemelkedik a háttérből. Mindezt a charm kvarkra lefordítva, amennyiben létezik olyan mezon, amely charm-anticharm kvarkpár kötött állapota, és amelynek tömege összemérhető, vagy esetleg még kisebb is mint a legkönnyebb és egyetlen charm kvarkot tartalmazó részecske tömegének kétszerese, úgy találnunk kell majd egy nagyon kis szélességű rezonanciát, amely a háttérből úgy kiemelkedik, hogy egyszerűen nem lehet eltéveszteni. Emlékeztetem szerint, a halkszavú fizikus *Nicola Cabibbo* volt. Visszatekintve, ez a hozzászólás az egyik legdrámaibb esemény volt, amelynek egész pályafutásom során tanúja lehettem. Elsősorban azért, mert ott a teremben senkinek sem volt fogalma arról, hogy ezt a részecskét már néhány hete, augusztus végén felfedezték: proton-proton ütközésben 3,1 GeV tömeggel egy rendkívül éles, e^+e^- párra bomló rezonanciát észleltek, gyakorlatilag minden háttér nélkül, amelynek szélessége jóval kisebb volt a berendezés amúgy kitűnő felbontásánál. Másrészt pedig azért, mert akik ezt a mezont felfedezték, *Samuel Ting* és csoportja Brookhavenben sem tudták még akkor, hogy a charm kvarkot találták meg. Ting, aki rendkívül óvatos ember, meg akart bizonyosodni arról, hogy amit találtak, nem egy triviális kísérleti hiba következménye. Valószínűnek tartom azonban, hogyha tudott volna Cabibbo elképzeléséről, még a nyár végén publikálja a felfedezést és nem foglalkozott volna azzal, hogy a rezonanciacsúcs létezését különböző és igen részletes ellenőrzésnek vesse alá. Eközben Stanfordban is észlelték a rezonanciát, mert a SPEAR tárológyűrűn kimutatták, hogy az e^+e^- ütközés hatáskeresztmetszete pontosan a 3,1 GeV energia egészen kis környezetében hirtelen felugrik majd visszaesik. A felfedezést egyidőben jelentették be novemberben, az új részecskét Ting J -nek keresztelte el, míg a stanfordi csoport vezetője, *Burton Richter*, a Ψ nevet adta neki. A bejelentésnek olyan hatása volt, hogy az eseményt „novemberi forradalomnak” nevezik még ma is és Ting, valamint Richter már 1976-ban Nobel-díjban részesült. A felfedezés azért volt forradalmi, mert a charm kvark tette teljessé az elemi részecskék új, két lepton- és kvarkcsaládra épült elméletét, ami a Standard Modell első változata lett, és amit lényegében Iliopoulos a londoni konferencián megelőlegezett. A nagy transzverzális impulzussal rendelkező leptonok, elektronok és müonok, bár igen ritkán keletkeznek, ennek az „új fizikának” lettek a hírnökei.

Mondanom sem kell, hogy napokon belül mi is új kísérletet kezdtünk az ISR-en. Az SFM spektrométer egyik karjában ólomtéglákat helyeztünk el, hogy az ütközésnél kilépő müonokat azonosítsuk. Ezután az ellenkező töltésű müonpárok tömegeloszlását vizsgál-

tuk, az azonos töltésű párok segítségével pedig a háttér határoztuk meg. És valóban, 3,1 GeV tömegnél mi is megtaláltuk a rezonanciacsúcsot [4], bár nem olyan éleset, mint amit Brookhavenben észleltek először, ugyanis az ólomban a müonok sokszoros elektromágneses szórás szenvednek. Ha nem alkalmaztunk volna ólomtéglaakat, a csúcs sokkal markánsabban jelent volna meg, mert a háttér ilyen nagy merőleges impulzusnál igen csekély, azonban nem tudtuk volna bizonyítani, hogy a rezonancia leptonpárra bomlik. Eredményünk biztosan csalódást okozott Jentschkének, mert bebizonyosodott, hogy az „új fizikát” a CERN-ben, az ISR-en már sokkal előbb fel lehetett volna fedezni, ha a berendezéseket nem a kis merőleges impulzusú részecskék detektálására optimalizálták volna. Ezután természetesen mindenki lázasan a nagy merőleges impulzusú részecskék kutatására tért rá. Emlékszem, hogy a CERN kiváló mérnökei hamarosan egy tervet is benyújtottak abból a célból, hogy az SFM spektrométert 90°-kal elfordítsák. Szerencsére – még mielőtt megvalósították volna – mások rájöttek, hogy sokkal jobb módszer, ha az ütköző nyalábokkal párhuzamos, vagy azokat körbeölelő mágneses teret hoznak létre. Ezeket alkalmazzák ma is.

A Higgs nyomában

A CERN történetében az egyik legkiemelkedőbb esemény a gyenge kölcsönhatás W és Z közvetítő bozonjainak a kimutatása volt. A két fizikus, akiknek ez elsősorban köszönhető, *Carlo Rubbia* és *Simon van der Meer*; már egy éven belül megkapta a Nobel-díjat. A fermioncsaládokra épülő Standard Modell így szilárd alapokat nyert. Csak két részecske kimutatása maradt hátra, a harmadik család felső tagja, a top kvark (t), valamint a Higgs-bozon, amely a részecskék tömegeinek generálásában játszik fontos szerepet. Kimutatásuk volt tehát a soron következő feladat, no meg annak a kérdésnek a megválaszolása, hogy hány részecskecsalád létezik. E célból a CERN-ben felépítették és 1988-ban sikeresen üzembe is helyezték a LEP (Large Electron Positron) elektron-positron tároló gyűrűt, amely első lépésben a Z bozon részletes tanulmányozására szolgált. Energiáját néhány év múlva megduplázták a W bozonok fizikájának felderítésére. A Samuel Ting által vezetett L3 együttműködésben már a kísérlet előkészítésétől kezdve részt vettünk önálló magyar kutató csoportként. Megjegyzem, hogy a kísérlet még az előtt indult el, hogy Magyarország a CERN tagállamává vált volna, ezért munkánk a maihoz képest kevésbé kedvező körülmények között folyt. Ami a részecskecsaládok számát illeti, erre a kérdésre alig néhány héten belül választ tudtunk adni: a LEP energiatartományában ez a szám három. Azóta az energiatartományt sokszorosára növelték, de ez a szám nem változott. A top kvark létezésére azonban a LEP csak közvetve tudott válaszolni: a top kvark tömege valószínűleg 160 és 190 GeV között lehet, amely olyan nagy, hogy lehetetlen kimutat-

ni a LEP-en, ahol csak párban keletkezhetnek. A top kvarkot végül is 1995-ben a Fermilab proton-antiproton tároló gyűrűjén, a Tevatronon mutatták ki. A LEP-en a Higgs-részecskét sem sikerült megtalálni, bár nagyon közel jártunk hozzá. Közvetett módon a LEP-mérések arra utaltak, hogy tömege valószínűleg 150 GeV alatt van, de a LEP maximális energiája mellett is csak alsó tömeghatárt lehetett megállapítani, amire 114,5 GeV adódott.

A CERN ahelyett, hogy megpróbálta volna a LEP energiáját tovább növelni, amelyet nagy mértékben korlátozott az elektronok szinkrotronsugárzása, azt javasolta, hogy egy proton-proton ütköztetőt helyezzenek el a LEP alagútjába. A tervezett 14 TeV ütközési energia elegendőnek bizonyult a Higgs-részecske kimutatására vagy kizárására egészen 1 TeV tömegig. Az LHC-nak (Large Hadron Collider) nevezett tároló gyűrű igazolásaként az úgynevezett „no-loose theorem”-mel érveltek, vagyis az LHC-val nem lehet veszíteni, mert vagy megtalálják a Higgs-bozont vagy ha nem, akkor egészen biztosan fognak találni olyan kísérleti bizonyítékokat, amely szerint a Standard Modell nem helyes. Főként ez utóbbi eshetőség tűnt vonzónak, mert bár a Standard Modell eddig egyetlen kísérleti megfigyeléssel sem került ellentmondásba, elméleti szempontból mégsem alkalmas az anyag szerkezetének egységes és végleges leírására. Több éven keresztül magam is résztvettem az LHC-ra tervezett különböző detektortípusok, úgynevezett kaloriméterek kutató-fejlesztésében, majd az ATLAS együttműködésben azok építésében, illetve a szükséges rekonstrukciós programok optimalizációjában. Ezek között kiemelt fontosságot kapott az úgynevezett pre-shower detektor megtervezése, amely jelentős szerepet játszik a Higgs-bozon két fotonra történő bomlásának detektálásánál. Az LHC felépítése és üzembe állítása azonban csaknem húsz évet vett igénybe. A fő gond az volt, hogy eredetileg tíz évnél rövidebb időre tervezték felépítését, és a határidők állandó kitolódása, amelynek főként anyagi okai voltak, nagyfokú bizonytalansági érzést táplált az egész programmal kapcsolatban. Így sokan, elsősorban a magamfajta idősebb kutatók, a Tevatronhoz pártoltak, ahol a Higgs-bozon megtalálásának ugyan kisebb, bár számottevő valószínűsége volt, de ami már 2002-ben 2 TeV energiára feljavítva újra elindult. Valóban, 2011-ig a Higgs-kutatásokat a Tevatron dominálta. A Higgs-bozon kimutatása végül is valószínűleg az LHC-nek sikerült. 2012. július 4-én az LHC-n működő két kísérlet, az ATLAS és a CMS bejelentette, hogy 125 GeV körüli tömeggel egy olyan rezonanciacsúcsot észleltek, ahol ötszörös hibahatárral kizárható, hogy ez véletlen fluktuáció lenne. Minden elismerésem az LHC sikerében osztozó magyar kollégáimnak! A Tevatront időközben, anyagi nehézségekre hivatkozva leállították. Nekünk, akik ott dolgoztunk, az az elégtételünk azonban megmaradt, hogy az LHC eredményét más szemszögből alátámasszuk. Ezzel egyidőben ugyanis mi is találtunk a várt háttér felett egy 125 GeV tömegű részecskével magyarázható eseménytöbble-



1. *ábra.* Carlo Rubbiával, Telbisz Ferencsel (háttal) és Király Péterrel (részben takarva) a CERN megalakulásának 50-ik évfordulójára rendezett megemlékezés megnyitása előtt. Carlo tréfásan megjegyezte, hogy szeretett volna fiatalokkal is találkozni, de megnyugtattuk, hogy a fiatalok azért nincsenek itt, mert dolgozva ünnepelnek. (N. Balogh Anikó felvétele.)

tet, bár csak háromszoros hibahatárral, viszont egy úgynevezett bottom és anti-bottom ($b\bar{b}$) kvarkpárt tartalmazó végállapotban, amely valószínűsíti, hogy az LHC-n kimutatott részecske valóban a csaknem 50 éve megjósolt Higgs-bozon lehet [5].

Együttműködés a CERN-nel

A CERN-ben végzett kutatásaimat számos esetben igyekeztem egy hazai kutató csoport segítségével Budapesten, a KFKI-ban folytatni. Ehhez a CERN társlaboratóriumai révén mindig minden segítséget megadott. A K_S analízist valamint az L3 együttműködést fent már röviden említettem. Az ISR-en folytatott kísérletek révén szoros kapcsolatba kerültem a *Marcel Vivargent* által megalapított Annecy-i részecskefizikai laboratóriummal (LAPP), amely lehetővé tette, hogy egy magyar csoport részt vehessen a LAPP-hoz kapcsolódva a müonok mélyen rugalmatlan szórásának vizsgálatára létrehozott Európai Müon Együttműködésben. Minderről a *Fizikai Szemle* hasábjain már részletesen beszámoltunk [6]. Az a megtiszteltetés ért, hogy erről előadást is tarthattam a Magyar Tudományos Akadémia emlékülésén, amelyet a CERN fennállásának 50-ik évfordulójának alkalmából rendeztek (1. *ábra*). A továbbiakban csak néhány fontos és általános mozzanatot emelnék ki. A CERN minden kutatási témáját neves szakértőkből álló bizottságokkal engedélyezteteti, tehát egy ilyen együttműködésben való részvétel eleve biztosította a téma magas tudományos színvonalát. Másrészt az együttműködésben résztvevő nagy létszámú tudós-gárda és közöttük több világhírű kutató jelenléte hatalmas lehetőséget nyújt elsősorban fiatal pályakezdő kollégáknak, hogy egyéni teljesítményük megfelelő nyilvánosságot kapjon. Ma például az LHC bármelyik kísérletének össztalálkozóján annyi kutató vesz részt, hogy annak plenáris ülésén fellépni legalább olyan kitüntető szerep, mint egy na-

gyobb konferencián tartott előadás. Ezek az előnyök nagy mértékben ellensúlyozták a rendszerváltás előtt fennálló részben politikai, részben pénzügyi (valutáris) nehézségeket. Minthogy 1992-től Magyarország a CERN teljes jogú tagállama, ma már a fenti nehézségek is eltűntek.

A CERN fennállásának kezdetétől fogva vallotta és számos példával alátámasztotta, hogy a tudományban politikai hovatartozástól függetlenül is együtt lehet működni, mert a tudományban a nyelv közös. Erre az egyik legjobb példa, hogy a CERN bábáskodásával és annak mintájára alapították meg 2004-ben a „Synchrotron-light for Experimental Science and Applications in the Middle East” (SESAME) kutató központot Jordániában, amelynek tagállamai között egyaránt megtalálható Izrael és Irán. Az intézmény a mai napig élvezzi a CERN támogatását. Irányítója a CERN Councilhoz hasonlóan a SESAME Council, amelynek első és alapító elnöke *Herwig Schopper*, a CERN egyik korábbi főigazgatója volt. Jelenleg *Christopher Llewellyn Smith*, a CERN egy másik volt főigazgatója tölti be ezt a tiszteletet (2. *ábra*). A SESAME laboratórium szinkrotronja 2015-ben kezdi el működését. A társországok kutatói és egyetemi hallgatói közösen fogják használni és a kapott adatokat, akár csak a CERN esetében, a tagállamok intézeteiben és azok szoros együttműködésével fogják feldolgozni. A CERN ezzel nagyszerű példát mutatott arra, hogyan lehet békés együttműködést kialakítani a világnak még ebben a súlyos politikai problémákkal terhelt részében is. A CERN remélhetőleg még sok éven át ad kimagasló tudományos felfedezéseket az emberiségnek, és segíti elő az emberek közötti megértést és együttműködést.

Irodalom

1. I. A. Budagov és mtársai, *Phys. Rev. D2* (1970) 815.
2. E. Nagy, F. Telbisz, G. Vesztergombi, *Nucl. Phys. B47* (1972) 94.
3. E. Nagy és mtársai, *Nucl. Phys. B150* (1979) 221.
4. E. Nagy és mtársai, *Physics Letters 60B* (1975) 96.
5. T. Aaltonen és mtársai, *Phys. Rev. Lett. 109* (2012) 071804.
6. Nagy Elemér, Tóth József, Urbán László: Magyar részvétel az Európai Müon- és az L3-együttműködésben. *Fizikai Szemle 53/10* (2003) 352.

2. *ábra.* Herwig Schopper, a SESAME Council első és alapító elnöke (középen), Christopher Llewellyn Smith, a jelenlegi elnök (bal oldalt) és Rolf Heuer, a CERN jelenlegi főigazgatója, aki a 2012. évi SESAME Council házigazdája volt a CERN-ben. (CERN archívum.)



ESSZÉ A MÉRÉSEKRŐL, AMELYEK A PLANCK-TÖRVÉNY FELFEDEZÉSÉHEZ VEZETTEK – 2. RÉSZ

Varga Péter
KFKI

Az első kísérletek

Tanulmányunk előző részében megismertük a mérések célját és a rendelkezésre álló apparátust, most ismerjük meg felhasználójának eredményeit!

Paschen nevét, mint jelzőt a fizika többször is használja: a *Paschen-sorozat* a hidrogénspektrum $n = 3$ főkvantumszámmal, mint alsó állapottal jellemzett része, a *Paschen-Back-effektus* nagy mágneses térnél a Zeeman-felhasadásban jelenik meg. A hőmérsékleti sugárzásra vonatkozó első méréseit¹ egyszerű, izzó fekete színű csíkkal, mint fényforrással kezdte [5, 6]. Első fényforrása platinaszalagra felvitt vasoxid (Fe_2O_3) volt, és az *izotermák* módszerével mért. Gondoskodott arról, hogy a vasoxid-réteg elég vastag legyen, tehát *Wien* és *Lummer* aggálya nem merült fel. A spektrális tartomány, amelyben mértek, 2 és 8 μm között változott. A munka alaposságára jellemző, hogy a szerző 37 oldalas cikkében 9 táblázatban, amelyek összesen mintegy 7 oldalt tesznek ki, szinte laboratóriumi jegyzőkönyvszerű részletességgel ismerteti a mérések eredményét, továbbá 4 különálló ábrán az eredmények kiértékelését.

Az első cél a mérések és a termodinamika (4) és (5) törvényeinek összevetése volt. Már ez is (részben) sikert hozott. A 340 K és 1392 K közötti tartományban 47 (!) hőmérsékleten határozták meg a $\lambda_m T$ szorzatot, amely csak 2536 μmK – 2800 μmK között változott. A számok szűk határok között és csak kis fluktuációkkal, de nagyjából monoton növekedtek a hőmérséklettel. Tehát négyszeres hőmérséklet-növekedésnél a szorzat csak 10 százalékkal változott. A mért értékekhez (4) helyett a

$$\lambda_m T^\beta = c \quad (9)$$

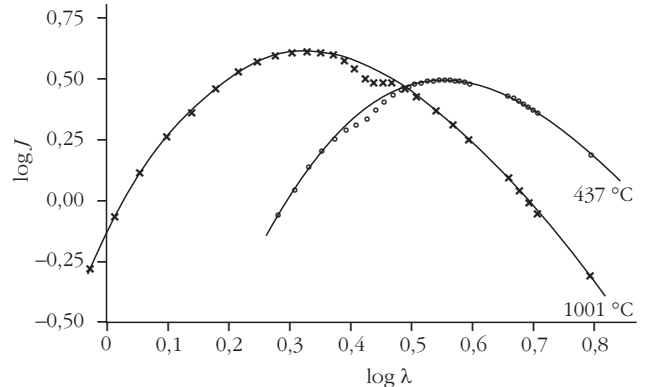
függvényt illesztette, ahol $\beta = 0,9500$ és $c = 1866,5$. Négy értékes jegy megadása persze túlzás, *Paschen* *akkor még* nem számított hibát, pedig talán a $\beta = 0,95 \pm \Delta\beta$ intervallumba a $\beta = 1$ is belefért volna. Az (5) törvény helyett 48 különböző hőmérsékleten végzett mérés alapján a teljesítmény maximumára a

$$J_m = c' T^\alpha \quad (10)$$

összefüggést állapította meg, ahol c' állandó és az α kitevő 5 helyett 5,5667-nel egyenlő.

Paschen továbbmegy, keresi a törvényt, több hőmérsékleten a spektrumot is kiméri. A mérési eredmé-

¹ *Paschen* ismerteti azokat a méréseket, amelyek az izzó testek spektrumával foglalkoztak, ezek között *Kövesligethy Radó* (1862–1934) munkáját is, aki sokoldalú tevékenysége mellett a Matematikai és Fizikai Társulat főtitkára is volt.



4. ábra. Két, különböző hőmérsékleten mért görbe [6]. Ordináta $\log J$, abszcissza $\log \lambda$, a hullámhossz μm egységeiben. A pontozás a levegő víztartalmának abszorpciója miatt fellépő veszteséget mutatja.

nyeket kétszeres logaritmikuskálán ábrázolja (4. ábra), az ordináta az intenzitás logaritmus ($\log J$), az abszcissza² a hullámhossz logaritmus ($\log \lambda$). Kongruens – egymással fedésbe tolható – görbék kap. Megtalálja az eltolás hőmérsékletfüggő mértékét is, egybeeső görbék adódnak, ha ordinátául a

$$\log \frac{J_m(T)}{J(\lambda, T)},$$

abszcisszául a

$$\log \frac{\lambda}{\lambda_m(T)}$$

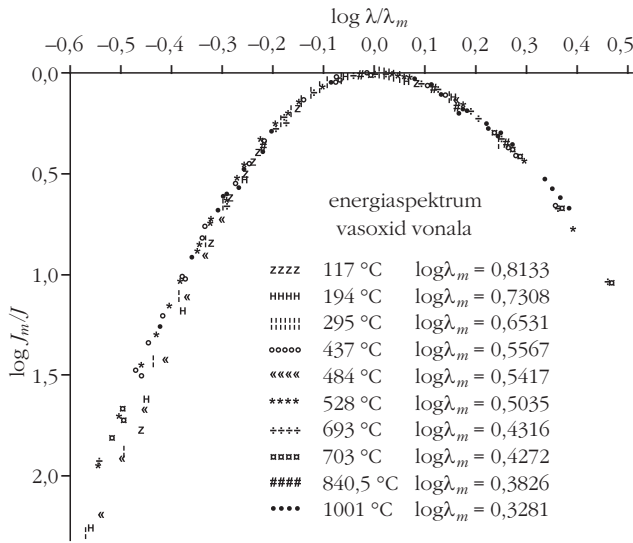
mennyiséget választja. Íme az eredmény az 5. ábrán. A széleken megjelenő eltérések ellenére világos, hogy a görbék egybeesése mögött szabály áll, még akkor is, ha tudjuk, hogy a logaritmikuskálán az ábrázolás mindent kisimít. Már csak formula kell, amelyre fel lehet fűzni a mérési eredményeket.

Paschen 1896. májusi keltezéssel küldte be cikkét, de júniusban utóiratot fűz hozzá. Eszerint az 5. ábrán látható eloszlás a

$$\log \frac{J}{J_m} = \alpha \left(1 - \frac{\lambda_m}{\lambda} - \log \frac{\lambda}{\lambda_m} \right) \quad (11)$$

függvénnyel írható le. Táblázatban közli a 437 °C-on mért és a számított értékeket (összesen 10 mérés), az

² A mért intenzitás esetében triviális volt a logaritmikuskála választása, hiszen az intenzitás magasabb hőmérsékleteknél két nagyságrenddel is változott. Nem így a hullámhossz, hiszen itt a leghosszabb és legrövidebb hullámhossz aránya kisebb, mint egy nagyságrend. Az utóbbi választás ugyan rendkívül gyümölcsözőnek bizonyult, indoklást viszont nem adtak, bár biztosan voltak a priori megfontolások.



5. ábra. Paschen vasoxidon, különböző hőmérsékleten végzett spektrummérésiinek összefoglalása [6]. Az ordináta $\log(J/J_m)$, ahol J a mért intenzitás az adott hőmérsékleten és hullámhosszon, J_m pedig ennek maximális értéke az adott hőmérsékleten, az abszcissa $\log(\lambda/\lambda_m)$, ahol λ a hullámhossz és λ_m a maximum helye.

értékek a nagyobb hullámhosszak tartományában 7 esetben 1%-on belül megegyeznek, az utolsó, a rövid hullámhosszaknál 2-3%-ra eltérnek. Feltehetően a monokromátor sávzélességének meghatározása okozta a fő problémát, ez abból is kitűnik, hogy a soron következő cikkében újra előveszi a problémát és igyekszik jobb megoldást adni.

A (11) formula nem a fekete sugárzás törvénye, de még a szalag hőmérsékleti sugárzásának törvénye sem, hiszen hiányzik belőle a hőmérséklet. Ezt a görbék fedésbe hozásakor kitranszformáltuk. Most már megvan az empirikus formula, járjuk be a visszafelé utat azáltal, hogy tekintetbe vesszük a (9) és a (10) összefüggéseket is, ekkor

$$J(\lambda, T) = c_1 \left(\frac{T}{T^\beta} \right)^\alpha \lambda^{-\alpha} \exp \left(- \frac{c_2}{\lambda T^\beta} \right). \quad (12)$$

(Az eredeti képlet sajtóhibás.) De Paschen tovább medítál. Mivel szerinte sugárzó vasoxid esetében elfogadható a $\beta = 1$ érték is, tehát használható a termodinamikával bizonyított (4) törvény, ezért

$$J(\lambda, T) = c_1 \lambda^{-\alpha} \exp \left(- \frac{c_2}{\lambda T} \right), \quad (13)$$

de még mindig az $\alpha \neq 5$ maradt.

Az utóirat legvégén Paschen beszámol arról, hogy Wien tájékoztatta őt a (6) spektrális képletéről. (A [2] munka az *Annalen* következő számában jelent meg, mindkettőjük cikke májusi keltezésű.) Érdekes, hogy Paschen nem vette észre, ha a (12) levezetésénél használt (9) és (10) tapasztalati törvényt helyett a (4) és (5) termodinamikai törvényt használta volna fel a (11) mellett, akkor pontosan Wien fekete sugárzási törvényét kapta volna vissza. *Egy lépésnyire volt az elmélet és a kísérlet egyezése.*

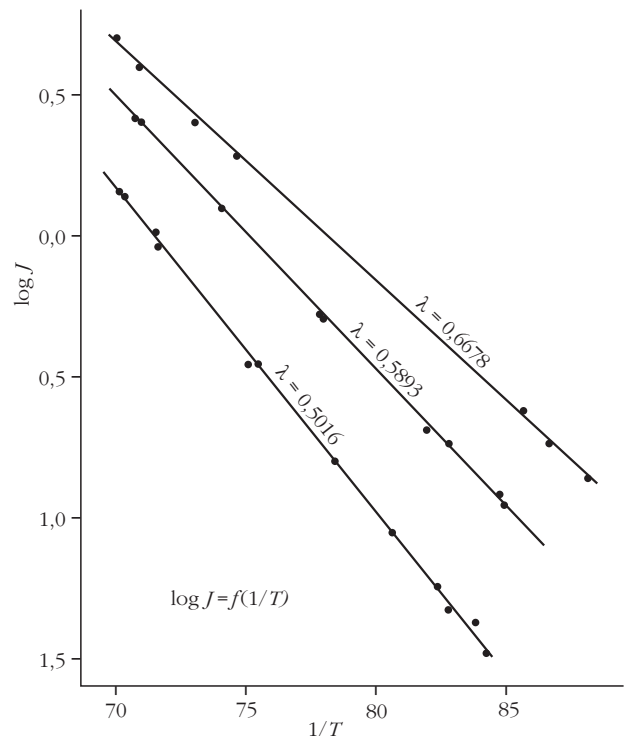
Paschen következő [5] munkájában már figyelembe veszi a (4) eltolási törvényt, tehát az igazolandó formula most már a (13). Rézoxid és lámpakorom borítású szalagok, szénszál, továbbá a platina termikus emisszióját mérte, továbbra is az izotermák módszerével. A platinát szándékosan, mint jól reflektáló anyagot választotta. Hasonló spektrális eloszlásokat talált mint előzőleg (még platinánál is, de már nagyobb eltérésekkel). A hullámhossz kitevője (α) értéke minden anyagnál nagyobb volt 5-nél. Nem közölt magyarázatot, miért sugároz minden anyag szinte azonos spektrumot, pedig az egyszerű megoldás Kirchhoff törvényében (1) van. Ha az anyag reflexióképessége az adott hullámhossz-intervallumon belül állandó, akkor az emisszióképeség-eloszlása hasonlít a fekete testéhez. A spektrális eloszlás $\beta = 1$ érték mellett mind követte a (12) formulát, tehát megerősítette Wien sugárzási képletét.

Paschen azonban talált egy másik kiértékelési módszert is. Ugyanis a (13) összefüggés alapján

$$\log J(\lambda, T) = \log \left(c_1 \lambda^{-\beta} \right) - c_2 \frac{1}{\lambda T}. \quad (14)$$

A mért mennyiség logaritmusá tehát *lineáris függvénye* a hőmérséklet reciprokának. A 6. ábrán rézoxid emissziója látható a 350–1150 K hőmérsékleti tartományban, a hullámhosszak 1,2–7,8 μm között változnak. Az izokromáták ebben az ábrázolásban kétségkívül egyenesek. (Kivétel 7,764 μm görbéje, az alacsony hőmérsékleten kapott három pont nem fekszik az egyenesen. A pontok abszcisszáinak kis különbsége arra utal, hogy a *gyanús eredményt* ellenőrizték. Lehet, hogy itt már jelentkeztek a későbbiekben ismertető problémák?)

6. ábra. Izokromáták radiometriával mérve [7]. Az ordináta a hőmérséklet reciproka 10^{-3} K egységekben.



1. táblázat

A c_2 értéke különböző anyagoknál, kétféle módon – spektrummaximum helyéből, valamint izokromáták meredekségéből – meghatározva

Anyag	c_2 (μmK)	c_2 (μmK)
Rézoxid	14 275	14 000–14 485
Lámpakorom	14 500	13 460–14 480
Szénszál	13 670	12 260–14 040
Platina	15 000	13 140–16 020

2. táblázat

A c_2 állandó a hullámhossz függvényében Paschen és Wanner izotermáiból

λ (μm)	c_2 (μmK)	Δc_2 (μmK)
0,6678	14 332	62
0,5893	14 489	74
0,5016	14 473	62

Újabb lehetőség nyílt a Wien-féle sugárzási törvény (6) ellenőrzésére, mert az ott szereplő c_2 állandó már kétféleképpen lehetett meghatározni: egyrészt a spektrum maximumának helyéből a (4) és a (6a) képlet segítségével, másrészt az izokromáták meredeksége (14) segítségével. A (6a) formula használatánál nem a konstans 5 értéket, hanem a (10) képletben szereplő α értéket alkalmazta Paschen. Az eredmények az 1. táblázatban vannak. A $\lambda_m T$, valamint az α értéket a szerző egy 20-30 tagból álló mérés átlagaként határozta meg, az izokromáták is több mérésből adódtak.

Még meggyőzőbb kísérletet végez Paschen és Wanner [7] immár az optikai feketetesttel. A közvetlen sugárforrás platina volt, de a 2. ábrán bemutatott feketetest-elrendezésben. Izotermákat vettek fel a látható tartományban, fotometriai úton, mert a kis intenzitás miatt szükség volt a szem érzékeny voltára. A hőmérséklet 1100–1430 K között változott. A sávszélesség, mint hibaforrás most nem játszik szerepet, de a szerzők megadják, hogy az körülbelül századrésze volt a hullám-

hossznak. Az eredmény – megint csak egyenesek – a 6. ábrán látható. A görbék meredekségéből meghatározható a Wien-, illetve a Paschen-formula c_2 állandójának értéke, ezt a 2. táblázat tartalmazza.

Paschen (és munkatársa) méréseinek korrektségét ezek után nincs jogunk vitatni. Anakronizmus, de vessük össze Wien törvényét Planckéval. Az utóbbit Wien írásmódjával is felírjuk:

$$u(\lambda, T) = \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1} \equiv \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{\exp\left(-\frac{c_2}{\lambda T}\right)}{1 - \exp\left(-\frac{c_2}{\lambda T}\right)}, \quad (15)$$

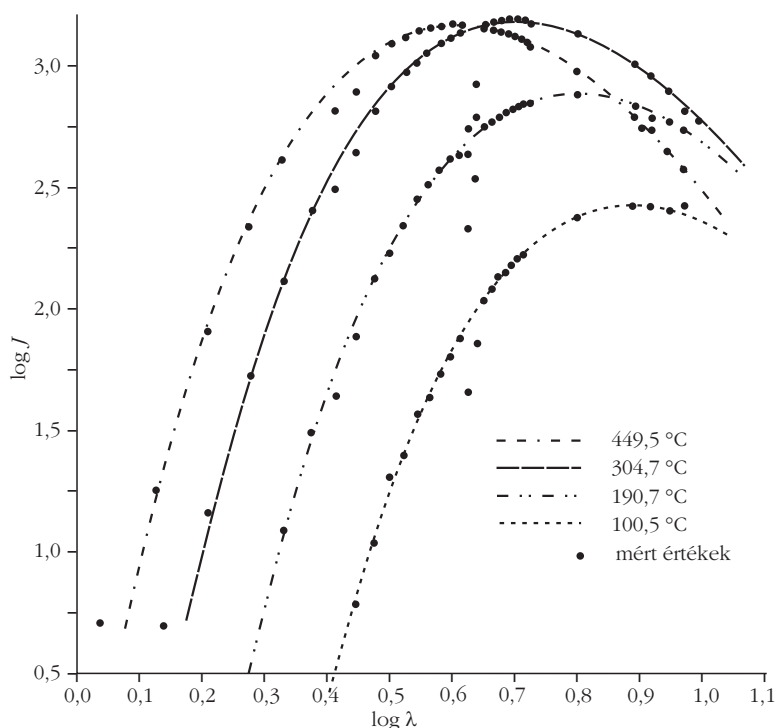
ahol most $c_2 = hc/k = 14\,387 \mu\text{mK}$. Paschenék értékei jól megegyeznek ezzel, ami nem csoda. A legmagasabb $T = 1430 \text{ K}$ hőmérséklettel és $\lambda = 0,6678 \mu\text{m}$ hullámhosszal számolva is a kitevő értéke még körülbelül 15, az átirított formulában a tört értéke $1 - 3 \cdot 10^{-7}$, észrevehetetlen az eltérés Wien sugárzási törvényétől.

Ilyen előzmények után csak egy olyan mérés hiányzik, ahol a forrás valóban sugárzó üreg. Ezt is elvégezte Paschen, alacsony [8] és magas [4] hőmérsékletű fekete testtel újra az izotermákat mérve. A munkákat a Berlieni Porosz Akadémia közleményeiben publikálta, a prezentáláshoz akadémikusra volt szüksége, aki Planck volt.

Tekintsük először az alacsony hőmérsékleten végzett méréseket [8]. Alacsony hőmérsékletű üregt könnyebb előállítani, de nehezebb a sugárzó energiát mérni, mert kevés. A fekete testet reprezentáló üregt egy nagyobb edénybe helyezték, a két edény közé forrásban levő folyadék gőzét bocsátották. A közegek víz (100 °C), anilin (190 °C), difenilamin (304 °C) és kén (450 °C) voltak.

Fekete testhez fekete, mindent elnyelő bolométer jár. Ezért megfordították az optikai feketetestet, ott a sugárforrást helyezték a tükröző félgömb belsejébe, most az érzékelő csíkot. Ezzel veszítették a de-

7. ábra. Paschen alacsony hőmérsékletű izotermái [8], koordinátatengelyek mint a 4. ábrán. Itt is megjelenik a levegő abszorpciója.

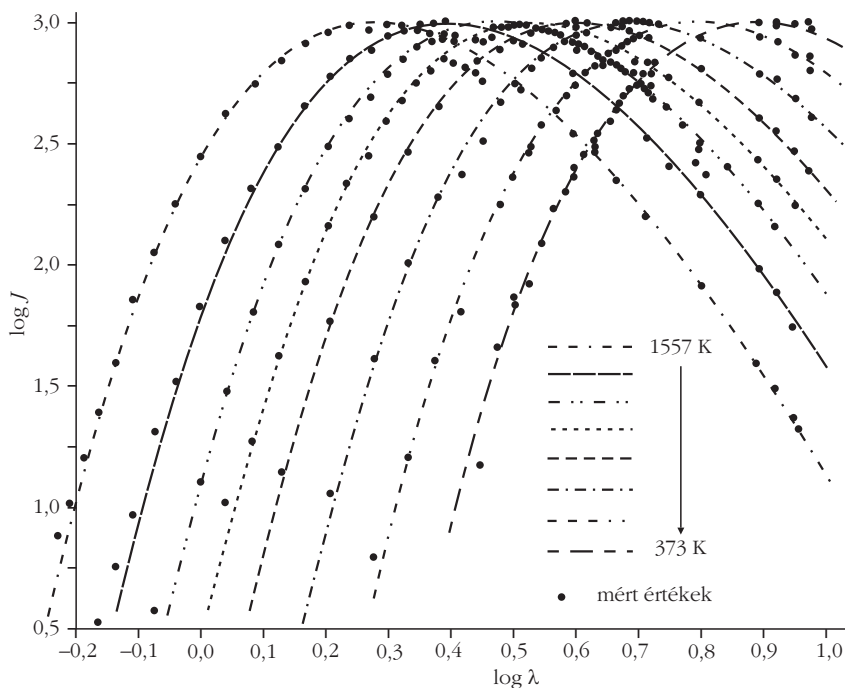


tektálás hatásköréből, mert távolabb került a korommal befeketített platinacsík, de azt a sugárzást, amit a korom visszaszórt, a gömbtükör újra visszaverte. Az eredmény a 7. ábrán látható. A görbék éppen olyanok, mint „fekete” szalag esetében (4. ábra) voltak. Méltányolni kell, hogy 100 °C hőmérsékleten is mértek sugárzást, holott a sugárzó intenzitás már az üreg száján is kicsi volt, a detektálási veszteség pedig nagy. Lehette még kifogásolni, hogy a fekete test izotermái nem keresztezhetik egymást. Esetünkben a keresztezést a különböző beállítások okozták, más volt a detektálás hatásköre (lásd a (8) formulát). Ezen kívül a (4) és az (5) termodinamikai törvény teljesülését is gondosan ellenőrizték. Néhány esetben ugyan találtak eltérést az $\alpha = 5$ esettől, de megmagyarázták az okát. Manapság a rossz méréseket inkább nem szoktuk megemlíteni.

Tehát: létezett egy tapasztalati görbe, ami jól illeszkedik a (11) által leírt függvényhez, ezt több esetben is igazolták. Kísérletileg bebizonyították az elmélet (4) és (5) állításait. Beírva az utóbbi két összefüggést (11)-be, megkaptuk Wien sugárzási (6) törvényét. Az utóbbit ugyan még nem sikerült elméletileg bizonyítani, csak sejtés, de kísérletileg már sikerült.

Paschen még mindig nem szűrte le ezt a következtetést, inkább ellenőrizni akarta az eredményt magas hőmérsékleten is [4]. Kifejezett célja a mérési tartomány kiterjesztése volt a rövidebb hullámhosszak felé. Amellett, hogy a spektrális tartomány kiszélesítése már önmagában is fontos, az a cél is közrejátszott, hogy rövidebb hullámhosszaknál a monokromátor diszperziója nagyobb, sokkal kisebb hullámhossztartomány felel meg egy fix részélességnek, a $\Delta\lambda$ sávzélesség pontosabban tartható. A levegő abszorpciója is kevésbé zavar.

Két fekete testet használt: az üreget az 1. ábrán már bemutattuk, a másik az optikai feketetest (2. ábra) volt. A Wien–Lummer-követelményeknek ugyan az előbbi felelt meg, de Paschen leírja, hogy nehéz volt elérni az egyenletes falhőmérsékletet, tehát éppen azt, ami miatt a szalag feketetestet Wien és Lummer elvetették. Miért ragaszkodott mégis a kétféle módszerhez? „A mérés mindkét módszerét fokozatosan egyre finomítottam és úgy találtam, hogy a megfigyelt eredményeknek a törvényektől való eltérése csökken, végül olyan eredményeket kaptam, amelyek egymással és az alacsony hőmérsékleten találtakal elegendő mértékben egybecsengtek. Amennyiben az alábbiakban közlendő eredmények itt-ott még kis eltérést mutatnak a törvényektől, ezek nagyobb eltérések maradványai, amelyek azt tanúsíthatják, hogy a berendezés egyes hibáit még nem eléggé szüntettük



8. ábra. Maximumra normált izotermák a 373–1557 K tartományban. Hullámhossztartomány 0,5–10 μm között [4].

meg.” ([4] 960. old.) Ne arra gondoljunk most, hogy a mérési eredményeket addig preparálták, amíg megfelelték az előre ismert elméletnek – ami a hallgatói laboratóriumaink frekvenciált eljárása – hanem arra, hogy az eltérés a berendezés tökéletesítésére inspirálta a kísérletezőt.

Most már annak a tudatában, hogy a (4), (5) és (11) összefüggésekből következik Wien sugárzási törvénye, a mérések kifejezett célja az lett, hogy ellenőrizze, teljesülnek-e ezek a törvények. Bár megemlíti, hogy az üreggel végzett méréseknél többször is felvették a teljes spektrumot, számokkal, táblázatokkal csak a (4) és (5) termodinamikai törvény igazolását támasztják alá. 647 K és 1053 K között mértek 19 különböző hőmérsékleten, a maximum helye 4,51 μm és 2,22 μm között változott. Az izzó szalag-félgömb kombinációval ugyancsak ellenőrizték a termodinamikai törvények teljesülését, de mindennél többet mondanak a spektrális mérések, amelynek eredményét a 8. ábrán láthatjuk. A kongruens görbék sorozata azt mutatja, hogy valóban olyan eloszlást mértek, amely a) eleget tesz Wien termodinamikával bebizonyított (3) tételének, és b) bizonyítja Wien sugárzási törvényről alkotott sejtését.

Megállapíthatjuk, hogy a 2–8 μm hullámhossztartományban végzett radiometriai, valamint a látható tartományban végzett fotometriai mérések igazolták Wien sugárzási törvényét. Paschen munkásságát a berlini akadémia 1900 májusában 500 márk jutalommal ismerte el. Most már az is sejthető, hogy Planck 1897 és 1900 közötti tevékenységét az elméleti fizikus belső indíttatású érdeklődése mellett a kísérleti eredmények is inspirálták. A mérések alapossága és a következetes, ellentmondásmentes eredmények indokolták Planck feltétlen bizalmát.

Planck Wien sugárzási törvénye mellett

Planck ötrészes cikksorozatban³ [9] jut el Wien sugárzási formulája bizonyításáig, majd egy hatodik [10] munkában, amely a nevezetes 1900-as esztendő januárjában jelent meg, összefoglalja ezeket. Végül egy hetedik cikkben [11], ugyancsak az év áprilisában újabb, az előzőektől független bizonyítást közöl. Most [9] negyedik és az ötödik közleményével kezdjük.

Planck ugyanazon úton járt, mint amin *Maxwell* majd *Boltzmann*. Ők készen kapták a mechanika törvényeit, valamint a termodinamikának a gázokra vonatkozó fenomenológiai elméletét, és megtalálták közöttük a kapcsolatot. Planck számára is készen álltak az 1. részben – A kezdetek (Kirchhoftól Wienig) – szereplő törvények és az elektromágneses hullámok törvényei. Meg kellett alkotni az üreg belsejében kavargó elektromágneses hullámok leírását és ebből a fekete sugárzás spektrumát, ami megfelel például a Maxwell-eloszlásnak.

Tudjuk: mindegy, hogy milyen egy egyenletes hőmérsékletű zárt üreg belső struktúrája, mindenképpen fekete sugárzás alakul ki benne. Planck modellje egy tükröző falú üregből és az üregen belül egy vagy több rezonátorból áll; a rezonátor Hertz-féle dipólus. Ez elnyeli a sugárzás energiáját és lassan – a rezonancia-periódushoz képest hosszú idő alatt – kisugározza. Ennek a folyamán alakul ki az üreg belsejében a sugárzás eloszlása, amely időben ugyan állandóan változik, de az energiasűrűség várható értékének spektruma már állandó. Plancknak fel kellett tennie, hogy a sugárzó tér egy különleges állapota alakul ki, amit ő *természetes sugárzásnak* nevezett el. Ennek Fourier-spektruma, amely a fizikai spektrum is, folytonos, tehát megszámlálhatatlanul sok komponenset tartalmaz, és az egyes komponensek fázisai függetlenek. Ez a tulajdonság akkor is fennáll, amikor két komponens frekvenciája tetszőlegesen közel van egymáshoz. (Ez a sugárzás majd reneszánszát éli a 20. század második felében a koherencia elméletében, ekkor már egyszerűen termikus sugárzásnak nevezzük.)

Planck cikkeinek a *Irreverzibilis sugárzási folyamatokról* címet adta. Miért?

„Egy folyamat irreverzibilitásának legközvetlenebb bizonyítéka egy olyan függvény létezésének a kimutatásán nyugszik, amely függvényt a rendszer pillanatnyi állapota teljesen meghatároz, és amelynek az a tulajdonsága, hogy a teljes folyamat során ugyanabban az értelemben változik, esetleg növekszik. Az itt tárgyalt sugárzási folyamat esetén, megfelelően a folyamat különösen extrém jellegének, *nem egyetlen, hanem sok olyan függvény létezik* [kiemelés V. P.], amely rendelkezik a fenti tulajdonsággal. Az irreverzibilitás bizonyításául nyilvánvalóan elegendő egyetlen ilyen függvény ismerete, ezért a kiváltképp egyszerűhöz nyúlunk, analógiában a *Clausius* által bevezetett termodinamikai függvényvel, a gömbi üreg és a rezo-

nátor entrópiájához, anélkül, hogy ezt a függvényt egy általánosabb sugárzási folyamathoz hozzá akar-nánk rendelni.” ([9], IV közlemény, 24. §).

Planck először *talál* két függvényt, mindkettő függvénye a hullámok, illetve a rezonátor frekvenciájának. Az egyik függvény a rezonátorra, a másik a térben jelenlévő sugárzásra vonatkozik. Kimutatja, hogy ezen függvények összege időben nem csökkenhet, tehát rendelkezik az entrópia tulajdonságával. Az entrópia spektrális eloszlásának kifejezéséből levezette az energiasűrűséget, ami nem lett más, mint Wien sugárzási törvénye. Planck hivatkozik Paschen, illetve Lummer és *Pringsheim* méréseire (lásd a cikksorozat következő részében), amelyek alátámasztják elméletét.

Planck 1900 januárjában közölt [10] cikkének megjelenése előtt és azzal egy időben is kételyek merültek fel Paschen méréseit illetően (lásd a cikksorozat következő részében). Erre Planck megírta [11] dolgozatát, ahol már felsorolta Lummer és Pringsheim méréseit is. Ebben a cikkben kijelenti: a kísérleti fizikusok dolga, hogy eldöntsék, kinek van igaza. De Planck is megette, amit az elméleti fizikusnak kell, *újabb bizonyítékokat talált* az entrópia alakjára:

„Jóllehet a megfigyelés és az elmélet közötti konfliktus akkor is fennáll, ha a különböző megfigyelők számadatai egymással elegendően megegyeznek, úgy a kísérletezők közötti elintézetlen kérdés engem is arra ösztönzött, hogy azokat az elméleti feltevéseket – amelyek a sugárzás entrópiájának fent említett kifejezéséhez vezettek és amelyeket minden bizonnyal meg kell változtatni, amennyiben bebizonyosodik, hogy a Wien-féle energiaeoszlás nem általános érvényű – összefoglalóan áttekintsem és éles kritikának vessem alá. A lényegét már itt szeretném röviden közölni, nevezetesen: ez alkalmat adott arra, hogy megtaláljam azt az utat, amely a sugárzás entrópiájának egyenes meghatározásához vezet, és aminek értékét az előző munkámban minden további közbenjárás nélkül definícióként bevezettem. Mivel ez a számítás újra egyes-nesen ugyanazt a fenti kifejezést adja, ezáltal e kifejezés jelentőségéről alkotott véleményemet még jobban megerősíti, akkor is, ha azok az alapok, amelyek ezt alátámasztották, kissé eltolódtak.”

Bizonyítást nyert Wien sugárzási törvénye?

Irodalom

6. F. Paschen: Über Gesetzmäßigkeiten in den Spektren fester Körper, erste Mitteilung. *Annalen der Physik* 58 (1896) 455.
7. F. Paschen, H. Wanner: Eine photometrische methode zur bestimmung der Exponentialconstanten der Emissionsfunction. *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin I* (1899) 5–11.
8. F. Paschen: Über die Verteilung der Energie in Spectrum des schwarzen Körpers bei niederen Temperaturen. *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin I* (1899) 405–420.
9. M. Planck: Über irreversible Strahlungsvorgänge. *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin I*. (1897) 57, II. (1897) 715, III. (1897) 1122, IV. (1898) 449, V. (1899) 440.
10. M. Planck: Über irreversible Strahlungsvorgänge. *Annalen der Physik I* (1900) 69.
11. M. Planck: Entropie und Temperatur strahlender Wärme. *Annalen der Physik I* (1900) 719.

³ A sorozat második darabja azért is érdekes, mert itt a szerző Boltzmann egy ellenvetésére reflektál. Boldog idők!

AZ EURÓPAI DÉLI OBSZERVATÓRIUM FÉL ÉVSZÁZADA

Kővári Zsolt

MTA CSFK Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet

A déli égbolt varázsa – egy álom valóra válik

A II. világháború utáni bizalmatlanság légköre az 1950-es években valamelyest enyhült, a tudósok immár szabadabban folytathattak eszmecsereket a nemzetközi konferenciákon. 1953-ban egy leideni találkozón csillagászok egy csoportja arról érkezett, hogy a magánvagyonokból épített óriásteleszkópokkal szemben csak nemzetközi összefogással lehet tudományosan versenybe szállni (1. ábra). A fontos felismerést követte: 1962-ben Belgium, Franciaország, a Német Szövetségi Köztársaság (a mai Németország nyugati fele), Svédország és Hollandia kormányközi szervezetként létrehozta az Európai Déli Obszervatóriumot, angol rövidítéssel ESO-t, amely az évtizedek múltával, további kilenc tagállam csatlakozásával rendkívül hatékony és sikeres nemzetközi együttműködéssé szélesedett. Hasonló példaértékű tudományos összefogásra talán csak egyetlen további példa van, a CERN, a kísérleti fizikai kutatások centruma a Genfi-tóhoz közel, a svájci–francia határon.

A régóta ismert és tanulmányozott északi égbolthoz képest a déli égbolt az európai csillagászok számára egy új világot jelentett, egészen új kihívásokkal. A Tejútrendszer közvetlen szomszédainak számító két törpegalaxis, a Kis és a Nagy Magellán-felhő páratlan látványt, ugyanakkor tudományos értelemben páratlan lehetőséget jelentett az égbolt titkait fűrkészők számára. Ennek fényében az ESO megálmodói 1954-ben deklarálták, hogy az összefogással építendő obszervatóriumnak a déli féltekén kell helyszínt találni. A rákövetkező évben Dél-Afrikában és Dél-Ameriká-



1. ábra. Közös európai obszervatórium lehetőségéről érkezők csoportja 1953 júniusában a Leideni Obszervatóriumban rendezett konferencián. A képen balról jobbra látható Vladimir Kourganoff (Franciaország), Jan Hendrik Oort (Hollandia) és Harold Spencer-Jones (Nagy Britannia). Forrás: ESO/A. Blaauw

ban kezdtek lehetséges telephelyek után kutatni, végül a chilei helyszín mellett döntöttek.

Az ESO Egyezmény 1962-es aláírásával (2. ábra) valóra vált a leideni „alapító atyák” álma: egy közös európai obszervatórium a déli féltekén, az európai csillagászok jól felszerelt bázisa a hihetetlenül gazdag déli égbolt alatt.

La Silla – a kezdet

A chilei bázis kialakítása a Santiago de Chile-i adminisztrációs központ létrehozásával vette kezdetét 1963-ban. Az obszervatórium számára alkalmas hely kiválasztása után megkezdődött a La Silla Obszervató-

Az ESO-hoz köthető tíz legfontosabb csillagászati felfedezés

A Tejútrendszer közepén található fekete lyuk körül keringő csillagok

Az ESO távcsöveivel 16 éven át tanulmányozták a galaxisunk középpontjában található szupernagy tömegű fekete lyuk körül keringő csillagok mozgását. (A vonatkozó ESO sajtóközlemény: eso0846, 2008)

Gyorsulva táguló Univerzum

Két, egymástól függetlenül dolgozó kutatócsoport a La Silla Obszervatórium távcsöveivel felrobbanó csillagokról, azaz szupernóvákról gyűjtött megfigyeléseket. Az adatok kiértékelése alapján arra a következtetésre jutottak, hogy az Univerzum gyorsulva tágul. A felfedezést 2011-ben fizikai Nobel-díjjal jutalmazták. (eso9861, 1998)

Első kép Naprendszeren kívüli bolygóról

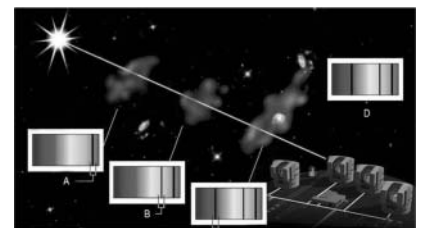
A VLT segítségével először sikerült képet készíteni egy Naprendszeren kívüli bolygóról. Az 5 jupitertömegű bolygó egy barna törpe (olyan csillagkezdemény, amelynek tömege túl kicsi ahhoz, hogy valódi csillaggá váljon) körül kering nagyjából 55-szörös Nap-Föld távolságban. (eso0428, 2004)

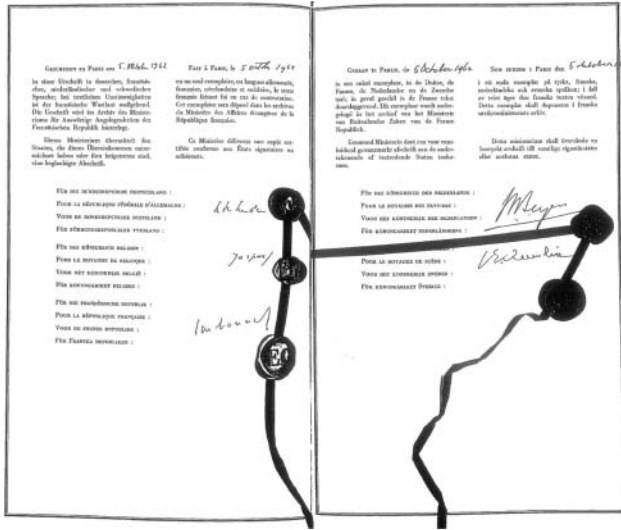
Gamma-kitörések lehetséges forrásai: szupernóvák és összeolvadó neutroncsillagok

ESO távcsövek megfigyelései alapján a csillagászok bizonyítékot találtak arra, hogy a hosszabb gamma-kitörések forrásai felrobbanó nagy tömegű csillagok, míg a rövidebb idejű gamma-kitöréseket összeolvadó neutroncsillagok okozzák. (eso0318, 2003)

A kozmikus hőmérséklet mérése a korai Univerzumban

A VLT segítségével sikerült egy 11 milliárd fényév távolságban levő galaxisban szén-monoxid-molekulák nyomát detektálni. A mérések alapján a csillagászok a korábbiaktól független eljárással pontosan meghatározták a korai Univerzum hőmérsékletét. (eso0813, 2008)





2. ábra. Az ESO 1962-ben aláírt alapokmánya. Forrás: ESO

rium építése La Serena közelében, ahol ma már kupolák „erdejével” találkozik a látogató. A két legnagyobb műszer itt az ESO 3,6 méter átmérőjű teleszkópja (1977) és a hasonló méretű New Technology Telescope (1989), bár legelsőként az ESO 0,5 méteres teleszkópja kezdte meg az égbolt megfigyelését 1970-ben, amelyet egy év múlva követett az ESO 1 méteres Schmidt-teleszkópja.

Az ESO a kezdetektől nagy hangsúlyt fektetett a közönségkapcsolati tevékenységre, a tudományos célok és eredmények igényes, szakszerű, ugyanakkor közérthető tálalására a nemzetközi csillagász szakma és a tudomány iránt általában érdeklődő szakemberek és laikusok számára egyaránt. Ennek egyik ma is fontos eszköze az *ESO Messenger (Hírvivő)* című folyóirat, amelynek első száma 1974 májusában jelent meg. Időközben svájci közreműködéssel felállították a 0,4 méteres teleszkópot is.

A hetvenes évek közepén a tagországok új európai központ létrehozásáról határoztak, amelynek helyszínül a München melletti Garching tudományos-technológiai kampuszát jelölték ki. Az épületet 1981-ban adták át – aki egyszer is megfordult benne, örökké emlékezni fog a különleges, funkcionalista építészeti kialakításra, az egymásba fonódó folyosóívek és irodafüzérek elsőre áttekinthetetlennek tűnő rendszerére, amely valójában nagyon is átgondolt, a dolgozók igényeire szabott, azt magas szinten kiszolgáló innovatív együttes. Az eredetileg négy szintes épületet később egy további szinttel bővítették, ám napjainkra ez is szűkössé vált. 2012 elején ezért újabb épületszárnyak építésébe fogtak, amelyek átadását 2013 végére ígérik.

A 80-as évek: szélesedő nemzetközi együttműködés

1982-ben Svájc és Olaszország hivatalos csatlakozásával az ESO-ban részt vevő országok száma nyolcra nőtt. Eközben a műszerállomány is gyorsan gyarapodott, így hadrendbe állt a dánok 1,5 méteres távcsöve, a hollandok 0,9 méteres távcsöve, a svájci T70-es teleszkóp, az 1,4 méteres Coudé-távcső, illetve 1983-ban az MPG/ESO 2,2 méteres eszköze. Mindezeket helyet kaptak különböző műszerek, fotométerek, spektrográfok, emellett a legújabb technológiai megoldásokat alkalmazták, így a távvezérlést, a robottechnikát, valamint a legmodernebb képalkotó és képjavító rendszereket. Ekkor készült el a 15 méter átmérőjű svéd-ESO szubmilliméteres teleszkóp (SEST) és az évtized végén megkezdte működését a legendás 3,58 méteres Ritchey-Chrétien rendszerű New Technology Telescope (NTT), amelynek már a dómja is eltér a hagyományos gomba formától (3. ábra), és amely elnevezésével a benne foglalt új műszaki megoldásokra (aktív optika, azimutális szerelés) és magas technikai színvonalra utal.

A Tejútrendszer egyik legöregebb csillaga

A VLT mérési alapján a csillagászok meghatározták a Tejútrendszerben eddig ismert legöregebb csillag életkorát. A csillag 13,2 milliárd évvel ezelőtt keletkezett, akkortájt, amikor az Univerzumban a csillagkeletkezés éppen csak elkezdődött. (eso 0425, 2004)

A Tejútrendszer közepén található szupernagy tömegű fekete lyuk heves kitérései

A VLT és az APEX (az ESO infravörösben és rádióhullámon működő 12 méteres tányérantennája) közös megfigyelései alapján a galaxisunk középpontjában található szupernagy tömegű fekete lyuk körül keringő anyagfelhőből eredő nagy energiájú kitérésekre következtettek. A jelenséget a fekete lyuk rendkívüli gravitációs kölcsönhatásával magyarázták. (eso0841, 2008)

A legnépesebb bolygórendszer a Naprendszeren kívül

Az ESO HARPS műszere segítségével a csillagászok felfedezték az eddigi legnépesebb exobolygórendszert. A HD 10180 jelű, a Naphoz hasonló csillag körül legalább öt bolygó kering, és további kettő valószínűsíthető. (eso1035, 2010).



Exobolygó légkörének direkt megfigyelése az exobolygó spektrumában

A VLT-vel egy, a Földénél néhányszor nagyobb tömegű exobolygó (GJ 1214b) légkörét vizsgálták. A bolygó színképét akkor rögzítették, amikor az éppen elhaladt saját csillaga előtt. A csillag fényének egy része így a bolygó légkörén áthaladva elnyelődött, elárulva a bolygó légkörének kémiai összetételét. (eso1002, 2010)

Csillagáramok és a Tejútrendszer múltja

A La Silla Observatórium eszközeivel 15 évre visszanyúlóan (1000 éjszakát meghaladóan) végzett megfigyelések alapján a csillagászok a Nap szomszédságában 14 ezer csillag relatív mozgását tanulmányozták. A kutatók a Tejútrendszer csillagáramai alapján azt találták, hogy a galaxisunk dinamikája a múltban sokkal kaotikusabb, turbulensebb volt, mint azt képzeltük. (eso0411, 2004)



3. ábra. Az ESO 3,6 méteres New Technology Telescope elnevezésű távcsöve a jellegzetes nyolcszög alaprajzú fémházában. Forrás: ESO/C. Madsen

A tudományban és a technológiában azonban a még jobb eszköz kifejlesztése és a még nagyobb teljesítményre törekvés jegyében újabb és újabb, egyre grandiózusabb ötletek fogalmazódnak meg. Az ESO vezetői ennek szellemében tüzték ki a 90-es évek fő fejlesztési irányát: a VLT (Very Large Telescope, azaz nagyon nagy teleszkóp) megvalósítását.

A 90-es évek: a VLT évtizede

Az ESO Tanácsa 1987 decemberében döntött a VLT megépítéséről. A fejlesztés azonban olyan nagy volumenű volt, hogy új helyszínt kellett keresni. E célra Chilében a Cerro Paranal 2600 méter magasan fekvő fennsíkját jelölték ki, ahol 1991 szeptemberében megkezdődtek az előkészületek.

A VLT négy, egyenként 8,2 méter átmérőjű távcsőegységből (Unit Telescope, UT) áll (4. ábra), amelyek szükség szerint összekapcsolhatók, az egyes fénynyalábok kombinálhatók, ezáltal – az interferometria alapelveinek megfelelően – jóval nagyobb optikai felbontás érhető el, mint az egymástól függetlenül működtetett távcsőkomponensekkel. Az első komponens, az UT1, amelyet Antu névre kereszteltek (a helyi mapuche indiánok nyelvén Napot jelent) 1998-ban gyűjtött először csillagfényt. A további három egység közül a Kueyen (UT2) azaz a „Hold” 1999-ben, míg a Melipal (UT3), vagyis a „Dél Keresztje” és a Yepun (UT4), azaz a „Vénusz” 2000-ben kezdte meg a működését. A Paranal Observatóriumban helyet kapott még négy segédtávcső (AT) – egyenként 1,8 méter átmérőjűek –, amelyek az interferometrikus üzemmódban (VLTi) használhatók, továbbá a VLT Survey Telescope (2,5 m) és a VISTA Telescope Survey (4 m) nagylátószögű égboltnagylátásokra.



4. ábra. A Paranal Observatórium a VLT négy hatalmas dómjával a chilei Atacama-sivatagban 1999 novemberében. Forrás: ESO

Az évtized közepén azonban egy másik nagyszabású fejlesztésről is határoztak: a chilei Atacama-sivatagban megvalósuló ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array, vagyis az milliméteres/szubmilliméteres hullámhosszakon működő atacamai nagy hálózat) projektről, amelyben az ESO mellett közreműködő partnerként megjelent a National Radio Astronomy Observatory (NRAO, USA) és a National Astronomical Observatory of Japan (NAOJ, Japán).

Az új évezred hajnalán

Az új évezred az ESO egy jelentősebb bővítési hullámmal kezdődött: 2001-ben Portugália, 2002-ben Nagy Britanniá, 2004-ben Finnország, 2007-ben Spanyolország és a Cseh Köztársaság, végül 2009-ben Ausztria csatlakozásával a tagállamok száma 14-re nőtt. Legutóbb, 2010-ben Brazília jelezte csatlakozási szándékát az ESO-hoz.

Az Egyesült Államok és Japán nemzeti intézményeik révén 2001-ben, illetve 2004-ben tették hivatalossá részvételüket az ALMA projektben, a fejlesztésbe időközben Tajvan és Kanada is bekapcsolódott. Az ESO sorrendben harmadik chilei observatóriuma, az ALMA helyszínéül az Atacama-sivatag 5000 méter tengerszint feletti magasságban fekvő Chajnantor-fennsíkját választották, ahol gyakorlatilag nincs csapadék. Ha elkészül, az ALMA összesen 66 tányérantennája – amelyek 12, illetve 7 méter átmérőjűek – egy nagyjából 15 km átmérőjű területen lesznek telepítve mozgatható talapzatokra, így az elrendezésen igény szerint bármikor változtatni lehet majd. Bár csapadék nincs, por azonban annál inkább, amit a közlekedési útvonalakon a közelben bányászott sóval igyekeznek megkötni. Az egyenként 100 tonnát meghaladó antennák mozgatását hatalmas, 130 tonnás, 1400 lóerős szállítójárművekkel végzik (5. ábra). Az első tányérantennák 2009-ben érkeztek a helyszínre, a telepítés azóta is folyamatosan zajlik. Idén májusban elérték a telepítendő antennák számá-



5. ábra. Az ALMA sokasodó tányérantennái az Atacama-sivatagban. Forrás: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/L. Calçada (ESO)

nak felét, azaz 33-at. A teljes üzem 2013-tól indulhat, a programot ötven évre tervezik. Az ALMA által elérhető optikai felbontás ötször jobb lesz, mint a Hubble-űrtávcső felbontási határa.

A méret a lényeg

Az ESO tervezőasztalainál jelenleg egy olyan forradalmian új fejlesztésen dolgoznak, amely minden eddiginél nagyobb méretű csillagászati távcső megépítését tűzte ki célul. A program elnevezése is erre utal: European Extreme Large Telescope (E-ELT), vagyis az európai extrém nagy teleszkóp (6. ábra).

Az ESO Tanácsa 2006-ban döntött egy új generációs óriástávcső tanulmányterveinek elkészítéséről. A tervezési fázis azóta a részletek kidolgozásánál tart. Az E-ELT lehetséges bázisaként néhány chilei helyszín mellett La Palma (Kanári-szigetek) is felmerült, végül 2010-ben a Cerro Paranal szomszédságában fekvő Cer-

ro Armazonest választották, amelynek tengerszint feletti magassága 3060 méter. A Paranal Observatórium közelsége így a műszaki integráció lehetőségét nyújtja, ami a várható költségek szempontjából nem elhanyagolható.

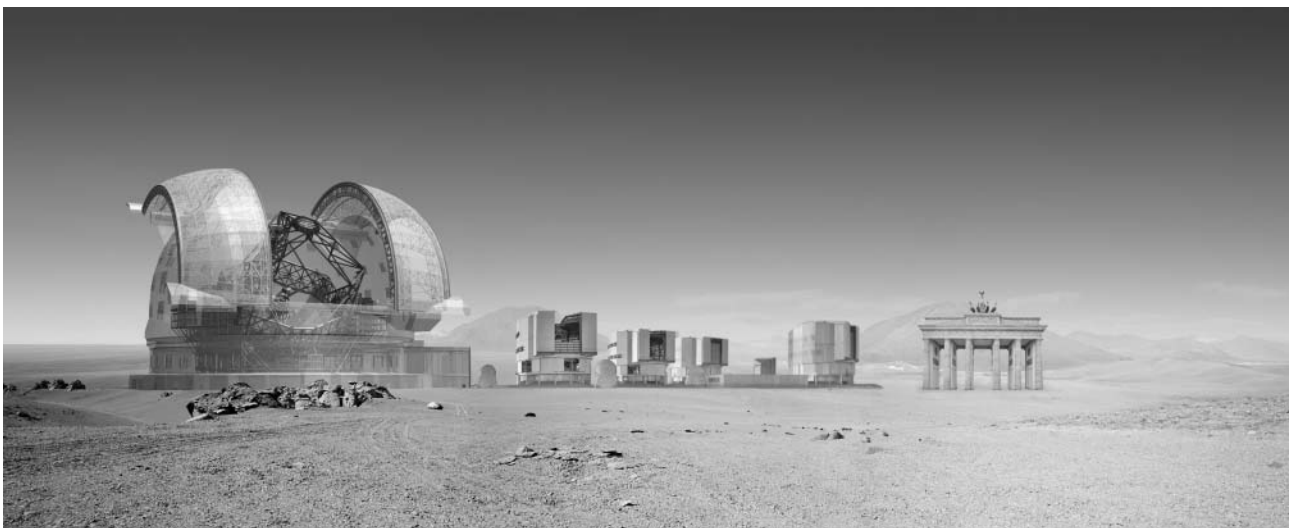
Az elképzelések szerint a legnagyobb távcső fénygyűjtő felületének átmérője 39 méter lesz, területe pedig 978 négyzetméter! A főtükör 800 darab – egyenként 1,4 méter széles – tükörszegmensből áll majd. A csupán 5 cm vastagságú tükröket adaptív optikai rendszerbe integrálják, amely kiküszöböli a légköri turbulenciák zavaró hatását (ezt a technológiát alkalmazták többek között a VLT-nél). Az E-ELT képalkotása a ma elérhető eszközök teljesítményéhez képest nagyságrendekkel jobb lesz. Az új eszköz a várakozások szerint az Univerzum megismerésének útján eddig nem tapasztalt forradalmi változások elindítója lesz. Lehetővé válik a direkt képalkotás távoli exobolygókról, sőt, lehetőség nyílik az exobolygók légkörében víz és szerves molekulák spektroszkopikus kimutatására. De megpillanthatjuk az Univerzum legtávolabbi, legősibb objektumait, a legelső galaxisokat és bennük az első csillagokat, ezáltal megismerhetjük az Univerzum keletkezésének körülményeit.

Ha a program nem ütközik pénzügyi és egyéb akadályokba, a tervek szerint az E-ELT nagyjából egy évtized múlva munkába áll.

Források

www.eso.org
hu.wikipedia.org/wiki/ESO

6. ábra. Az E-ELT látványtervén összehasonlításként a VLT és a berlini Brandenburi kapu is látható, hogy az óriástávcső valódi méreteit el tudjuk képzelni. Forrás: ESO



EXOBOLYGÓK A FIZIKA ÉRETTSÉGIN – II. RÉSZ

Horváth Zsuzsa
Kosztolányi Dezső Gimnázium, Budapest

Érdi Bálint
Eötvös Loránd Tudományegyetem, Csillagászati Tanszék

Csillagukhoz közel keringő gázóriások

Az érettségi feladatban szereplő WASP-12b exobolygót fotometriai módszerrel fedezték fel. A gazdacsillag, a WASP-12 forró, fémekben gazdag, tőlünk 900 fényévnire, az Auriga (Szekeres) csillagképben levő csillag, amelynek tömege 1,29-szorosa, míg sugara 1,58-szorosa Napunkénak. A WASP-12b exobolygó egy forró gázóriás, tömege 1,39-szorosa, míg sugara 1,83-szorosa a Jupiterének, egyike a legkisebb sűrűségű exobolygónak (sűrűsége negyede a Jupiter sűrűségének, körülbelül 300 kg/m^3). A hőmérsékletükben sokkal nagyobb az eltérés, a Jupiter átlaghőmérséklete 150 K , a WASP-12b exobolygó viszont 2500 K átlaghőmérsékletű. Ez a nagy különbség könnyen magyarázható a csillaguktól való távolságukkal. Míg a Jupiter $5,2 \text{ CsE}$ távolságra¹ van a Naptól, addig a WASP-12b csak $0,023 \text{ CsE}$ -re található csillagától. A WASP-12b, az egyik legforróbb exobolygó keringési ideje $1,09$ nap [8].

A csillagukhoz közel keringő égitestek tengelyforgása általában kötött,² ami azt jelenti, hogy tengelyforgási és keringési periódusuk megegyezik, tehát a bolygó mindig ugyanazt az oldalát fordítja a csillag felé. Az exobolygók ennél gyorsabb tengelyforgását az árapályerők lassítják le a keringési idő értékére, ha elég hosszú idő telt már el a rendszerben. Ez a jelenség nem ritka a Naprendszerben sem, nemcsak a Föld Holdjára gondolhatunk, hanem például a Jupiter négy nagyobb, Galilei-féle holdjára is [9].

A csillagászok szerint a WASP-12b is kötött keringésű, és mivel igen közel kering a csillagához, hatalmas árapályerők hatnak rá, amelyek következménye, hogy alakja is torzul, ellipszoidhoz lesz hasonló. A gázbolygó anyaga az erős csillagszél miatt folyamatosan távozik az exobolygóról, és üstököscsóvához hasonlóan spirálozik a csillagba. A kutatók szerint 10 millió év múlva magát a fogyó exobolygót is elnyeli a csillaga. Az igen közeli kötött keringésből adódóan a WASP-12b exobolygó csillag felőli oldala magas hőmérsékletű, míg az éjszakai oldal jóval hidegebb. Egy rendszer fényessége annak következtében is változik, hogy éppen milyen fázisban látjuk az exobolygót. Ezt a kis effektust már sikerült megfigyelni 2008-ban, a CoRoT-1b exobolygónál³ (1. ábra).

A <http://www.spacechronology.com/exoplanets.html> helyen exobolygók kutatásáról szóló kisfilm nézhető meg.

¹ 1 CsE a Föld és a Nap átlagos távolsága, mintegy $150\,000\,000 \text{ km}$.

² Animáció a kötött tengelyforgásról összehasonlítva egy nem így keringővel: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6d/Tidal_lock.gif

³ Egy kisfilm, animáció látható a következő videón: <http://www.youtube.com/watch?v=pin4Q6VDaRg>

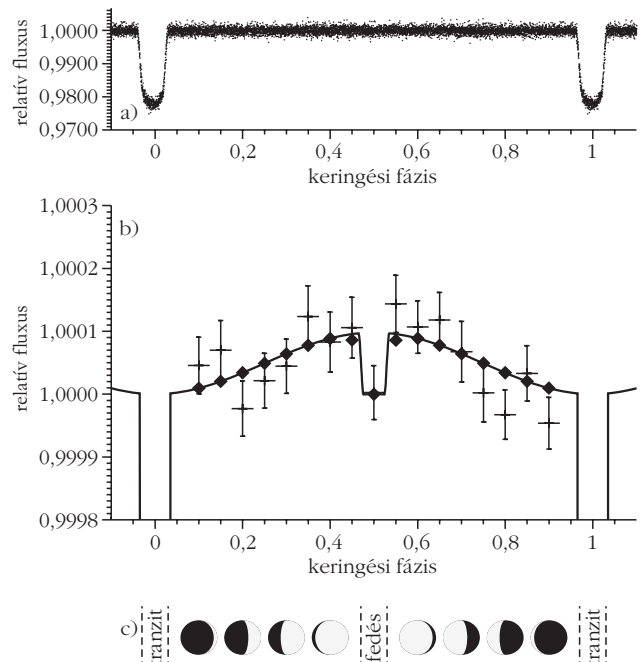
A CoRoT-1 csillag tőlünk 1500 fényévnire, a Monoceros (Egyszarvú) csillagképben lévő, Napunkhoz hasonló csillag (tömege $0,95$ naptömeg, sugara $1,11$ napsugár, felszíni hőmérséklete közel 6000 K). A CoRoT-1b exobolygó jupiter-tömegű, de sugara másfélszerese a Jupiter sugarának. Ez az exobolygó is olyan közel kering a csillagához, mint a WASP-12b, $1,5$ naponta kerüli meg azt körülbelül $0,025 \text{ CsE}$ távolságban [10]. A CoRoT-1b nevét egy űrtávcsőről kapta.

Exobolygókat kereső űrtávcsövek

Miért szükségesek az űrtávcsövek, milyen előnyei vannak az űrbeli megfigyeléseknek?

A földi légkör az elektromágneses sugárzásnak csak egy töredékét engedi át, főleg az optikai és rádiótartományokban. Űreszközökkel viszont megfigyeléseket lehet végezni más hullámhosszakon is. Az űrtávcsöves mérések további előnye, hogy folyamatosan végezhető, és a földi távcsöveknél fellépő zavaró légköri hatások sem okoznak problémát. Természetesen az űrszondák fellövése, megfelelő pályára állítása, pontos irányba fordításuk, energiaellátásuk, a kapcsolattartás velük nem egyszerű mérnöki feladat. Esetleges javítá-

1. ábra. A CoRoT-1b csillagának fénygörbéje, a keringési periódus körülbelül $1,5$ nap (a), alatta a függőleges tengely 200 -szorosán kinagyított skáláján jól látszó fázisváltozások (körülbelül $0,08$ naponkénti átlagolással) (b), míg legalul a keringési fázisokat szemléltető rajzok (c) [10].



suk is nehezen megoldható, így általában a mérések a műszerek fizikai élettartamáig tartanak.

A CoRoT (*Convection Rotation Transits*, konvekció, forgás és bolygóátvonulás) űrtávcsövet 2006. december 27-én indították. A 850 km-es magasságban, poláris pályán a Föld körül keringő űrtávcső a csillagok által kibocsátott fény változását méri egy 27 cm átmérőjű távcsővel. Félpercenként készítenek felvételeket fél éven át az égbolt ugyanazon területéről, majd a következő fél évben ellenkező irányba fordul az űreszköz, hogy a Nap mindig hátulról érje, a nap-elemeknél. A fénygörbékből nemcsak exobolygótranszitokat figyelnek meg, hanem a csillag forgására, belső energiaterjedésére is következtetnek, és asztroszeizmológiai vizsgálatokat is végeznek, hogy a csillag jellemzőit (tömeg, kor, kémiai összetétel) meghatározhassák. A megfigyelési program francia vezetéssel, több európai ország és Brazília együttműködésével keresi az exobolygókat. Hazai kutatók is részt vesznek a programban, főleg az asztroszeizmológiai kutatásokban [11, 12].

Nagyrészt csillagukhoz közel keringő forró Jupiterek fedeztek fel ezzel az űrtávcsővel, de a CoRoT-7b egy 5 földtömegű kőzetbolygó. Felfedezése igazi szenzáció volt a sok forró óriás gázbolygó megtalálása után. A CoRoT-7b is egy Naphoz hasonló csillag körül kering, amely tőlünk 480 fényévnire található, szintén a Monoceros (Egyszarvú) csillagkép irányában. A CoRoT-7 csillag 0,93 naptömegnyi, sugara a Napunkénak 0,87-szerosa, felszíni hőmérséklete 5300 K. A CoRoT-7b körülbelül 20 óránként kerüli meg csillagát, igen közel, 0,017 CsE távolságban. A Naprendszerben ez még a Merkúr távolságánál is 23-szor közelebbi pályát jelentene. Az exobolygó mérete körülbelül 70%-kal nagyobb a Földénél (sugara 0,15 jupitersugárnyi), de sűrűsége hasonló értékű, ezért gondolják kőzetbolygónak. Még a felfedezés évében, 2009-ben találtak egy újabb kőzetbolygót a rendszerben. A CoRoT-7c exobolygó kicsit nagyobb (0,026 jupitertömegű), kicsit távolabb kering a csillagjától (fél nagytengelye 0,046 CsE), de ez még mindig igen közeli, a keringési ideje mindössze 3,7 nap. Mindkét exobolygó igen forró, és kötött keringést végez. A csillag felőli oldalukon olvadt kőzetek, lávakitörések valószínűsíthetők, míg az éjszakai félteke szilárd kőzetekből áll.

2011 januárjában a Kepler-űrszonda segítségével fedeztek fel kőzetbolygót: a Kepler-10b⁴ mérete 1,4-szerese bolygónkénak, tömege pedig 4,6-szerese a Földének. Átlagos sűrűsége 8,8 g/cm³, ami a vas sűrűségénél is több. Mivel a Naphoz hasonló csillaga körül igen közel kering ez az exobolygó, a felszíne nagyon forró, így ezt is inkább „lávaóceán” borítja, mint szilárd kőzet.

A *Fizikai Szemle* korábbi számaiban több cikk is foglalkozik a Kepler és a CoRoT űrszondákkal és eredményeikkel [6, 13–15].

⁴ A <http://www.spacechronology.com/exoplanets.html> helyen a NASA kisfilmje látható erről az exobolygóról.

A Kepler-űrszonda egyik célja Földünkhöz hasonló exobolygók keresése. Az ötlet már 1971-ben megjelent *F. Rosenblatt* cikkében, amelyben arról írt, hogyan lehet az exobolygók méretét és keringési periódusát meghatározni a tranzitmódszer segítségével [16]. 1984-ben *W. J. Borucki* és *A. L. Summers* is foglalkozott ezzel a témával, és megállapították, hogy a földfelszínről történő megfigyeléssel csak nagyobb, Jupiter méretű égitestek fedezhetők fel fotometriai módszerrel [17]. A kisebb, Föld méretű planéták észleléséhez az űrbe kell telepíteni a távcsövet. A hosszú előkészítés meghozta gyümölcsét, a 2009. március 7-én felbocsátott Kepler-űrszonda ontja az új felfedezéseket, köztük, ahogy várták, a kisebb, Földhöz hasonló exobolygókét is.

A Kepler-űrtávcső Nap körüli pályán kering, 372,5 napos periódusidővel. A folyamatos megfigyeléshez fontos, hogy a távcső látómezeje távol legyen az ekliptikától, hogy se a Hold, se a Nap ne takarja el a megfigyelt égiteret. A galaktikus síkhoz Hattyú és Lant csillagképek határán lévő, nagy csillagsűrűségű területre esett végül a választás, az ott lévő csillagokból 150 000-et figyel meg az 1,4 m átmérőjű Kepler-űrtávcső. Ez a megvizsgált terület az éjszakai égbolt négyszázad része. Az adatok kiértékelésében, elemzésében, a megerősítő észlelésekben magyar csillagászok is eredményesen vesznek részt [18].

A missziót még legalább három évre meghosszabbították, így hosszabb periódusú exobolygók felfedezése is várható. A Kepler-űrtávcső segítségével közel 80 exobolygót fedeztek fel három év alatt, és több mint kétezer bolygójelöltjük is van. Azonkívül, hogy Földhöz hasonló exobolygókat is találtak, több exobolygórendszert is felfedeztek az űrtávcső segítségével, köztük olyat is, amelynek 5-6 bolygója van. A Kepler-11⁵ a Naphoz hasonló csillag tőlünk 2000 fényévnire található, és körülötte hat exobolygót fedeztek fel. Mind a hat bolygó nagyobb a Földnél és közelebb keringenek csillagukhoz, mint a Vénusz a Naphoz.

A Kepler-programban először földi távcsövekkel már korábban felfedezett exobolygók fénygörbéjét vizsgálták, például a HAT-P7b-ét.⁶

Magyar vonatkozások

A HAT kezdetű rövidítések egy magyar exobolygó-kutató csoportra, a HATNet-re utalnak. A Magyar Automatikus Távcsőhálózat angol megfelelőjének kezdőbetűiből adódik a rövidítés (Hungarian Automated Telescope Network). *Bakos Gáspár* vezetésével tervezték a 11 cm átmérőjű automatizált távcsöveket. Az elkészítésben *Sári Pál* gépészmérnök, *Papp István* elektromérnök és *Lázár József* szoftvermérnök

⁵ A NASA animációja: <http://www.youtube.com/watch?feature=endscreen&NR=1&v=uo4xOz6iWlk>

⁶ Ilyet láthatunk a Kepler-2b animációján: <http://kepler.nasa.gov/Mission/discoveries/kepler2b>

segített. 2001-ben készült el az első távcső, és azóta már több helyszínre (Arizona, Hawaii, Izrael, Chile, Namíbia és Ausztrália) telepítettek belőlük. 2006 augusztusában került sor a magyar HATNet csoport első exobolygó felfedezésére (HAT-P-1b), az Arizonában telepített robottávcsövekkel [19]. Egy távoli kettőscsillag halványabb tagja körül igen közel kering a fél jupitertömegű HAT-P-1b elnevezésű exobolygó 4,5 napos periódussal. 2009-ben találtak egy retrográd, vagyis csillagának forgásával ellenkező irányban keringő bolygót (HAT-P-7b).

Az American Astronomical Society fiatal kutatóknak adható rangos elismerését, a Newton Lacy Pierce díjat, 2011-ben honfitársunknak, Bakos Gáspárnak, az egyik legeredményesebb exobolygóvadásznak ítelték.

Az exobolygók változatos világa

Már közel 900, Naprendszeren kívüli bolygót ismerünk, az első 17 évvel ezelőtti felfedezése óta. Milyenek ezek az exobolygók? Sokfélék. A kezdeti felfedezésekből már látszott, hogy nem tudunk az exobolygók vagy rendszereik tulajdonságaira a mi Naprendszerünk alapján következtetni. Pályájuk nagyon változatos, több közülük nagy excentricitású ellipszisen mozog. Sok a Jupiternyi vagy annál nagyobb tömegű exobolygó, és közelebb keringenek csillagukhoz, mint a Merkúr a Naphoz, de találtak számunkra szokatlanul messze haladót is. Amíg a Naprendszerben a bolygók közel egy síkban keringenek, a Nap forgásával egy irányban, addig vannak olyan exobolygópályák, amelyek jelentősen eltérnek csillaguk egyenlítői síkjától, és akadnak retrográd bolygók is. Változatos képet mutatnak az exobolygók gazdacsillagai is. Mindenféle csillag körül találtak már bolygót, lehet kis tömegű vagy óriás, és tarthat a csillagfejlődés bármelyik szakaszán. A csillagok több mint fele kettős vagy többes rendszer tagja, ismerünk exobolygókat ilyen rendszerekben is. Egy hármas csillagrendszer egyik tagja körül keringő exobolygó, a Gliese 667Cc felszínén meglepő látvány fogadna minket, ott három „Nap” is ragyog az égen (2. ábra).

Egy kis tartomány viszont üres az igen változatos exobolygóvilágban, létezik egy úgynevezett „kis Jupiter sivatag”. Ez azt jelenti, hogy a csillaghoz közel vagy nagy gázóriások vagy kisebb kőzetbolygók találhatóak, de Neptunusz tömegű exobolygót még nem figyeltek meg csillagjához közel keringeni. Erre az érdekességre magyar csillagászok is keresik a magyarázatot [15].

Mai ismereteink alapján úgy gondoljuk, hogy élet a csillagok körül az úgynevezett *lakhatósági zónán* belül keringő exobolygókon vagy holdjaikon lehetséges, ezért is fontos ezek keresése, tulajdonságaik vizsgálata, ami csak fizikai, asztrofizikai kutatásokkal lehetséges. Diákjaink is sokszor találkoznak földönkívüli világokkal a filmekben és a számítógépes játékokban. A távoli bolygók, bolygórendszerek ismerete segít saját planetánk és Naprendszerünk megismerésében is.



2. ábra. Fantáziakép a Gliese 667Cc-ről, ahol három „Nap” is ragyog az égen. Ez az exobolygó egyike annak a kilencnek (2012. decemberi állapot szerint), amelyek akár lakhatók is lehetnek.

A csillagászati és geológiai folyamatok nem emberi léptékűek, tanulmányozásuk ezért igen nehéz. Az égbolton viszont különböző korú rendszereket figyelhetünk meg, így pontosabb képet alkothatunk a bolygók keletkezéséről, a bolygórendszerek fejlődéséről, jövőjéről. Kíváncsiak vagyunk arra is, hogy mennyire egyedi, vagy éppen átlagos a Naprendszerünk.

Az exobolygókkal kapcsolatos ismeretekkel érdekesebbé tehetjük a fizikaórákat mind a Kepler-törvények és világképek tanításánál, mind a csillagászat tananyagrésznél, és megemlíthető ez a témakör a fénytannál is, mint a spektroszkópia egy alkalmazása. Természetesen földrajzórakon is létjogosultsága van a témának.

Az elmúlt húsz évben az exobolygó-kutatás rohamos fejlődésnek indult. Jóllehet sok ismeretnek nem vagyunk még birtokában, az elért eredményeket érdemes és fontos ismertetni érdeklődő diákjainkkal.

Irodalom

- L. Hebb, és mtársai: WASP-12b: The hottest transiting extrasolar planet yet discovered. *The Astrophysical Journal*, 693 (2009) 1920–1928.
- Marik Miklós (szerk.): *Csillagászat*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1989.
- I. A. G. Snellen, E. J. W. de Mooij, S. Albrecht: The changing phases of extrasolar planet CoRoT-1b. *Nature* 459 (2009) 7246, 543–545.
- <http://www.konkoly.hu/HAG/index.html>
- <http://www.scienceinschool.org/2009/issue13/corot/hungarian>
- Paparó Margit: Asztroszeizmológia és exobolygó-kutatás. *Fizikai Szemle* 58/2 (2008) 46–50.
- Balázs Lajos: Az űrcsillagászat európai útiterve. *Fizikai Szemle* 60/10 (2010) 325–331.
- Szabó M. Gyula, Simon Attila, Szalai Tamás: Újdonságok az exobolygók világából. *Fizikai Szemle* 61/7–8 (2011) 217–222.
- F. Rosenblatt: A Two-Color Photometric Method for Detection of Extrasolar Planetary Systems. *Icarus* 14 (1971) 71.
- W. J. Borucki, A. L. Summers: The photometric method of detecting other planetary systems. *Icarus* 58 (1984) 121–134.
- http://www.konkoly.hu/KIK/index_hu.html
- <http://www.cfa.harvard.edu/~gbakos/HAT/>

II. SZALAY SÁNDOR FIZIKA EMLÉKVERSENY

Leitner Lászlóné

Nyíregyházi Evangélikus Kossuth Lajos Gimnázium

Szalay Sándor professzor (1909–1987) egykori iskolájának falai között 2012. október 5-én és 6-án lezajlott a második alkalommal megrendezett emlékverseny.

A verseny a 2011–12 tanév második félévében került meghirdetésre az ország evangélikus intézményei között, de meghívást kaptak egyéb felekezetek által fenntartott oktatási intézmények is. A második versenyen így az ország tíz intézménye, húsz induló csapattal képviseltette magát.

A verseny formáját tekintve, az előző megmérettetéshez képest nem történt változás: a tanulók három korcsoportban, csapatban mérték össze tudásukat; a korcsoportokban a versenyfeladatok részben eltérőek voltak. A csapat összetételét tekintve feltétel volt, hogy a csapattagok különböző évfolyamúak, vagy ha ugyanazon évfolyamról érkeznek, különneűek legyenek.

A verseny tartalmát tekintve a következő részekre osztható: zárt, valamint nyílt végű, rövid választ igénylő feladatsor megírása, animációelemzés, kísérleti terv, eszköz és jegyzőkönyv készítése, kísérlet bemutatása, prezentáció összeállítása.

A *zárt végű feladatsor* mindhárom korcsoport számára hasonló volt: a 7–8. évfolyamon *munka, energia*; a 9–10. évfolyamon *munka, energia, hő*; a 11–12. évfolyamon *munka, energia, hő, tömeg-energia, kötési energia*.

A feladatsor 20 kérdést tartalmazott, amelyek mindegyikére négy lehetőség közül kellett kiválasztani az egy helyes választ.

A rövid választ igénylő *nyílt végű feladatsorok* témáit az előző év aktuális természettudományos eseményei adták. Az egyes események alapján cikkgyűjteményt kaptak a versenyzők, amelyből kézzel írt, meghatáro-

zott méretű vázlatot készíthettek, amit a feladatrész megírásakor segédeszközként használhattak.

A témák a következők voltak:

Fizikai Nobel-díjat ért az Univerzum gyorsuló tágulásának felfedezése

Új Plútó-holdat fedeztek fel

Aktivitás hiányában elmaradhat a 25. napsíkusz

A kvantumok világának kutatója

Isteni részecske: hadd látom, úgymond, mennyit ér a tömegtartomány?

Így lehetne a pincébe is napelemet szerelni

Az első magyar műhold igaz története

Lezuhant a műhold

A csapatok mindegyike ugyanazt a kérdéssort kapta. A feladatlap 40 kérdést tartalmazott, amelyből a versenyzőknek kellett kiválasztani azt a húsz kérdést, amelyekre a helyes választ tudják, vagy tudni vélik.

A *számítógéppel segített kísérletek* a következők voltak:

Pascal törvénye: <http://demonstrations.wolfram.com/PascalsSyringe>

Felhajtóerő 1: <http://demonstrations.wolfram.com/NatatoryBladderOfAFish>

Felhajtóerő 2: <http://demonstrations.wolfram.com/FloatingBall>

A csapatok választhattak a három ajánlott link közül. A kiadott utasítások elvégzését elektronikusan dokumentálták, és az így elkészített elektronikus jegyzőkönyvet továbbították a megadott címre.

A versenyre való jelentkezés feltételei között szerepelt egy *előzetesen elkészített kísérleti összeállítás*, valamint jegyzőkönyv beküldése. Az ehhez kapcsolódó kísérleti eszközt a versenyzők a verseny napján magukkal hozták, és azt társaiknak bemutatták. A

1. ábra. Fizikai kísérlet saját eszközzel: játssz a tüzzel!



2. ábra. Fizikai kísérlet saját eszközzel: „szifonrakéta-autó”.





3. ábra. Kovách Ádám tart emlékbeszédet a koszorúzás előtt.

kísérleti bemutató alapelve Szalay Sándor hagyatékát hivatott ápolni: a versenyzők szinte minden eszközt maguk készítettek, vagy a mindennapokban használatos eszközök közül a kísérleti célnak megfelelő formálással alakították át (1. és 2. ábra).

A versenyen a csapatoknak még egy kísérletet kellett elvégezniük. Ehhez a felkészülés során segítséget adtunk: a KöMaL interneten fellelhető egyszerűbb kísérletei közül előzetesen húszat elküldtünk minden nevező csapathoz, a verseny helyszínén, a regisztráció alkalmával ezek közül véletlen választással kaptak a csapatok egy, az életkoruknak megfelelő feladatot. A verseny napján a kísérlet, esetenként mérés elvégzése mellett jegyzőkönyvet is készítettek a versenyzők.

Mind a véletlen választással kapott kísérlet elvégzése, mind a számítógéppel segített kísérleti elrendezés elemzése a helyszínen történő szakmai megbeszéléssel zárult: minden csapat beszámolt az általa végzett munka fizikai háttéréről, válaszolt a feltett kérdésekre.

Az elkészítendő előadások lehetséges témái, amelyek közül minden korosztálynak egyet kellett elkészítenie, és a versenyre magával hoznia a következők voltak:

7–8. évfolyam: ingókövek egyensúlya, szivárvány, a Hold színei, fata morgana

9–10. évfolyam: világitás LED-del, űrszemét a Földön, aszteroidák a Föld közelében, a Föld atomreaktorai

11–12. évfolyam: sötét anyag, UFO az Ural felett, HAARP, teresztrikus bolygók

Természetesen nem feledkeztünk meg a verseny létrehozásának „atyjáról”, Szalay Sándorról sem: emléktáblájánál rövid beszédet mondott, és koszorút helyezett el Kovách Ádám, aki a verseny első lépésétől kezdve a zárás utolsó mozzanatáig szakmai szempontból ügyelte és segítette a munkánkat, támogatott a felmerült akadályok legyőzésében (3. ábra). Elhelyezte az emlékezés koszorúját a versenyzők, és az intézmény nevében Tar Jánosné, a Nyíregyházi Evangélikus Kossuth Lajos Gimnázium igazgatója, aki a versenyt házigazdaként második alkalommal is támogatta és segítette.

A verseny második napján, amíg a csapatok a feladatokat végezték, a felkészítő tanároknak előadásokkal készültünk. Az események végén, az eredmények kihirdetése előtt a versenyzők kellemes kikapcsolódásban vehettek részt Tóth Pál és a Fizibusz közreműködésével.

A verseny értékelésekor mindhárom kategóriában három díjat osztott ki a zsűri:

Az I. kategóriában (7–8. évfolyam):

1. helyezést ért el Csoma Rita, Baranyi Marcell, a Deák Téri Evangélikus Gimnázium, Budapest diákjai, felkészítő tanáruk Szőkéné Mezősi Tímea

2. Gémes Imre, Gémes Antal (Bethlen Gábor Református Gimnázium, Hódmezővásárhely, Berecz János)

3. Csapó Márton, Jenei Benjamin (Jókai Mór Református Általános Iskola, Nyíregyháza, Borai Ágnes)

A II. kategóriában (9–10. évfolyam)

1. Csathó Botond, Gacsályi Anna (Debreceni Református Kollégium Dóczy Gimnázium, Tófalusi Péter)

2. Horváth Szandra Vivien, Mezei Szabolcs (Sztehlo Gábor Evangélikus Óvoda, Általános Iskola és Gimnázium, Budapest, Csatlós Mária)

3. Bősze Zsófia, Szász Norbert (Bonyhádi Petőfi Sándor Evangélikus Gimnázium és Kollégium, Wiandt Péter)

4. ábra. A verseny résztvevői.



A III. kategóriában (11–12. évfolyam):

1. *Györfi Mónika, Takács Gábor* (Bonyhádi Petőfi Sándor Evangélikus Gimnázium és Kollégium, Wiandt Péter)

2. *Boda Bence, Gregus Andor* (Aszódi Petőfi Sándor Evangélikus Gimnázium, Osgyáni Zoltán)

3. *Horváth Niké Debóra, Csurai Kornél Egon* (Sztehlo Gábor Evangélikus Óvoda, Általános Iskola és Gimnázium, Budapest, Csatlós Mária)

Az MTA ATOMKI különdíját – egynapos intézetlátogatást útiköltséggel és ebéddel – kapta az Aszódi Petőfi Sándor Evangélikus Gimnázium csapata és tanáruk a kiemelkedő kísérletezésért.

Minden résztvevőnek (4. ábra), díjat felajánlónak és nem utolsó sorban a szervezésben-lebonyolításban segítséget nyújtó, fizikát, diákokat szerető, hagyományokat tisztelő segítőknek köszönettel tartozunk az áldozatos, lelkiismeretes munkáért.

ORSZÁGOS SZILÁRD LEÓ FIZIKAVERSENY 2012/2013 – EMLÉKEZTETŐ

Fordulók

Az *első forduló* időpontja 2013. február 25. 14–17 óráig. A verseny a jelentkező iskolában kerül lebonyolításra.

A *második forduló* (döntő) 2013. április 19–21. között kerül megrendezésre az Energetikai Szakközépiskola és Kollégiumban, Pakson.

A versenyzők minden szokásos segédeszközt (füzetek, könyvek és zsebszámológépek) használhatnak. Audio vagy internetes kommunikációra alkalmas eszközök (mobiltelefon, iPad, netbook stb.) használata szigorúan tilos. A feladatlapokat a javítókulccsal együtt a Versenybizottság küldi meg a benevező iskolának a jelentkezések számának megfelelően.

A versenybizottság a beküldött dolgozatokat ellenőrzi, majd az első forduló eredményéről legkésőbb 2012. március 29-ig értesíti a döntőbe jutott tanulók iskoláit. A versenybizottság a 2. fordulóra az I. kategóriából maximum 20 tanulót, míg a II. kategóriából maximum 10 tanulót hív be.

A 2. fordulóban a tanulók elméleti, mérési és számítógépes feladatokat oldanak meg, amelyeket a helyszínen a Versenybizottság értékel.

A versenyen való részvétel kizáró okai

A versenyfeltételek be nem tartása a versenyből való kizárást eredményezheti. Például:

- a versenykiírásban kiírt kategóriától eltérő kategóriában való indulás,
- nem megengedett segédeszköz használata.

A verseny témája, ismeretanyaga, felkészüléshez felhasználható irodalom

A verseny a középiskolás tananyag modern fizikai – elsősorban magfizikai-sugárvédelmi – fejezeteinek alkalmazás szintű tudását és környezetvédelmi alapismereteket kér számon.

A kijelölt témakörök a következők:

Mikrorészecskék leírásának alapjai, az anyag kettős természete.

Hőmérsékleti sugárzás törvényei, fotonok, fény-elektromos jelenség, Compton-jelenség.

De Broglie-összefüggés, elektronok interferenciája.

Heisenberg-féle határozatlansági összefüggés.

A hidrogénatom hullámmodellje.

A kvantumszámok szemléletes jelentése: 's', 'p', és 'd' állapotok.

Az elemek periódusos rendszerének atomszerkezeti magyarázata.

Az atommag és szerkezete: proton, neutron. Rendszám és tömegszám. Magerők és kötési energia. Radioaktivitás: felezési idő, gamma-, béta- és alfabomlás.

Maghasadás, neutron-láncreakció. Atombomba, atomreaktor, atomerőmű. Atomenergia felhasználásának lehetőségei, szükségessége és kockázata. Sugárvédelmi alapismeretek.

Magfúzió, a Nap energiatermelése.

Hevesy György (radioaktív nyomjelzés), *Szilárd Leó, Wigner Jenő* (atomreaktor) munkássága,

Részecskegyorsítók működési elvei.

Környezetvédelmi alapismeretek: például CO₂ és az üvegházhatás, ózonlyuk, radonprobléma, radioaktív hulladék elhelyezése.

A felkészülésre javasolt segédanyagok

Országos Szilárd Leó Fizikaverseny feladatai és megoldásai 2005–2010.

Országos Szilárd Leó Fizikaverseny feladatai és megoldásai 1998–2004.

Simon Péter – Szabó Attila: *Modern fizika szakköri füzet.*

Marx György: *Atommagközelben.*

Marx György: *Életrevaló atomok.*

Tóth Eszter, Holics László, Marx György: *Atomközelben.*

Radnóti Katalin (szerk.): *Így oldunk meg atomfizikai feladatokat.*

Radnóti Katalin (szerk.): *Modern Fizika CD.*

Az eredmények közzétételének módja

A döntőben a nyertes versenyzők a díjakat a versenyt közvetlenül követő ünnepélyes eredményhirdetésen vehetik át, amelyre a helyi média képviselői is meghívást kapnak. Az egyes fordulók eredményei megtekinthetők a www.szilardverseny.hu honlapon. A versenyről beszámoló cikk készül a *Fizikai Szemle* részére.

Díjazás

Az országos döntőbe bejutott valamennyi tanuló könyvjutalomban részesül. Kategóriánként az 1–3. helyezettet az ESZI Nevelési Oktatási Alapítvány egy-szeri ösztöndíjban részesíti.

A legeredményesebb felkészítő tanár – a verseny honlapján megtekinthető pontverseny alapján – Szi-

lád Leó Tanári Delfin-díjban részesül. A Marx György Vándordíj a versenyen legjobb eredményt elért iskoláé lesz.

A szervezők elérhetősége

A versenybizottság vezetője *Sükösd Csaba* egyetemi docens, BME Nukleáris Technika Tanszék. 1521 Budapest, Műegyetem rkp. 9. e-mail: sukosd@reak.bme.hu, tel.: (1)-463-2523, fax: (1)-463-1954.

Az első forduló előkészítésében a verseny felelőse *Csajági Sándor*, az Energetikai Szakközépiskola és Kollégium igazgatóhelyettese, 7030 Paks, Dózsa György út 95. e-mail: info@szilardverseny.hu, tel.: (20)-492-3179.

A döntő szervezésében a verseny felelőse *Krizsán Árpád*, az Energetikai Szakközépiskola és Kollégium tanára, tel.: (75)-519-352, fax: (75)-414-282.

KÖNYVESPOLC

Hargittai István: AMBÍCIÓ ÉS KÍVÁNCISISÁG, AVAGY MI HAJTJA A TUDOMÁNYOS FELFEDEZŐKET?

Akadémiai Kiadó Budapest, 2012, 331 oldal

A könyv és címe többnyire két különböző dolog. A Tom Jones vagy Anna Karenina típusú címadás itt nem ajánlható a túl sok név miatt. Főszereplő híján marad a minden esetben feltehető kérdés: *Mi hajtja a tudományos felfedezőket?*

Hargittai István évtizedek óta faggatja korunk jelentős tudósait életükről, gondoljaikról, sikereikről. Írt könyvet a tudományos eredmények mértékadó elismeréséről, a Nobel-díjról, annak történetéről, előírásairól, különösségeiről. Legújabb könyvében 15 esettanulmányban nagy felfedezések történetéről számol be. A könyv címe alapján ambíció és kíváncsiság lehetne a közös elem, amelyik mindegyikben előfordul. Természetesen valóban előfordul, de mindegyik esetben más a jelentése, a jelentősége.

A kíváncsiság a tudásvágyból fakadó intellektuálispszichológiai jellemvonás – olvashatjuk a közkeletű meghatározást. Attól függően, hogy tudásvágyunk mire irányul, lehetünk mondjuk botrányok után szimatoló újságírók vagy természettudósok. Ha eredményesek akarunk lenni, akkor mindkét esetben elengedhetetlen az ambíció, ami buzgalmat, odaadást, lelkesedést, törekvést, dühödtséget elszánást vagy bármi hasonlót jelenthet.

A magyar kiadás előszavában *Georg Klein* még egy ismételt hozzávesz a másik kettőhöz: „Egy harmadik

szó hiányzik. Angolul a *Drive and Curiosity* címhez szeretném hozzátenni ezt a harmadik szót: *Excitement*. Ez a szó talán nem mond annyit a laikusnak, mint a tudományos kollégának. ...az *excitement* az Ariadne-fonal, amely mutatja az utat a tizenöt különböző tudományterület és egyéniségek labirintusában. Hogyan lehet a tudományos kutató *excitement*-jét magyarra lefordítani?” Klein alaposan körüljárja a feladatot, különböző példákat hoz fel és végül nem lefordít, hanem érzékelteti a jelentést. A sikerrel biztató izgatottságra meglepő, de találó példája „a technikailag tökéletes kasszaferó a tökéletes bűncselekmény alatt”.

Tehát ezzel a harmadik ismérvvel sem jutottunk messzebb egy tehetséges kasszaferónál. Szerencsére Hargittai nem definíciót keres az eredményes természettudós fogalmára, hanem sikeres kutatókat mutat be kellő közelségből, hogy az olvasó maga bogarászsa ki azt, ami szerinte a siker záloga.

A *Könyvespolc* rovat a *Fizikai Szemle*ben nem a kritikáknak, hanem az ajánlásoknak ad helyet. Elvileg itt lehet megtudni, hogy melyik könyvet miért érdemes elolvasni. Hargittai Istvánnak ezt a könyvét azért a hozzáértésért, bennfentességért és empátiáért, amivel az egyes kutatókhoz és eredményeikhez

közélt. Amiért nem tesz úgy, mintha lenne egy mindenre érvényes válasz, hanem elmondja az egyes történeteket és az olvasóra bízta a felelet megfogalmazását.

Mint minden közösségben, a kutatók között is vannak fekete bárányok – általában a legcsekélyebb mértékben sem birkaszerűek – akiket a többség kiközösít. Sokszor elég egy név – mint *Teller* esetében *Oppenheimeré* – és mindenki előtt felkődlik az ősbűn, az árulás. Hargittai körültekintőbb, ő mindent elkövet, hogy a történetet minél teljesebben megismerjük.

Ugyanígy jár el a jóval szűkebb körben ismert másik kitagadottal, *Kary Mullisszal*, a polimeráz láncreakció felfedezőjével. A polimeráz láncreakció tette lehetővé a DNS-fragmentumok korlátlan másolását és ennek hasznosítását az orvosi diagnosztikában, kriminológiában és egyéb területeken. Ám amikor hosszadalmas szabadalmi pereskedés után Mullis eljut 1993-ban a Nobel-díjig, meglehetősen magára marad. A teljes kiközösítéshez az ezután megjelentetett, nem szokványos című (*Meztelenül táncolva az agymezőn*) könyv egyes tudományos tételeket is kétségbevonó állításai vezettek. Hargittai most sem csatlakozik a megbotránkozottakhoz: „Összeütközéseit a tudomány fősodrába tartozó kutatókkal saját különlegességével magyarázza. A vele folytatott beszélgetés alapján nem tűnik olyan elvetemültnek, mint ahogyan a média gyakran ábrázolja. Kedvesnek, bátortalannak és sebezhetőnek tűnt, és határozottan van önironiája. Írói ambícióit nem adta fel. A Nobel-díj hozzásegítette, hogy megjelentesse első könyvét, de azóta nem írt újabbat, és egy újabb Nobel-díj hiányában kérdéses, hogy találna-e kiadót egy második könyvre.” Ez a barátságos hangvétel olyannyira nem tükrözi az elfogadott véleményt, hogy a könyv két előszava is vitába száll a szerzővel Mullis megítélését illetően. Minthogy tekintélyes tudósok véleményéről van szó, a szerzővel folytatott vitájuk élesen világít rá, hogy a kutatói életművek megítélése nem nélkülözheti a szubjektív elemeket.

Valamint arra is, hogy ezt a 15 történetet, esettanulmányt, a hozzájuk kapcsolódó életutakat csak az mutathatta meg összetettségükben, aki ismerte (ismeri) a szereplőket, szót ért velük. Az esetek többségében létezik a személyes ismeretség, sokszor barátság, és abban a néhány esetben, amikor nem, a környezet, a munkakörülmények, a korszak személyes ismerete képes pótolni ezt a hiányt.

A szereplők elsősorban vegyészek és fizikusok, nem feltétlenül a diploma, inkább a kutatási terület alapján.

Nobel-díj járt fontos gyógyító molekulák felfedezéséért, és igen érzékeny radioaktív nyomkövető eljárás kidolgozásáért. Vegyész és fizikus osztoztak azon a díjon, amelyet napjaink egyik alapvető diagnosztikai eljárása, az MR-technika kidolgozásáért adtak. A kvázikristályok felfedezéséért 2011-ben odaítélt kémiai Nobel-díj elsősorban az állhatatosságot jutalmazta, amellyel „az ilyen kristály nincs” alapon álló tudományos közvéleménnyel kellett megküzdeni.

Hasonlóképpen meg kellett küzdeni a vezető polimerok felfedezésének elismertetéséért. A CFC-vegyületek ózonpusztító hatásának felismerését 1995-ben jutalmazták kémiai Nobel-díjjal, ám húsz évvel korábban az ellenérdekelt vegyipar még KGB-ügynöknek állította be a kutatókat, akiknek célja az amerikai vegyipar szétverése.

Nem minden jelentős és eredményes kutatás végződik Nobel-díjjal. Hargittai képes értékelni a szokatlan elismeréseket. Idéz *Primo Levi Periódusos rendszer* című könyvéből: „1962-ben egy szorgalmas kémikusnak hosszan tartó és ötletes munka eredményeként sikerült arra kényszerítenie az Idegent (a xenont), hogy összekapcsolódjon a rendkívül mohó és életrevaló fluorral. A rendkívüli teljesítményt Nobel-díjjal jutalmazták.” A szorgalmas kémikus ugyan sohasem kapott Nobel-díjat, de a kémikus végzettségű Levi főhajtása Hargittai számára elegendő méltánylás a nemesgáz atomokkal alkotott vegyületek kémiájának felfedezéséért.

Ugyancsak elismeréssel adózik a peptidek előállításában új és jelentős módszert, a kombinatorikus kémiát kidolgozó *Furka Árpádnak*, akinek elszánt küzdelme módszere elfogadásáért végül eredményre vezetett. Esetében a kíváncsiság mellett a szokásos értelemben vett ambíció lehetőségéért kellett megküzdeni, azért, hogy a kutató pálya egyáltalán felmerülhessen. Hargittai szerint „Furka és a kombinatorikus kémia története jó példa arra, hogy a tudomány perifériáján is születhetnek nagyszerű felfedezések, bár példa arra is, hogy a perifériáról még a tudományban is nehéz elismerést szerezni”. (146. oldal)

A sikertörténetek között egészen nagy nevek és széles körben ismert életpályák is bemutatásra kerülnek. Hargittai még a kettős spiráljáról híres *James Watson*ról és a fehérjeszerkezetet megfejtő *Linus Pauling*ról is rendelkezik új információkkal.

A legemlékezetesebb történetek a könyv végére maradt Nobel-díj nélküliekről szólnak, politikai rendszerek menekültjeiről: *Szilárd Leőről*, *Teller Edéről* és *George Gamow*ról. Tellerről két éve jelent meg a szerzőtől egy ötszáz oldalas monográfia, nem csoda, hogy minden oldalról ismeri, tudja, hogy alkotásainak jelentős részét a rá nehezedő nyomás inspirálta. Szilárdot a világjobbító szándék ösztönözte, míg a Nagy Bumm modelljét javasló „Gamow vezérlőcsillaga a kíváncsiság volt”. (273. oldal)

Befejezésül a szerző levonja a minden emberi tevékenységre érvényes tanulságot: „...a legtöbb, amit tehetünk, ha azzal foglalkozunk, amiben a legjobbak lehetünk.” Ez kétségen kívül sikerült a biopolimerok szekvenálásáért kémiai Nobel-díjjal kétszer is kitüntetett *F. Sanger*nek, aki „arra a kérdésre, hogy mi volt két Nobel-díjának fő hozadéka, azt válaszolta, hogy a biztos állás és a kiváló munkakörülmények”. (119. oldal) Hargittai érvelésének ereje abban van, hogy képes bemutatni: Sanger válasza nem pőz, hanem emberi-kutatói stílusának adekvát kifejezése.

Füstöss László

Roger Penrose: AZ IDŐ CIKLUSAI

– Az Univerzum radikálisan új szemlélete

Fordította: Gilicze Bálint, Akadémiai Kiadó, Budapest, 2011

A cambridge-i egyetem asztrofizika professzora, *Roger Penrose* angolul 2010-ben megjelent könyvének kerettörténetében Priscilla néni unokaöccsének magyarázza, miért és hogyan tudja meghajtani a magasról lezúduló víz a malomkereket, és miért jutunk így felhasználható energiához. A képzeletbeli asztrofizikus klasszikus mechanikával kezd, néhány oldalt szán a termodinamikára, és végül eljut a Nagy Bumm elmélethez, rögtön megemlítve a gondokat a második főtétellel. Hiszen ennek a törvénynek megfelelően az entrópiának növekedni kellene, az Ősrobbanás idején viszont bizonyára nagy volt a rendezetlenség, talán nagyobb is mint most. Hogyan lehetséges ez? Mi a megfejtés?

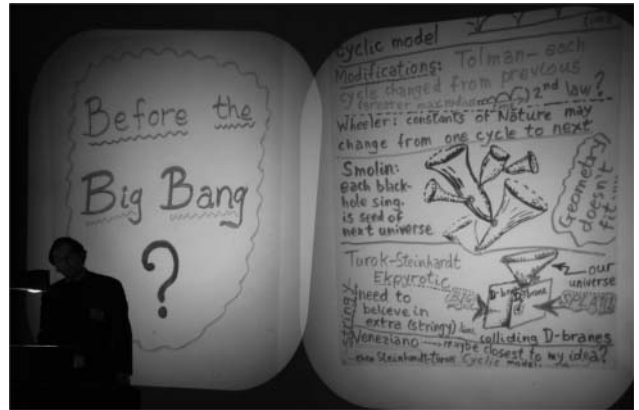
A megfejtést nem ismerjük, de a kozmológia oxfordi géniusza – nem tudjuk, milyen kapcsolat áll fenn Penrose és az általa kitalált Priscilla néni között, aki történetesen pont a rivális cambridge-i egyetemen, *Stephen Hawking* munkahelyén dolgozik, ahol egyébként Penrose eredetileg végzett – ezt követően mintegy 250 oldalon bemutat egy lehetséges megoldást, miután célirányosan tervezett gyorstalpalót tart a speciális és általános relativitáselméletből, kozmológiából, odacsempészve jó sok matematikát, elsősorban geometriát.

Ez a lehetséges megoldás a válasz a néhány évtizedes tetszhalottság után újjászületni látszó kozmológiai konstans által okozott nagy paradoxonokra. A szerző melleleg pedig felvázol egy szcenáriót a világ teremtésére, keletkezésére, más szóval arra, hogy mi is volt a Nagy Bumm előtt, meg arra, hogy mi lesz a Nagy Reccs után vagy helyett, jó sokára. A szcenárió elnevezés félrevezető ugyan, hiszen a Penrose univerzumát időről időre benépesítő tömeg nélküli részecskék világában hiányzik az idő, mint olyan, így a történet tulajdonképpen bizonyos pontokon *nem történik*.

Nos, ez a lehetséges megoldás pedig igen meglepő. Végtelen sora Nagy Bummoknak és azt követő ugyancsak végtelen fejlődési szakaszoknak, eónoknak,¹ amelyek trükkösen vannak összefűzve egymással. Minden eón időszerű végtelenje a következő Nagy Bumba torkollik, végtelenné és ciklikussá téve Univerzumunkat. A modell másfelől megnyugtató, mert természetes módon foglalja magába a fermionok és bozonok aszimmetriáját éppúgy, mint az általános relativitáselmélet kívánatos Weyl-görcsület hipotézisét.

Nem nehéz elhinni, hogy ez a világ szingularitásokban gazdag, ahol mennyiségeink, klasszikus, de kvantumfizikai törvényeink is furcsán viselkednek. „...a Természet bizonyos esetekben túllép az unitér

¹ Az eón a földtörténeti időskálán a legnagyobb tagolási időegység. A szó a görög aionból származik.



Sir Roger Penrose előadás közben.

fejlődésen, és ez akkor következik be, amikor a gravitáció komolyan (ha finom formában is) belép a képbe” – írja Penrose. Az is lehetséges tehát, hogy valahol a szingularitásokban megszűnik létezni az általunk ismert fizika, az a fizika, amelynek törvényeit követve jutottunk erre a következtetésre. A Nagy Reccs illetően módon nem csak az Univerzumra, hanem az azt leíró tudományra is vonatkozik.

A könyv elejétől a végéig olyan, mint egy bűnügyi regény. 10-12 oldalas fejezeteiben bemutat egy-egy elméletet, gondolatot, definiál fogalmakat, hogy aztán a fejezet vége felé rendre elbizonytalanítson, felvillantsa, mi a gond ezekkel az elméletekkel, gondolatokkal, fogalmakkal. Így tesz többször is a második főtétellel, és így vezet át egyik entrópiadefinícióból a másikba. De ugyanezt az eljárást követi, amikor a Nagy Bumm-mal kapcsolatos elméleteket tárja elénk. Mintha kuhni² válságok sora kelne életre a szemünk előtt. Ez az írói módszer valóban izgalmasá teszi a könyvet azok számára, akik birtokában vannak mindannak a matematikai és fizikai apparátusnak, amely az elmondottak egyenletes, az olvasó által elfogadhatónak ítélt szintű megértéséhez kell. Érdekes azoknak is, akik megelégszenek a Penrose által biztosított kvázi-megértéssel, más szóval: hajlandók megszokni, hogy nem értenek mindent, de elhiszik a szerzőnek, hogy igazat mond. Biztos, hogy az utóbbiak vannak többségben.

Érdeemes elolvasni *Az idő ciklusait*. Nemcsak azért, mert meglehetősen tisztességesen – így helyenként nehezen érthetően – meséli el új spekulatív modelljét,

² *Thomas Samuel Kuhn* (Cincinnati, Ohio, 1922. július 18. – Cambridge, Massachusetts, 1996. június 17.) amerikai tudománytörténész és tudományfilozófus, akinek 1962-es könyve, *A tudományos forradalmak szerkezete*, erős hatást gyakorolt mind akadémiai, mind azon kívüli körökben. Bevezette a „paradigmaváltás” fogalmát. A tudományos területek e paradigmaváltásokon mennek keresztül, nem pedig lineáris és folyamatos úton haladnak előre.

és nem pusztán azért, mert a modell valóban radikálisan újszerű, és néhány, a fentiekben már érintett forradalmi következménnyel jár, hanem azért is, mert betekintést enged az elméleti fizika „műhelyeinek” életébe. A kozmológia távol van attól, hogy bárki lezárt diszciplínának gondolja, ugyanakkor természeténél fogva kapcsolódik a fizika legkülönbözőbb területeihez, hiszen ezekből táplálkozik, a másutt felfedezett törvényszerűségeket használja, s olykor visszahat

rájuk. Sir Roger pedig e terület meghatározó szakértője évtizedek óta, így könyve szükségszerűen szubjektív beszámoló is. Egyebek mellett hiánypótló módon elégti ki a természettudományok kész elméletein túl a tudósok munkájára, mindennapi gyakorlatukra is kíváncsi emberek érdeklődését, és talán segíti a tudományfilozófusok és tudományszociológusok „hogyan működik” kérdésének megválaszolását is.

Neuman Péter

HÍREK – ESEMÉNYEK

GYŐRFFY BALÁZS, 1938–2012

2012. október 25-én, rövid betegség után meghalt Győrffy Balázs, Angliában élő magyar fizikus, a Bristol Egyetem emeritus professzora, az MTA külső tagja, nekem kedves, régi barátom.

Balázs az 1952–53-as tanévben gimnáziumi osztálytársam volt a Madách Gimnáziumban. Év vége felé egy tanárunk hangzatos kommunista propagandaszövegére gúnyos megjegyzéssel reagált, a tanár megijedt, hogy ha ezt szó nélkül hagyja, abból neki lehet baja, és kicsapatta az iskolából. Így a további három évet már nem velünk járta, hanem a Piarista gimnáziumban, ott is érettségizett velünk egy időben, 1956-ban. A forradalom után elhagyta az országot, és az amerikai Yale egyetemre került, kiváló úszóként sportösztöndíjjal. Bár kézzel-lábbal próbálták lebeszélni arról, hogy ezt az ösztöndíjat olyan nehéz szakmában tegye kockára, mint a fizika, ő kitarzott a villamosmérnök-fizikus szak mellett. PhD témának először azt ajánlották neki, hogy vegyen részt egy olyan eszközök kidolgozásában, amivel az ember a tévéjét a karosszékéből vagy akár az ágyból kapcsolgathatja anélkül, hogy oda kellene menni a készülékhez. Balázs felháborodottan elutasította, hogy ilyen képtelen ötletre fecsérelje az energiáját, és az akkor már Nobel-díjas Willis Lambnál (a Lamb-shift felfedezőjénél) kötött ki, ahol gázlézerek működésének nyomásfüggéséből szerezte PhD fokozatát.

A továbbiakban újra közbeszólt a politika: Balázs részt vett egy tüntetésen a vietnami háború ellen, amiről a felsőbbség felháborodással értesült, elvették az ösztöndíját, és bár közben amerikai állampolgár lett, újra veszélyben érezhette tudományos karrierjét. Így újabb országváltás mellett döntött: Angliába utazott posztdoktori állásra, és ott is maradt, 1970-től élete végéig a Bristol Egyetem oktató-kutató kollektívájának mindenki által szeretett és becsült tagjaként. Korlátokat nem tűrő szellemére jellemző módon azonban mindvégig megtartotta amerikai állampolgárságát, mondván, hogy így „polgár” lehet, nem „alattvaló”. Ez



nem zavarta abban, hogy aktív tagja és időnként lelkes kampányolója legyen az angol munkaspártnak.

Győrffy Balázs kutatási területe az angliai kezdetektől fogva az elméleti szilárdtestfizika volt, emlékezetes munkái közé tartozik a fémek szupravezetés átmeneti hőmérsékletének talán első kvantitatívnak mondható meghatározása az elektron-fonon csatolás első elvekből való kiszámításán keresztül. Nevéhez fűződik még 1970-ből egy kiemelkedően sikeres módszer ötvözetek sávszerkezetének számítására, és ennek későbbi részletes alkalmazása az ARPES (szögfeloldott fotoemissziós spektroszkópia) mérések kiértékelésére; jelentős munkákkal vitte előbbre a fémek ferromágnesek elméletét is.

Egyetemi oktatóként nagyszerű előadásokat tartott, személyes tanítványai és más együttműködő partnerei fáradhatatlan, lelkesítő munkatársként emlékeznek rá. Vizsgáztatóként azonban kíméletlen volt, egy megemlékező szavával szólva „nem ejtett hadifoglyokat”, nem viselte el, hogy valaki zavaros tudással kerüljön ki a keze alól.

Balázs élete fantasztikus keveréke volt a kutatás-oktatás mindennapjainak és a világ többi dolgainak.

Színész nő feleségén keresztül kiterjedt baráti köre tett szert a színházi világban is, így lett szakmai tanácsadója *Michael Frayn* drámaíró itthon is többször előadott *Koppenhága* című, *Bohr* és *Heisenberg* háború alatti találkozása körül forgó színdarabjának. Gyakran látogatott haza szakmai programokra, ösztöndíjat hozott létre végzős magyar egyetemi hallgatók egy éves bristoli tartózkodására és állandó jelenlétével gondoskodott róla, hogy ezt az évet szépen és hasznosan töltsék el, de a gimnáziumi osztálytársak találkozóinak is rendszeres résztvevője volt. 2009-ben korosztályos (70–74) Európa-csúcsot ért el 200 méteres gyorsúszásban.

Balázs haláláról két hónapos késéssel hallottam. Megnézhettem a Bristoli Egyetemen tartott megemlékezésről készült videót¹. Én még gyászrendezvényen ennyi humoros anekdotát, a hallgatóság részéről ilyen felszabadult nevetést nem hallottam, és gondolom, nem is fogok. Ez részben a miénktől eltérő angol hagyományoknak is betudható, de nagyobb részt Győrffy Balázs sodró életerejének, a belőle áradó kifogyhatatlan derűnek. Nyugodjék békében.

Geszti Tamás

¹ Megtekinthető a *Fizikai Szemle* honlapján, az e számról készült részben.

HÍREK – ESEMÉNYEK

AZ AKADÉMIAI ÉLET HÍREI

Egyedülálló asztrofizikai programban a lendületes kutatócsoport

Az Univerzum szerkezetét vizsgáló legnagyobb nemzetközi asztrofizikai programhoz csatlakozhat *Frei Zsolt* kutatócsoportja a *Lendület* programnak köszönhetően. Az Eötvös Loránd Tudományegyetemen dolgozó kutatók emellett folytatják munkájukat a gravitációs hullámok felfedezését célzó, széles nemzetközi összefogással megvalósuló projektben, amely hamarosan újabb bizonyítékkal támaszthatja alá az általános relativitáselméletet.

„Einstein általános relativitáselmélete szerint – nagyon leegyszerűsítve – a testek (például a csillagok, a bolygók, a galaxisok a tömegüktől függően görbítik a teret, amit ismeretterjesztő filmekben, írásokban általában gumiháléhoz hasonlítanak. A súlyosabb testek jobban belesüppednek a hálóba, erősebben görbül körülöttük a tér, ha pedig egy nagyon nagy tömegű test gyorsulva mozog benne, az a tér hálójában hullámokat kelt. Ezek a fénysebességgel tovaterjedő hullámok a gravitációs hullámok” – választa az mta.hu-nak kutatási témáját az ELTE tanszékvezető egyetemi tanára, *Frei Zsolt*. Mint elmondta, a relativitáselméletet számos kísérlet és felismerés igazolta, ám a gravitációs hullámok felfedezése még várat magára. Kimutata-sukra az utóbbi évtizedekben több lézeres interferométer is készült. A berendezés több kilométer hosszú, egymásra merőleges karjaiban futó lézerefény méri a karok hosszának változásait.

Frei Zsolt csoportjával 2007 tavaszán csatlakozott az amerikai Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory (LIGO) munkájához. „A *Lendület* program lehetőséget biztosít, hogy a következő öt évben is aktívan részt vegyünk a LIGO tevékenységében.

Fontos és kritikus időszak ez, hiszen a berendezés továbbfejlesztett változata, az Advanced LIGO várhatóan 2015-ben kezdi meg működését. Érzékenyebb lesz, mint elődje, ezért sokan bíznak benne, hogy öt éven belül megtörténik a gravitációs hullámok tényleges kimutatása” – mondta a professzor.

A felfedezés a relativitáselmélet igazolásán túl más területen is hasznosulhat: új utat nyithat az asztrofizikában az Univerzum tanulmányozására, hiszen a csillagászok jelenleg csak az elektromágneses spektrum különböző tartományait (a látható vagy az infravörös fényt, illetve a rádióhullámokat) vizsgálhatják. Megfelelő érzékenységgű, a gravitációs hullámok rendszeres észlelésére alkalmas műszerekkel figyelve például a fekete lyukak összeolvadását, azok gyakoriságát, a kutatók jobban megérthetik az Univerzum keletkezését és fejlődését, ami hozzásegíthet a sötét anyag, sőt talán a sötét energia mibenlétének feltáráshoz is.

Frei Zsolt egyik célja, hogy az Eötvös Loránd Tudományegyetemen dolgozó csoport – amelynek tagjai többek között *Kovács András* és *Gondán László* – eredményei nemzetközi összehasonlításban is értékesek legyenek. Két végzett doktorandusz tanítványa, *Kocsis Bence* és *Raffai Péter* jelenleg rangos egyesült államokbeli egyetemeken dolgozik, *Raffai Péter* nem-sokára, *Kocsis Bence* várhatóan ősszel csatlakozik a „lendületes” csoporthoz. A befogadó intézmény a kutatók munkáját három doktorandusz felvételével, az infrastruktúra biztosításával, valamint a Pan-STARRS, illetve az LSST programhoz való csatlakozás finanszírozásával támogatja.

www.mta.hu

Kalifornia jelentősen megemeli a felsőoktatás támogatását

A napokban bejelentett kiegyensúlyozott kaliforniai költségvetés jó hír az állam felsőoktatási intézményeinek. A University of California (UC) és a California State University (CSU) intézményrendszere a 2013–2014. évi költségvetésben további 250 millió dollárt fog kapni, amely részben kompenzálja a pénzügyi válság alatti drasztikus elvonásokat. A *Sacramento Bee* újság információi szerint a tervben szerepel egy további 2,7 milliárd dolláros összeg a közösségi kollégiumok, az elemi és középiskolák számára.

Amikor *Jerry Brown*t, Kalifornia állam kormányzóját 2010-ben megválasztották, 26 milliárd dolláros hiánnyal kellett megbirkóznia. Az újonnan bejelentett költségvetés további szerény többletet tartalmaz az oktatásra fordítható megnövekedett összeg mellett. E növekedés kulcsa az adózók által megszavazott 6 milliárd dolláros adóemelés, amely összeget az állam

által támogatott kutatásra kell fordítani. A demokraták és a republikánusok egyhangúan támogatják a javasolt költségvetést, amelyet a júliusi életbe lépés előtt az állam törvényhozásának még meg kell szavazni.

2009-ben az UC költségvetésének elvonása meghaladta a 800 millió dollárt, a CSU költségvetése pedig a vártnál 600 millió dollárral kevesebb volt. A pénzügyi válság alatti kampuszok között heves vitákat váltott ki.

A költségvetés csökkentése és a tandíjak növekedése tiltakozási hullámot váltott ki az UC kormányzótanácsánál. Előfordult, hogy zombinak öltözött egyetemi hallgatókat kellett kivezetni nyilvános összejövetelekről. Az UC vezetői arra szólították fel a diákságot, hogy inkább az adók emelése mellett kampányoljanak, és ígéretet tettek, hogy ha ez sikerül, akkor a tandíjak emelését elhalasztják.

<http://blogs.nature.com/news>

Egy közeli csillag majdnem olyan öreg, mint az Univerzum

Csillagászok felfedezték a csillagok matuzsálemét – a Naprendszer környezetének egyik lakóját, amely legalább 13,2 milliárd éves, és rövidebb az Ósrobbanás után született.

„Úgy hisszük, ez a csillag a legöregebb az ismertek közül az Univerzumban, amelynek az életkora jól meghatározott.” – mondta *Howard Bond*, a Pennsylvania State University, University Park csillagásza 2013. január 10-én, az American Astronomical Society ülésén, a kaliforniai Long Beach-ben.

A HD 140283 jelű csillag viszonylag közel, mindössze 190 fényévre van a Naprendszertől, és több mint egy évszázada tanulmányozzák a csillagászok. A kutatók hosszú ideje tudják, hogy az objektum majdnem egészében hidrogénből és héliumból áll – ami annak a jele, hogy az Univerzum történetének kezdeti szakaszában jött létre, mielőtt a csillagok generációinak lehetősége lett volna nehéz elemeket létrehozni, de senki nem tudta pontosan, hogy milyen életkorú.

A csillag életkorának meghatározása több lépésben történt. Először Bond és csapata újból és nagyobb pontossággal meghatározta a csillag távolságát a Naprendszertől, felhasználva a 2003 és 2011 között a Hubble Űrteleszkóppal (Hubble Space Telescope's Fine Guidance Sensors) végzett 11 megfigyelés eredményeit, amelyek meghatározzák a csillag helyzetét a referenciacsillagokhoz képest. Megméri fényességét is, amiből kiszámítható annak belső luminozitása.

A csapat azt a tényt használta ki, hogy a HD 140283 életciklusának olyan fázisában van, amikor a magban levő hidrogént fogyasztja. Ebben a fázisban a csillag lassan csökkenő fényessége érzékeny indikátora élet-

korának. Ebből a csapat kiszámolta, hogy a csillag 13,9 milliárd éves, plusz-mínusz 700 millió év. A kísérleti hibát is figyelembe véve ez az életkor nincs ellentmondásban az Univerzum életkorával, a 13,77 milliárd évvel. A csillag életkora tehát legalább 13,2 milliárd év – amely egy másik ismert csillagmatuzsálem becsült életkora –, de lehet, hogy ennél is öregebb.

A felfedezés feltételeket szab meg a korai csillagképződésre – mondja *Volker Bromm*, a University of Texas, Austin csillagásza. A csillagok legelső generációja a gáz halmazállapotú ősanyagból állt össze, amely nem tartalmazott jelentősebb mennyiségű héliumnál nehezebb elemekből. Ez azt jelenti, hogy egy olyan koros csillag, mint a HD 140283, amint azt kémiai összetétele is mutatja – amely szerint nem zérus, de nagyon kis mennyiségű nehéz elemet tartalmaz –, az első csillaggeneráció után jöhetett létre.

A második csillaggeneráció létrejöttének feltételei „nagyon korán megteremtődtek” – mondja Bromm. A legelső csillagokról rendszerint azt gondolják, hogy néhány százmillió évvel az Ósrobbanás után jöttek létre. Nagy tömegűek és rövid élettartamúak voltak, mindössze néhány millió évvel később szupernóvaként felrobbantak, amely felmelegítette a környező gázokat és megszórta azokat nehéz elemekkel. Mielőtt azonban a csillagok második generációja létrejöhett volna, a gáznak le kellett hűlnie. A HD 140283 második generációs csillag életkora azt sejteti, hogy az első és második generáció közötti lehűlési idő rendkívül rövid volt, talán csak néhány millió év.

<http://blogs.nature.com/news>

Florovium és livermorium, új szereplők a periódusos rendszerben

Két laboratóriumot, amelyek hosszú ideje partnerek szupernehéz mesterséges elemek létrehozásában, tiszteltek meg új szupernehéz elemek elnevezésével. A 114-es rendszámú elem neve mostantól florovium (Fl) az orosz Florov Magfizikai Laboratórium tiszteletére, míg a 116-os rendszámú elem neve livermorium (Lv) a kaliforniai Livermore National Laboratory megörökítésére. Az International Union of Pure and Applied Chemistry az új neveket 2012 májusában jelentette be.

Mindkét elemet Dubnában, a Florov Laboratóriumban hozták létre kúriumot bombázva kalcium ionokkal. Az ütközés során keletkezett a 116 rendszámú

elem, amely majdnem azonnal elbomlott a 114-es rendszámú elemre, amely azután tovább bomlott. A 114-es rendszámú elemet még plutónium kalciummal történő bombázásával is létrehozták.

A szupernehéz elemek elnevezése körül gyakran nagy presztízscsata bontakozik ki azon, hogy kié a felfedezés érdeme. Mindkét elemet azonban a Florov/Livermore együttműködés keretében fedezték fel, ezért az IUPAC elfogadta a javaslatot, hogy mindkét laboratórium megérdemli a megtiszteltetést. A 113, 115, 117 és 118 rendszámú új szupernehéz elemek még várnak a hivatalos elnevezésre.

www.sciencenews.org

Nanorészecske-ötvözetek egy új módszerrel felhasználhatók a hő fókuszálására

Az MIT (Massachusetts Institute of Technology) egy kutatója egy olyan új technikát fejlesztett ki, amely lehetőséget ad a hő szabályozására, ahogy a fényhullámokat is szabályozni lehet lencsékkel és tükrökkel.

A módszer mesterséges anyagokon alapul, amelyek nanoszerkezetű félvezető ötvözet kristályokat tartalmaznak. A hő az anyag rezgése – pontosabban szólva az atomi rács rezgése – akárcsak a hang. Az ilyen rezgéseket úgy is elképzelhetjük, mint fononok – egyfajta virtuális részecskék, amelyek a fényt szállító fénykvantumnak felelnek meg – áramlását. Az új módszer hasonló a nemrég kifejlesztett fotonkristályokhoz, amelyek szabályozni képesek a fény áthaladását. A fononkristályok ugyanezt teszik a hanggal. Ezekben az anyagokban az apró rések elhelyezkedése úgy van hangolva, hogy illeszkedjen a hőfononok hullámhosszához, magyarázza *Martin Maldovan*, az MIT Department of Materials Science and Engineering kutatója, a *Physical Review Letters*ben publikált cikk szerzője. Maldovan szerint ez „a hő manipulálásának egy teljesen új módszere”.

A hő a hangtól csak rezgésszámában különbözik. A hanghullámok alacsonyabb frekvenciájúak (a néhány kilohertz tartományig), míg a hő sokkal magasabb, terahertz frekvenciatartományba tartozó rezgésektől ered. Hogy a hang szabályozására kifejlesztett új technikát használni lehessen, Maldovan első lépésként a hőfononok frekvenciáját csökkentette, közelebb hozva azt a hanghullámok frekvenciatartományához. Ezt „hiperszonikus hőnek” nevezi.

„A hang fononok kilométereket képesek utazni – mondja Maldovan –, ezért vagyunk képesek a zajokat nagyon messziről is meghallani. A hő fononjai azonban csak nanométereket (a milliméter milliomod része) képesek utazni, ezért nem lehet a hőt hallani még terahertz frekvenciára hangolt fülekkel sem.” A hő ezen kívül egy széles frekvenciatartományt fed át, amíg a hang egyetlen frekvenciából áll.

„Először tehát csökkentettük a hőfrekvenciák számát és alacsonyabb rezgésszámúvá alakítottuk” – mondja Maldovan. Ezek a frekvenciák a hő és hang frekvenciatartományainak határához közelebb kerültek. Olyan szilíciumötvözetet készítve, amelyben speciális méretű germánium nanorészecskék vannak, egy bizonyos mérettartományban megvalósult ez a frekvencia-csökkentés. A frekvenciatartomány szűkítését az anyagból készült vékony rétegek sorozata éri el, amelyben a fononok szóródása határok között történik. Ezzel a hőfononok nagy része egy vékony „frekvenciaablakban” koncentrálódik. Ezzel a technikával a teljes hőáramlás több mint 40 százaléka a 100-300 gigahertz hiperszonikus tartományra koncentrálódik, és a fononok többsége egy vékony nyalábbá rendeződik ahelyett, hogy minden irányban mozogna. Ez a vékony frekvenciatartományra korlátozódó fononnyaláb azután már szabályozható a fononkristályokra kifejlesztett módszerekkel, hasonlóan a hangfononok manipulálásához. Mivel ezek a kristályok hőt szabályoznak, Maldovan „termokristályoknak” nevezi, az anyag egy új kategóriájaként. E termokristályoknak széleskörű alkalmazásuk lehet,

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

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

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

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

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

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

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

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

beleértve a modern termoelektromos berendezéseket is, amelyek hőmérséklet-különbséget alakítanak át elektromossággá. Az ilyen berendezések szabadon továbbítanak elektromosságot, miközben szigorúan szabályozzák a hő áramlását – olyan feladatokat látnak el, amelyeket a termokristályok rendkívül hatékonyan tudnak elvégezni. A legtöbb hagyományos anyag megengedi, hogy a hő minden irányban szabadon áramoljon, mint a bedobott kavics keltette hullámok a tóban; a termokristályok ehelyett csak egyetlen irányba terjedő hullámzást produkálnak. A kristályok felhasználhatók termodiódák készítésére is, amelyek csak egyetlen irányban engedik át a hőt, visszafelé már nem. Ilyen

hő-egyenirányító igen hasznos lehet energiahatékony épületeknél forró, vagy hideg éghajlatokon. Az anyagok más változatai fókuszálhatják a hőt – igen hasonlóan a lencsék általi fényfókuszáláshoz – egy igen kis területre. További izgalmas lehetőség a „hőálcázás”. Maldovan szerint vannak olyan anyagok, amelyek megakadályozzák a hő detektálását, mint az újonnan kifejlesztett metaanyagok, amelyek „láthatatlan köpenyket” hozhatnak létre, így teszik lehetővé, hogy a tárgyakat elrejtse fényrel vagy mikrohullámokkal való detektálás elől.

<http://phys.org/news/2013-01-approach-nanoparticle-alloys-focused-electromagnetic.html#jCp>

Olaszország ejti az egymilliárd eurós SzuperB gyorsító tervét

A *Physics World* folyóirat megerősítette a híreket, miszerint az olasz kormány 250 millió eurót visszavon a tervezett egymilliárd eurós SzuperB gyorsítótól, amelyet a tervek szerint a Róma külvárosában lévő Tor Vergata Egyetemen építettek volna meg. A programot lényegében megszüntető döntés *Fernando Ferroni*, a National Institute for Nuclear Physics (INFN) elnöke és *Francesco Profumo* olasz tudományügyi miniszter találkozása után született meg.

Ahogy a közlemény kifejti, az INFN, amely elhatározta a SzuperB gyorsító megépítését, megtarthatja a 250 millió eurót, azonban azt más projektek támogatására fogja fordítani. Az INFN már felállított két bizottságot, hogy vizsgálja meg a lehetőségeket, amelyek között szerepel a SzuperB helyett egy kisebb méretű „tau-charm gyár” (SzuperC gyorsító), vagy inkább másra költse a pénzt. A bizottság 2012. december végéig készíti el jelentését, a döntés az ügyben pedig 2013. elején születik meg.

A SzuperB a tervek szerint elektronokat és pozitronokat gyorsított volna egy lineáris gyorsítóban 6,7 GeV energiára, majd két tárológyűrűbe injektálta volna, amelyek átmérője több mint 1 km, és abban ütközve különböző részecskék bomlását tanulmányozhatták volna, mint például a B mezonok. A gyorsító segítségével tanulmányozhatták volna a részecskék és antirészecskék bomlása közti finom különbségeket és fényt deríthettek volna arra a rejtélyre, hogy miért van az Univerzumban több részecske mint antirészecske. A SzuperB gyorsítót a Tor Vergata Egyetemen a Cabibbo Laboratóriumba telepítették volna, amelyet a 2010 augusztusában elhunyt *Nicola Cabibbo* olasz részecskefizikusról neveztek el. A projekt Japán új SzuperKEKB gyorsítójának lett volna versenytársa, amely a létező KEKB gyorsító korszerűsített változata és a tervek szerint 2014-ben fog üzembe állni és több mint 50 milliárd B mezonpárt produkálni.

www.physicsworld.com

A 2013. évi

56. Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató

2013. március 14-től 17-ig kerül megrendezésre Székesfehérváron. A rendezvény témái: biológiai fizika (hallás, látás, mozgás fizikája, élőlények kollektív mozgása stb.), valamint aktuális oktatáspolitikai kérdések.

Az ankét 30 órás akkreditált továbbképzés.

A műhelyfoglalkozásokat március 15-én és 16-án délutánra tervezzük.

A műhelyfoglalkozások mellett a tavalyi sikeres 10 perces kísérletek című programot is meg kívánjuk szervezni.

ELFT Tanári Szakcsoportjainak vezetőségei

2 m

4 m



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



Jövönk energiája



paksi atomerőmű

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



Várjuk vendégségbe Magyarországot!