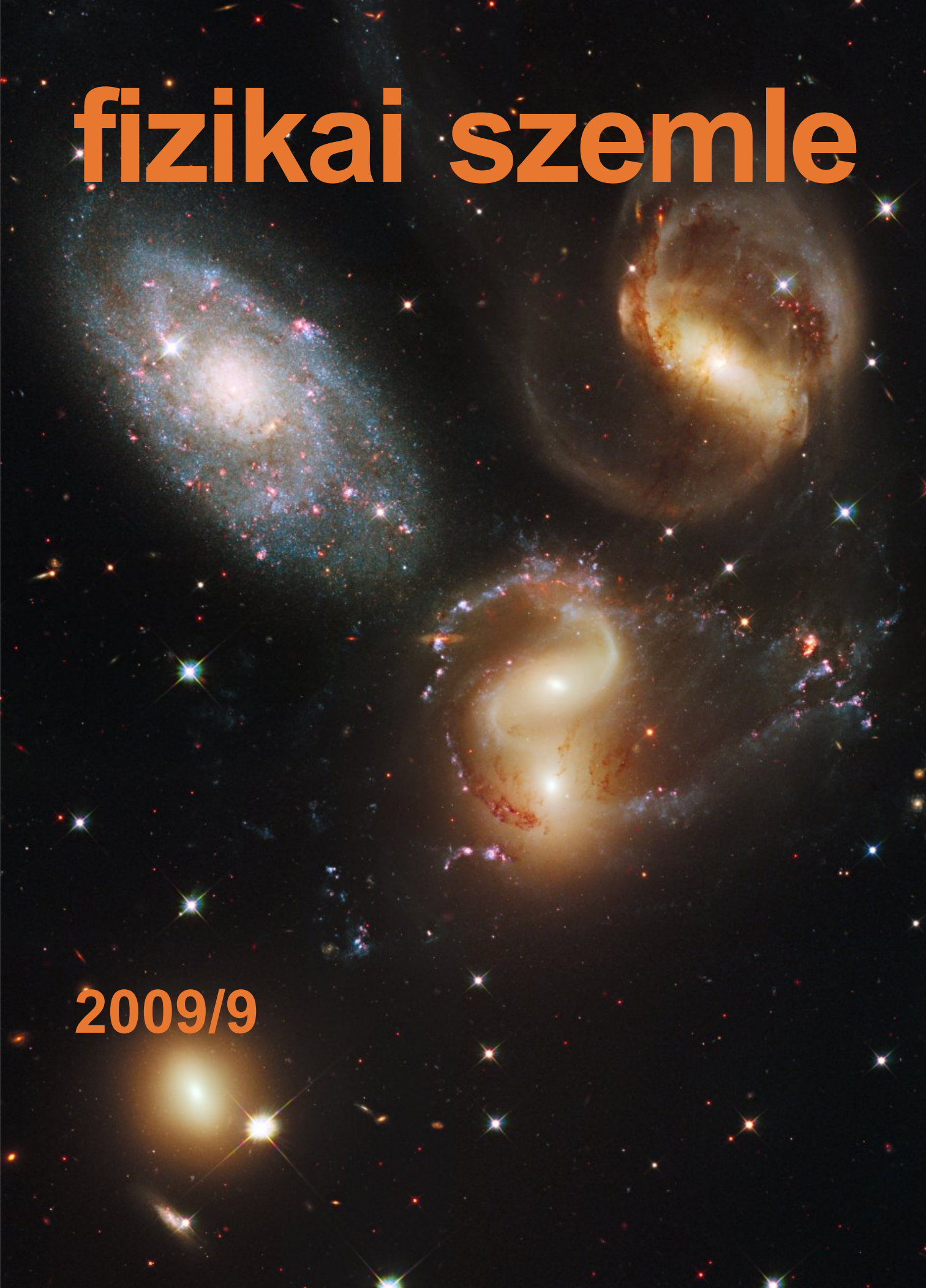


# fizikai szemle

A cosmic background image featuring several galaxies and numerous stars. In the upper left, there is a blue and white galaxy. In the upper right, a yellowish, irregularly shaped galaxy is visible. In the lower center, a yellowish, spiral-shaped galaxy is prominent. The background is filled with many small, bright stars of various colors (white, blue, red) against a dark space.

2009/9

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

Főszerkesztő:

Szatmáry Zoltán

Szerkesztő bizottság:

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-mailcíme:

szerkesztok@fizikaiszemle.hu

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>

A címlapon:

Az öt kölcsönható galaxisból álló  
Stephan-ötös távolsága 290 millió  
fényév, s a Pegazus csillagképben  
figyelhető meg. A csoportra egy  
hozzájuk nem tartozó előtérgalaxis,  
az NGC 7320 is vetül, amelynek  
távolsága 40 millió fényév. A kép  
több, különböző szűrőn keresztül  
készített felvétel kombinációja.  
A képet a 2009 májusában felújított  
Hubble űrtávcső készítette. (© NASA,  
ESA és a Hubble SM4 ERO Team)

## TARTALOM

|                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Varga Péter: A Jánossy-kísérletek – I.                                                | 293 |
| Néda Zoltán, Káptalan Erna: A sokaság ritmusa<br>– meglepő szinkronizációs folyamatok | 301 |
| Kistüttősi Gyula: Kinematika a karteziánus fizikában                                  | 306 |
| Oláb-Gál Róbert: Eötvös Loránd és Réthy Mór levelezése                                | 311 |
| Magyarországon temették el Hevesy György lányát (Palló Gábor)                         | 314 |

## A FIZIKA TANÍTÁSA

|                                              |     |
|----------------------------------------------|-----|
| Szórád Endre: Tehetséggondozás a Vajdaságban | 315 |
|----------------------------------------------|-----|

## KÖNYVESPOLC

|                                                          |     |
|----------------------------------------------------------|-----|
| Ponori Thewrewk Aurél: Az ég királynője (Füstöss László) | 318 |
|----------------------------------------------------------|-----|

## HÍREK – ESEMÉNYEK

|  |     |
|--|-----|
|  | 320 |
|--|-----|

|                                                                              |  |
|------------------------------------------------------------------------------|--|
| P. Varga: L. Jánossy's experiments – I.                                      |  |
| Z. Néda, E. Káptalan: Rhythms in crowds – surprising synchronizing processes |  |
| G. Kistüttősi: Kinematics in Cartesian physics                               |  |
| R. Oláb-Gál: The R. Eötvös – M. Réthy correspondence                         |  |
| G. Hevesy's daughter buried in Hungary (G. Palló)                            |  |

## TEACHING PHYSICS

|                                                                              |  |
|------------------------------------------------------------------------------|--|
| E. Szórád: Patronizing gifted young people in the province Voivodina, Serbia |  |
|------------------------------------------------------------------------------|--|

## BOOKS

## EVENTS

|                                                                                                            |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| P. Varga: L. Jánossy's Experimente – I.                                                                    |  |
| Z. Néda, E. Káptalan: Rhythmen in ungeordneten Menschenmengen<br>– überraschende Synchronisations-prozesse |  |
| G. Kistüttősi: Kinematik in der Cartesischen Physik                                                        |  |
| R. Oláb-Gál: Der Briefwechsel R. Eötvös – M. Réthy                                                         |  |
| G. Hevesy's Tochter in Ungarn bestattet (G. Palló)                                                         |  |

## PHYSIKUNTERRICHT

|                                                                                  |  |
|----------------------------------------------------------------------------------|--|
| E. Szórád: Die Förderung begabter junger Leute in der Provinz Voivodina, Serbien |  |
|----------------------------------------------------------------------------------|--|

## BÜCHER

## EREIGNISSE

|                                                                           |  |
|---------------------------------------------------------------------------|--|
| П. Варга: Эксперименты Л. Яноши – I.                                      |  |
| З. Неда, Э. Капталан: Ритмы в толпах – неожиданные процессы синхронизации |  |
| Д. Киштиттёши: Кинематика в физике Декарта                                |  |
| Р. Ола-Гал: Переписка Л. Этвеша и М. Рэти                                 |  |
| Погребения дочи Г. Хевеши в Венгрия (Г. Палло)                            |  |

## ОБУЧЕНИЕ ФИЗИКЕ

|                                                          |  |
|----------------------------------------------------------|--|
| Э. Сорад: Помочь одаренным ученикам в Войводине (Сербия) |  |
|----------------------------------------------------------|--|

## КНИГИ

## ПРОИСХОДЯЩИЕ СОБЫТИЯ

**Fizikai Szemle**  
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését anyagilag támogatják:



# Fizikai Szemle

## MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

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

LIX. évfolyam

9. szám

2009. szeptember

### A JÁNOSSY-KÍSÉRLETEK – I.

Emlékezés egy tudósra és egy problémakör fejlődéstörténete

Varga Péter

Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet

Felvetik a kérdést: mi a fény, *hullám vagy részecske*? Nem ilyen gyakran, de az is felmerül, hogy mi az elektron, a proton stb. Az alábbiakban kísérletekről lesz szó, amelyekben ezt szerették volna tisztázni. A cikk végén arra a következtetésre jutok, hogy a fény *hullám és részecske*. Erről szeretném az Olvasót is meggyőzni.

A szerző részben résztvevője, részben közeli szemlélője volt annak a munkának, amelyet később Jánossy-kísérleteknek neveztek el. Innen elindulva ismertetem az ezeket követő, részben az eredeti kísérletek által inspirált további munkákat. Minden munka az interferencia jelensége, illetve annak általánosítása, a fényhullámok korrelációja kérdéséhez kapcsolódik. Eljutunk odáig, hogy kijelenthetjük, létezik olyan interferenciajelenség, amelyet a klasszikus fizika tévesen ír le, a kvantumelmélet azonban helyesen. Bár Jánossy a sugárzás kvantumelméletét nem tette magáévá, egy dologban feltétlenül igaza volt: az ortodox felfogást még három évtizeddel a kvantumelmélet felfedezése után is csak gyengén támasztották alá olyan kísérletek, amelyek kétségtelenül bizonyították volna azoknak az „ellentmondásoknak” fennállását, amelyekhez az elmélet vezetett. (Az idézőjel használatát a cikk utolsó fejezetében szeretném indokolni.)

A részletes tárgyaláshoz szükséges matematikai apparátust nem ismertetem. Ahol ez hosszadalmas lenne, inkább csak a példákon keresztül mutatom be az eljárást, és csak utalok a matematikai háttérre. A kvantumelektrodinamika apparátusából éppen csak annyit használok fel, amennyi egy fontos kísérlet eredményének igazolásához kell.

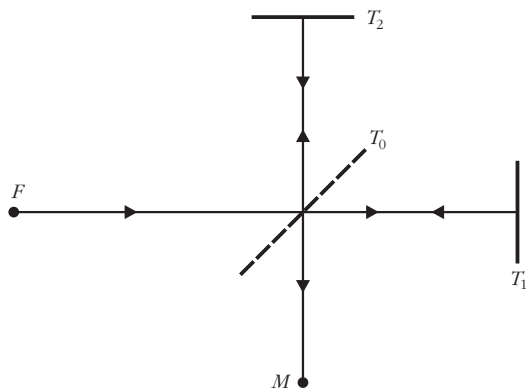
### Előzmények

Jánossy Lajos (1912–78) 1950-ben jött Magyarországra, mikorra már nevet szerzett a kozmikus sugárzás kutatásában. A harmincas évekre ez a diszciplína már túlnőtt a jelenség külső tulajdonságainak a megfigyelésén. Már megállapították, hogy honnan ered (a világrűrből), mi befolyásolja (a Nap és a Föld mágneses tere, a Föld atmoszférája stb.). A hűsör után a kozmikus sugárzás összetételét vizsgálták és felfedezték azt is, hogy az ismert elemi részecskéken kívül továbbiak is léteznek: a pozitron (ma már az orvosi gyakorlatban is használjuk) vagy a két középnehéz részecske, a  $\mu$ - és a  $\pi$ -mezon (műon, pion). Jánossy továbbment, mérésekkel bizonyította, hogy van a kozmikus sugárzásnak egy nagy energiájú magaktív komponense is [1–3]. A későbbi kutatások során kiderült, hogy ebben a komponensben a pionnál nehezebb, de a nukleonoknál könnyebb részecskék vannak, sőt a nukleonoknál nehezebb hiperonok is. Ez az út vezetett a mai részecskefizikához, amelynek kísérleti eszközei immár a nagyenergiájú gyorsítók.

Jánossy nemcsak kísérleteivel szerzett nevet. Ő írta a kozmikus sugárzás első monográfiáját [4], ez a híres oxfordi Clarendon Press *International Series of Monographs on Physics* sorozatában jelent meg. A sorozat szerkesztői közé tartoztak Mott és Kapica, szerzői közé Dirac és Heitler.

Nem sokkal hazatérése után Jánossy nagy vitával követett előadást tartott az Eötvös Loránd Fizikai Társulatban, amelyet publikált is [5]. Az előadásban és a cikkben fő célja a *kauzalitás* megvédése volt, rá kívánt mutatni a kvantumelmélet ellentmondásosságát.



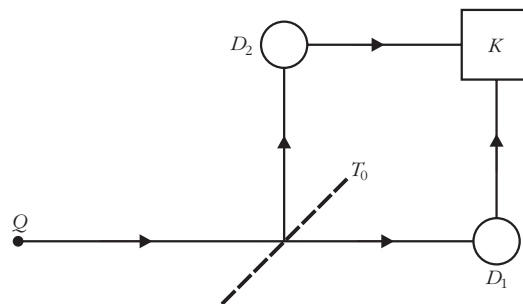


1. ábra. A Michelson-interferométer elvi elrendezése,  $F$  – fényforrás;  $T_0$  – részben áteresztő tükör;  $T_1$ ,  $T_2$  – tükrök;  $M$  – megfigyelési pont.

gára. Felvetette a fundamentális kérdést: „Számos kísérlet van, amely külön-külön a napnál világosabban bizonyítja az elektronoknak, a fotonoknak és a többi elemi részecskének *vagy* a hullám, *vagy* a részecske természetét. Nehézségek akkor keletkeznek, amikor egyszerre akarjuk ezeket az eredményeket magyarázni. Létezik olyan nézet, amely szerint, nem szabad egyszerre tekinteni ezeket a kísérleteket: – azt állítják, hogy a kétféle szemlélet összekeverése nem vezet ésszerű eredményhez. Véleményünk szerint igaz, hogy paradoxonokhoz jutunk, ha a hullám és a részecske természetet szimultán vesszük tekintetbe – de ezek a paradoxonok nem kerülhetők meg az által, ha kikötjük, hogy nem gondolkodhatunk felőlük.” [5]

Jánossy analízisét nem ismételjük meg, a részletek az idézett cikkben megtalálhatók. A kísérletek szempontjából felvetett kérdés a következő volt: mi történik, ha egymástól független fotonokkal végzünk kísérleteket? Essen be egy Michelson-interferométerbe (1. ábra) nagyon kis intenzitású fénynyaláb. „Jó okunk van feltételezni, hogy az (...) interferenciakép az egyedi és egymástól független fotonok kontribúciójával jön létre. Minden foton, bár egyetlen pontban nyelődik el, magával hordja – *mint tendenciát* – az egész interferenciaképet. Minden foton önmagával interferál és elsősorban ott nyelődik el, ahol az interferenciakép nagy intenzitást ad.” [5] A gondolat nem új, Dirac [6] még erősebben fogalmazott: „Each photon then interferes only with itself. Interference between two photons *never* occurs.” („Minden foton önmagával interferálódik. Két foton között *soha* nincs interferencia.” Kiemelés tőlem, V.P.)

Vizsgáljuk tovább a Michelson-interferométert. Az  $F$  fényforrásból (1. ábra) kilépő monokromatikus sugár (a monokromátort most nem jelöljük) a  $T_0$  részben áteresztő tükörre, innen a  $T_1$ , illetve a  $T_2$  tükrökre, majd visszaverődve újra a  $T_0$  tükör segítségével az  $M$  megfigyelési pontba jut. Interferenciát tapasztalunk, vagyis azt, hogy a megfigyelési pontban mérhető intenzitás függ a fénynek a  $T_0$  és a  $T_1$ , illetve a  $T_0$  és a  $T_2$  közötti utak hosszának különbségétől. Bármely tükör elmozdítása az intenzitás változását okozza, ebből arra következtetünk, hogy a fény *mindkét* tükörrel kölcsönhatásba lépett. Mindez a fény hullámtermészetét



2. ábra. A koincidenciamérő elvi elrendezése,  $Q$  – fényforrás;  $T_0$  – részben áteresztő tükör;  $K$  – koincidenciamérő.

igazolja. A fény frekvenciája igen magas, 500 nm hullámhossz esetében a frekvencia  $6 \cdot 10^{14}$  Hz, a periódusidő ennek reciproka. Az intenzitás egy perióduson belül még a fázistól is függ, tehát még kisebb az időkülönbség, másképpen: az egyidejűség legalább  $10^{-17}$  másodperc pontossággal fennáll!

Vegyünk egy másik berendezést (2. ábra). A fényforrás és a részben áteresztő tükör maradjon meg, csak a két másik tükör helyére tegyünk két  $D_1$  és  $D_2$  eszközt, és mindkét eszköz külön-külön legyen alkalmas arra, hogy egy beeső foton hatására mérhető jelet bocsásson ki. Ha a fény az előző kísérletben mindkét tükörrel kölcsönhatásba lépett, akkor most egyidejűleg mindkét detektorral is ezt teszi, a két detektor egyidejű jelét a  $K$  koincidenciaberendezéssel regisztrálnunk kellene. Ha a kísérlet eredménye negatív, akkor a kauzalitás problémájába ütközünk. Ugyanis, ha a fény mindkét tükröt (1. ábra) eléri, akkor eléri a két elektronsokszorozót is (2. ábra). Ha az egyik jelez és a másik nem, akkor a jelző sokszorozónak befolyásolnia kell a nem-megszólalt. A fotoeffektus viszont gyors jelenség, a jelzésnek azonnal, a fény sebességénél nagyobb sebességgel kell elérni a passzív sokszorozót, tehát ellentmondásba kerülünk a kauzalitással.

A két kísérlet végeredményét a kvantumelmélet egyértelműen megősolta: interferencia lép fel, koincidenciák nincsenek. Viszont az ilyen sarkalatos kijelentés kísérleti ellenőrzést kíván. Már a 20. század elején végeztek az interferenciára vonatkozó kísérleteket, de ezeket a technika haladásával ismételtelen el kell végezni még akkor is, ha meg vagyunk győződve arról, hogy csupán a meglévő tapasztalatokat erősítjük meg. Erre vállalkoztak Jánossy és munkatársai a 20. század közepén, a kor színvonalának megfelelő eszközökkel. Majd mások, egyre korszerűbb eszközökkel, újra meg újra megtették.

Ha a Jánossy-kísérletek egyes résztvevői (és szemlélői) között fel is merült az a remény, hogy az eredmények talán majd ellentmondanak az elméletnek, egyben közös volt a vélemény: kísérletezni kell.

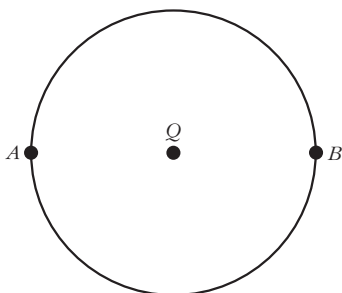
Nem tartozik közvetlenül a vizsgált témához, de Jánossy fizikusi tevékenységének része egy fontos epizód. Bár nem vette figyelembe a kvantum-elektrodinamika eredményeit, de – mint a kozmikus sugárzás kutatója – mégis hozzájárult azok igazolásához. Ugyanis a kozmikus sugárzás lágy komponensének (az 1–100 MeV energiájú elektronok, pozitronok,  $\gamma$ -fotonok) abszorpciója érdekes jelenséghez vezetett. Egyetlen ilyen energiájú részecske az atomháj elektronjaival való kölcsönhatása során egyszerre két részecskét kelt: a) a nagy energiájú elektron egy  $\gamma$ -fotont, plusz egy másik elektront, b) a nagy energiájú  $\gamma$ -részecske a Compton-effektus során egy má-

sik fotont és egy elektront, vagy egy elektron-pozitron párt. Ha a másodlagos részecskék energiája még mindig elég nagy, akkor ezek újbabakat keltenek, és így tovább, a részecskék zápora alakul ki, amit úgy észlelhetünk, ha figyeljük, mikor szólal meg *egyszerre* több Geiger-Müller-számlálócső. Ezek a számlálócsövek egy háromszög vagy ötszög csúcsaiban az alakzatra merőleges irányban helyezkednek el, ekkor legalább két, illetve három részecske kell a megszólaltatásukhoz. Minél több részecske vesz részt a záporban, annál nagyobb a valószínűsége, hogy egyszerre jeleznek a számlálócsövek. Foglaljanak helyet a számlálócsövek egy ólomabszorbens alatt és növeljük az abszorbens vastagságát 0 és 20 cm között. Azt találjuk, hogy a vastagságot növelve a záporok száma növekszik, hiszen egyre több részecske keletkezik, de egy vastagság elérése után a záporok száma csökkenni kezd, mert a részecskék energiája degradálódik, egyre kisebb valószínűséggel keltenek egyménél több detektálható részecskét. A jelenség elméletileg is kezelhető, mert az elemi folyamatok hatáskeresztmetszete a kvantumelmélet segítségével kiszámítható, és a kaszkádok követhetők. Ha a záporok számát az abszorbens vastagsága függvényében ábrázoljuk, akkor az elmélet azt mutatja, hogy a görbének *egyetlen* maximuma van. Bizonyos kutatók viszont azt találták, hogy *még egy* maximum is fellép, sőt egyesek már harmadik maximumról is hírt adtak. Ha ez így van, akkor vagy a jelenséget leíró kvantumelmélet hibás, vagy a  $\gamma$ -foton mellett létezik még egy semleges részecske, amelynek kölcsönhatása az abszorbens anyagával ugyancsak elektromágneses természetet mutat. Jánossy cikkeiből kiderül [7–9], hogy az újabb maximumnak vélt értékek statisztikusan nem szignifikánsak. (Jellemző, hogy majdnem minden szerző más vastagságnál találta meg a saját második maximumát.) Ezen kívül megtalálta a hibát abban a kísérletben, amelyben a második maximum pregnáns volt, vagy a kísérletet gondosan megismételve nem talált további maximumot.

### A kulcskérdés: megmarad-e a kauzalitás?

A speciális relativitáselmélet szerint minden mező legfeljebb vákuumbeli fénysebességgel terjedhet. Jánossy felhívja a figyelmet, hogy már a fotoeffektus létrejöttéhez – a kilépési munka legyőzéséhez is – a fény energiájának gyors kontrakciója szükséges. Ugyanis, ha az  $Q$  pontból (3. ábra) kilépő gömbhullám eléri azt az  $A$  pontot, ahol elnyelődik, akkor a hullám azon részének, amely az  $A$  ponttal ellentétes irányba, a  $B$  pontba jutott el, a fényénél nagyobb sebességgel kell elérnie az  $A$  pontot. Ez igaz akkor is, ha a laboratóriumi fényforrásról vagy egy távoli csillagról van szó. Ezt a vélt vagy valódi jelenséget a *foton kollapszusának* nevezték el. (Ez a probléma vezette oda Jánossyt, hogy az einsteini speciális relativitáselmélet helyett olyan elméletet írjon fel, ami egyezik a tapasztalattal, de nem követeli meg, hogy elvessük a fénysebességnél nagyobb sebesség létezését.) Azt, hogy a fotoeffektus valóban gyors jelenség, a *Mégsem volt jó a ko-incidenciamérés?* című, majd a cikk második részében ismertetendő kísérletünk is igazolja.

3. ábra. A fotoelektromos jelenséghez,  $Q$  – fényforrás;  $A$ ,  $B$  – megfigyelési pontok.



### Két hazai kísérlet

A továbbiakban ismertetett két kísérlet az előzőekben felvetett két kérdésre kívánt választ adni:

1. Valóban csak az egyik sokszorozó szólal meg a kettéválasztott nyaláb után?

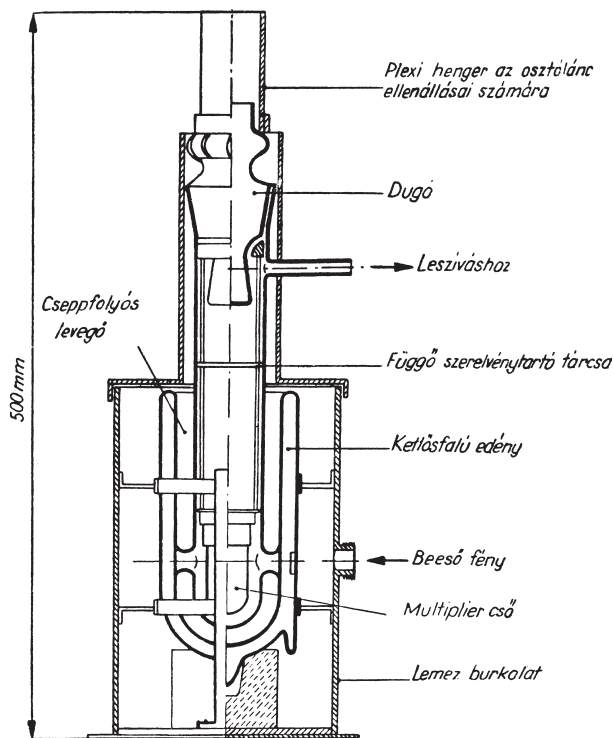
2. A kettéválasztott nyaláb újraegyesítése után valóban interferál-e a foton önmagával?

A kísérleteket a lehető legkisebb fényintenzitás mellett kell elvégezni, hogy kizárjuk azt a lehetőséget, hogy a jelenségek két vagy több foton egyidejű kölcsönhatása miatt jöttek létre.

A belga *Cosyns* professzor – Jánossynak tett szóbeli közlése alapján – elvégezte a koincidenckiakísérletet és negatív eredményre jutott, de nem publikálta [5]. A tűsugárzásnak *J. J. Thomson* 1907-ben felvetett hipotézise (amelyet *Selényi Pál* 1911-ben már megcáfolt) kapcsán felmerült, hogy kis fotonszám esetén fellép-e interferencia. Ugyanis, ha a fotonok gömbszerű, lokalizált részecskék, akkor interferencia csak több foton egyidejű kölcsönhatása révén jöhet létre, ezért kis intenzitásnál csökken két vagy több foton találkozásának valószínűsége. Kis intenzitású interferencia megfigyelésével több kísérletet végeztek a 20. század elején, a detektor mindig fotografikus lemez volt.<sup>1</sup> *Taylor* 1909-ben azt vizsgálta, hogy fellép-e diffrakció kis intenzitásoknál. (A diffrakciós kép is hullámok interferenciájából áll elő.) A válasz pozitív volt. *Dempster* és *Batho* 1927-ben 15 lépcsőből álló rácson, illetve vékony rétegen keletkező interferenciaképből állapította meg az intenzitásfüggést. A rácsos kísérletekben a legkisebb intenzitás 95 foton/s volt, az expozíció 24 óráig tartott. A kísérletek közös jellemzője, hogy az interferáló hullámok közötti úthosszkülönbség a rácsos kísérletben 0,1–0,2 mm volt, a diffrakciós kísérletekben pedig csak néhány hullámhosszny.

Kíváncos volt a kísérletet az intenzitáseloszlás fotoelektromos detektálásával elvégezni. Ha az interferométer után az  $M$  mérési pontban (1. ábra) elektron-sokszorozót helyezünk el, akkor ez minden egyes fotoelektron hatására egy elektromos feszültségimpulzust ad, és módunk van ezeket az impulzusokat megszámlálni. Várhatóan több impulzust számlálunk meg ott, ahol az interferenciacsíkban maximális az intenzitás, kevesebbet, elvben egyet sem, ahol minimális, és így az interferenciakép intenzitáseloszlása letapogatható. Egyetlen mérésben a fény mindkét tulajdonsága megjelenik; a hullám az interferencia létrejöttével, a részecske pedig a fotonszámlálással.

<sup>1</sup> Tonomura és társai [10] elvégezték a fotografikus regisztrálás analóg kísérletét elektronokkal. Lassított filmfelvételt készítettek az interferenciakép kialakulásáról igen kis elektronáram mellett. Az elektronok lumineszcens ernyőre estek, az ernyőt kamerával figyelték és időközönként rögzítették a képet. Ahova egy elektron beesett, ott fény villant fel, ezt rögzítette a film. Amíg csak kevés volt a beeső elektronok száma, addig az egyes lumineszcens felvillanások helye rendezetlennek tűnt, majd észrevehetően sűrűsödni kezdtek a felvillanások ott, ahol az intenzitás nagyobb volt, végül kirajzolódott a periodikus intenzitáseloszlás.



4. ábra. Az elektronsokszorozó hűtője [12].

## A koincidenciakísérlet

Jánossy aspiránsát, Ádám Andrást bízta meg a kísérlet végrehajtásával. Előbb azt a berendezést kellett elkészítenie ( $D_1$  és  $D_2$ , lásd a 2. ábrát), amelyekkel fotonokat lehet számlálni. Az alap egy USA-beli fotoelektron-sokszorozó volt, ez egyetlen primér fotoelektronból körülbelül százezer elektront produkált, amitől az anódon mintegy  $10^{-9}$  másodpercig tartó lavina jelent meg. Mivel ebben az időben még nem tudtunk ilyen rövid impulzusokat kezelni, a jelet megnyújtottuk, a kiinduló jel amplitúdója átlagosan 1,6 mV, hossza pedig 1  $\mu$ s volt. Ezt az impulzust erősítettük, majd megszámláltuk. (Faragó Péter, aki Bay Zoltán munkatársa volt az Egyesült Izzó kutatólaboratóriumában, a [11] publikációhoz csatolta megemlékezéseit. Bay már 1938-ban javasolta az elektronsokszorozót az elemi részecskék számlálására, de az eszköz befejezéséig a háború miatt nem jutottak el.)

A kis elektromos impulzusok megszámlálását nehezítette, hogy egy fizikai intézet maga is elektromos zavarok forrása, a szomszéd szobában megszólaló GM-cső jelzéseit a mi berendezésünk is regisztrálta. Ezért leköltöztünk a kozmikus sugárzás vizsgálatára épített föld alatti laboratóriumba, itt a távolság és a vastag földréteg megvédett a zajoktól és a mérőhelyiséget egyetlen kattintással el lehetett sötétíteni. A laboratórium harminc évre az optikai mérések színhelye lett, egy másik jó tulajdonságát, a rezgésmentességet a következő mérésekben ki is használtuk.

A külső zajforrások mellett egy másik, belső zajforrás is fellépett. Detektorunk fotokatódjának kilépési munkája éppen azért, hogy a látható fényt is detektálhassuk, alacsony volt. A fém fotokatód szabad elekt-

ronjai egy részének kinetikus energiája már szobahőmérsékleten is nagyobb volt, mint a kilépési munka, ezért a katód viszonylag sok elektront emített (sötétáram). Detektorunk ezeket éppen úgy megsokszorozta, mint a fotoelektronokat. A sötétáram csökkentésére a detektort cseppfolyós levegővel kellett hűteni, de ekkor – a rácsapódó pára miatt – a sokszorozóra kapcsolt 1000 V feszültség átütött. Az irodalom alapján a sokszorozót vákuumba kellett helyezni, viszont ekkor nagyon lassan hűlt le, a hőt csak a Dewar-edény fala és a sokszorozó ezzel érintkező külső szerelvénye vezette el. Kolumbusz tojása: a sokszorozót tartalmazó csőből előbb eltávolítottuk a szoba levegőjét, majd az egészet száraz levegővel töltöttük fel, és hat óra helyett fél órára csökkent a lehűtés ideje. A detektor teljes szerelvénye a 4. ábrán látható. A sötétáram kicsi volt, 1-2 beütés/s, ezért az általunk használt intenzitás mellett (300 beütés/s) már nem kellett figyelembe venni. Ezzel készen álltunk fotonok számlálására [12].

Essen be a detektorra másodpercenként (időegységenként)  $n$  foton, legyen  $p$  annak valószínűsége, hogy a fotont detektáljuk, akkor másodpercenként  $N = pn$  impulzust regisztrálunk. Azoknak az eseményeknek a száma, amikor a két sokszorozó egyetlen foton hatására jelez egy másodperc alatt  $\epsilon p^2 n$ , itt  $\epsilon$  a kettős megszólalás valószínűsége. A koincidenciák számának meghatározásánál azt is figyelembe kellett venni, hogy koincidenciaberendezésünk felbontóképessége véges. A berendezés akkor is jelez egyidejűséget, ha a két sokszorozó egymástól függetlenül, a felbontóképességnek nevezett  $\theta_v$  időn belül szólal meg, ezen események, a véletlen koincidenciák száma időegység alatt

$$K_v = 2 N^2 \theta_v. \quad (1)$$

Minthogy egy  $t$  pillanatban regisztrált foton átlagban annyi véletlen koincidenciát ad, ahány foton regisztrálódik a  $(t - \theta_v, t + \theta_v)$  intervallumban, ez a szám  $2\theta_v N$ -nel egyenlő. Időegység alatt átlagban ennek  $N$ -szeresét kapjuk véletlen koincidenciaként. Így koherens megvilágítás mellett időegység alatt a koincidenciaszám

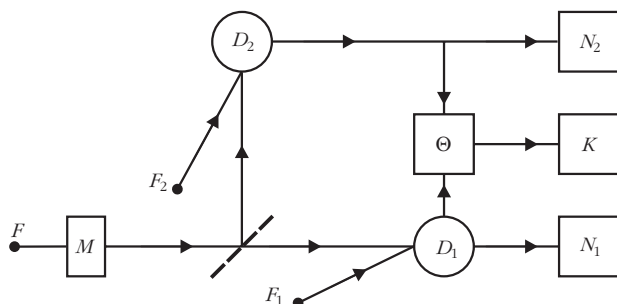
$$K_k = K_v + \epsilon p^2 n = 2 N^2 \theta_v + \epsilon p^2 n, \quad (2)$$

A mérés célja a kettős megszólalás valószínűségének, azaz  $\epsilon$  értékének meghatározása volt. Ahhoz, hogy kijelenthessük, hogy igen nagy valószínűséggel léteznek szisztematikus koincidenciák, megköveteltük, hogy

$$\langle K_k \rangle > \langle K_v \rangle + 3 \Delta \langle K_v \rangle$$

egyenlőtlenség teljesüljön. Itt a csúcsos zárójelpárral a mérések átlagértékét jelöltük, és  $\Delta \langle K_v \rangle$  a véletlen koincidenciák átlagának statisztikus hibája.

A véletlen koincidenciák számát úgy kívántuk meghatározni, hogy a két sokszorozót két független  $F_1$  és



5. ábra. A koincidienciamérő,  $F$  – közös fényforrás;  $M$  – monokromátor;  $F_1, F_2$  segédfényforrások;  $D_1, D_2$  detektorok;  $\Theta$  koincidiencia-áramkör;  $K, N_1, N_2$  – számlálók.

$F_2$  fényforrással világítottuk meg. Mindkettő akkora impulzusszámot produkált, mint az egyetlen koherens  $F$  fényforrás mellett külön-külön a két sokszorozó. Mérőberendezésünk sémája az 5. ábrán látható. Mértük a két sokszorozó ( $N_1$  és  $N_2$ ) impulzusainak és a  $K$  koincidienciák számát.

Világos volt, hogy a mérések a statisztikus adatgyűjtés miatt hosszán eltartanak. Méréseink alapján a sokszorozó hatásfoka, tehát annak a valószínűsége, hogy egy foton hatására egy impulzust kapunk  $p = 3 \cdot 10^{-3}$  volt. Egy sokszorozó másodpercenként körülbelül 400 impulzust adott, tehát a fotonok száma  $n = 130\,000/\text{s}$  volt. Ilyen formán, ha annak valószínűsége, hogy mindkét sokszorozó egyszerre megszólal  $\varepsilon = 1\%$ , akkor 1 percig tartó mérés alatt 0,72 „igazi” koincidienciára számíthattunk. Ugyanekkor,  $\theta = 2,5 \cdot 10^{-6}$  s felbontóképeség mellett egy perc alatt  $K_v = 48$  véletlen koincidienciát vártunk, két nagyságrenddel többet, mint az „igazi” koincidienciák száma.

A hosszú mérési idő miatt nem lehetett megkövetelni, hogy berendezésünk stabil maradjon, különösen kritikus volt a  $\theta$  felbontóképeség állandó volta. Ez áramköri paramétereiktől, és az elektroncsövek jellemzőinek öregedésétől függött. A fényforrások intenzitása sem volt állandó. Olyan eljárást kellett találni, amely a lassú változások hatását kiküszöböli. Ezért koherens (egy osztott fénynyaláb) és inkoherens (két független fényforrás) fénnel végzett méréseket sűrűn váltogatva végeztük, és ehhez illesztettük a kiértékelési eljárást is. A  $\theta$  felbontóképeséget koincidienciamérésből nyert adatokból számítottuk ki, ennél pontosabban nem is lehetett. A felbontóképeség két egymás után következő mérés tartama alatt ugyan nem változott, de az (1) formula alapján kiszámított értéke az intenzitás aktuális értékétől függött

$$\theta_{v,m} = \frac{K_m^{(i)}}{2 N_{1,m}^{(i)} N_{2,m}^{(i)}},$$

itt a felső index az inkoherens (kétforrásos) megvilágításra, az alsó indexben a szám a sokszorozóra utal,  $m$  a leolvasás sorszáma. Koherens (egyforrásos) megvilágításnál bevezettünk egy fiktív  $\theta_v^{(k)}$  feloldóképeséget a következő definíció alapján:

$$\theta_v^{(k)} = \frac{K^{(k)}}{2 N_1^{(k)} N_2^{(k)}},$$

ahol a  $k$  felső index a koherens megvilágításra utal. Itt is meghatároztuk a fiktív felbontóképeség aktuális értékét, épp úgy, mint a véletlen koincidienciák esetében. A (2) formula a következőképpen módosul

$$\theta_k - \theta_v = \frac{\varepsilon p^2 n^{(k)}}{2 N_1^{(k)} N_2^{(k)}}.$$

A statisztikus kiértékelés tárgyának a  $\theta_{k,m} - \theta_{v,m}$  mennyiségeket tekintettük, ebből számítottunk átlagot és hibát. Ha az átlag szignifi-

kánsan eltérne a nullától, akkor létezne valódi koincidenca. Mivel az egyes sokszorozók impulzusszáma a kiértékelésnek ebben a stádiumában állandónak vehető, a kettős megszólalás valószínűsége

$$\varepsilon = \frac{\langle N \rangle}{p} (\langle \theta_k - \theta_v \rangle \pm \Delta \langle \theta_k - \theta_v \rangle),$$

a csúcsos zárójelpár most is az átlagértékre utal.

Három mérősorozatot végeztünk, az első kétperces, a másodikat és a harmadikat századmásodperces váltással. Az eredmény:

| $\varepsilon$ | $\Delta\varepsilon$ |
|---------------|---------------------|
| 0,0076        | $\pm 0,0040$        |
| -0,0029       | $\pm 0,0030$        |
| -0,0017       | $\pm 0,0036$        |

Az egyes sorozatok súlyozott átlaga az

$$\varepsilon \pm \Delta\varepsilon = 5,3 \cdot 10^{-4} \pm 2 \cdot 10^{-3}$$

eredményt adta. Tehát annak a valószínűsége, hogy két sokszorozó egyszerre szólaljon meg legfeljebb  $3 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,006$ , hat ezrelék. Ha elfogadjuk, hogy a mérések eredményei Gauss-eloszlást követnek, annak a valószínűsége, hogy fenti állításunk hamis 0,000022.

## Az interferenciakísérlet

Jánossy és Náray kísérletei [13–15] három dologban különböztek a 20. század elején végzettektől. Egyrészt a detektor elektronsokszorozó volt, a fotonokat *egyenként* számlálták meg. Másrészt az előző kísérletekben diffrakciós képet használtak, vagy 16 utas lépcsős rácsot, tehát több hullám interferált. Mindig előnyben részesítjük azokat a kísérleteket, amelyek egyszerűbben prezentálják az eredményt. A legfontosabb különbség az volt, hogy az interferáló hullámok jól szétvááltak, és a szétválasztás után nagy utat tettek meg a Michelson-interferométerben a  $T_1$  és a  $T_2$  tükröig (1. ábra). Ez az út 1–10 cm, de egy sorozatban 14 m volt. Az előző kísérletekben ez az úthossz összemérhető volt a hullámhosszal.

Az első kérdés az volt, mit nevezünk alacsony fotonszámnak. Kétféleképpen járhatunk el. Ha J. J. Thomson nyomán szigorúan pontszerűnek tételezzük fel a fotont, akkor meg kell követelnünk, hogy egyszerre legfeljebb egyetlen foton tartózkodjon az interferométerben. Ha szokványos interferométeret tekintjük, a karhossz 10 cm körül van, tehát a fotonszám  $n \ll c/10$  cm kell, hogy legyen ( $c$  a fénysebesség). Ha a fotonhoz hullámvonulatot rendelünk, akkor ennek hossza a kísérleti adatok alapján nem több, mint 1 m, tehát a  $n \ll c/1$  m egyenlőtlenségnek kell teljesülnie. Ezért az  $n = 10^6$  foton/s megfelelő választás. Ha össze kívánjuk hasonlítani a kis intenzitásnál kapott interferenciaképet a nagy intenzitású interferenciaképpel, akkor az utóbbira  $n > 10^{10}$  foton/s/nyalábszélesség intenzitást kell választanunk.

A kísérlet megint nehéz technikai feladat elé állította kivitelezőit. Míg a fotonkoincideneciák esetében az „igen vagy nem?” kérdésre kellett választ adni, itt görbét vettek fel. Interferenciamezőt pásztáztak végig fotonszámláló elektronsokszorozóval, alacsony fotonszám mellett, tehát a megfelelő számú és pontosságú adat eléréséhez hosszú ideig tartó kísérletre kell számítani. Mivel – különösen nagy kártávolságok esetén

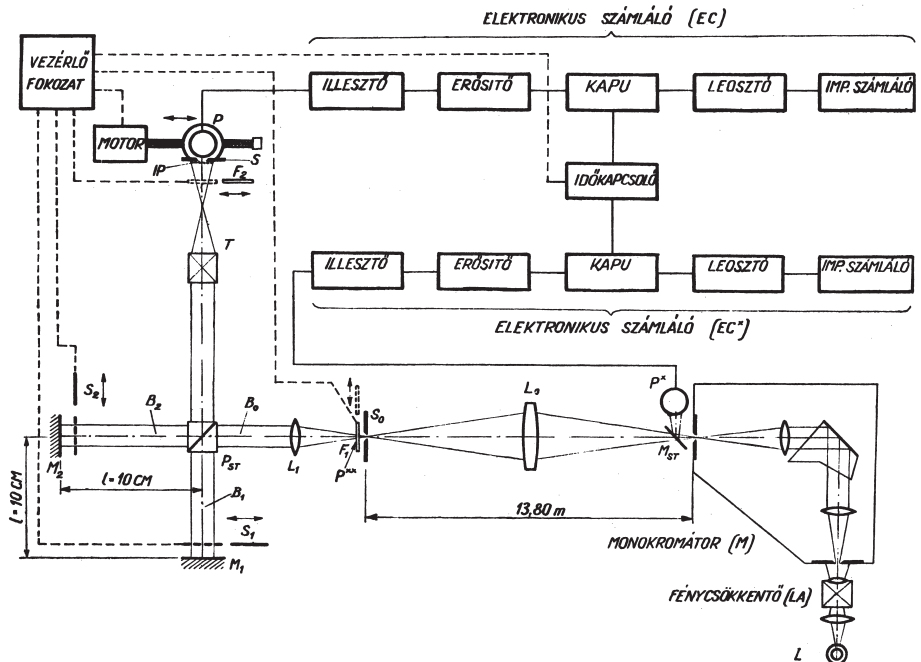


– az interferenciaképet (a csíkok helyzetét) a környezet rezgései és a hőmérséklet eloszlása is befolyásolják, a mérőberendezés mellett nemcsak nem mozdíthatott, de nem is tartózkodhatott ember. (Ilyen volt Joos mérése is, amikor egy 20 m karhosszú interferométerrel megismételte Michelson kísérletét.)

Magát a mérőberendezést a *Fizikai Szemléből* [14] átvett 6. ábrán láthatjuk. Az interferométer: a párhuzamos  $B_0$  nyalábot a  $P_{sr}$  rombusz alapú prizma átfogó síkjában levő vékonyréteg tükör osztja ketté  $B_1$  és  $B_2$  nyalábra. Az  $M_1$  és az  $M_2$  tükrökön visszavert fény újra az osztótükörön keresztül eljut a  $T$  teleszkópba, ez képezi le az interferenciacsíkokat a  $P$  elektronsokszorozó előtt elhelyezett  $S$  résre. A detektort motor mozgatta programozott pozíciókba. A  $P$  detektor impulzusait a megfelelő elektronikus berendezés számolta, amely lényegében nem különbözött a koinkidenziakísérletben használt elektronikától.

Az interferométert szemmel jól érzékelhető nagy fényintenzitás mellett állították úgy be, hogy az interferenciacsíkok függőlegesen legyenek, az  $S$  rés ezekkel volt párhuzamos. Az interferenciaképben 3-4 csík jelent meg. Mérték az interferenciamező periodikus csíkjain belül egy-egy pontban az aktuális intenzitást, egyszer kis, egyszer nagy beeső intenzitás mellett. Mivel a  $B_1$  és a  $B_2$  nyaláb keresztirányú intenzitása nem volt homogén, ezért ezek eloszlását külön-külön is meghatározták minden mérési pontban, végül a sötétáramot is. Mivel a hosszú mérési periódus alatt a fényforrás emissziója is változott, külön monitorozták ezt is. A fontos távolságok az ábrából láthatók.

A fényforrás Hg lámpa volt, amelynek 456,1 nm hullámhosszú vonalát monokromátor szűrte ki. A fény egy része a  $P^*$  elektronsokszorozóra esett, ez volt a fényintenzitás változásának monitora, jeleit szintén megszámlálták. A monokromátor kilépő részét az  $L_0$  lencsével képezték le az interferométer belépő részére. A két rés közötti nagy távolságra azért volt szükség, hogy a lámpa okozta felmelegedést elkerüljék. Kis intenzitás mérése esetén az  $F_1$  és az  $F_2$  szűrő az ábrán folytonos vonallal jelölt helyzetben volt, tehát már az interferométer bemenetén kicsi volt az intenzitás. Amikor a két szűrő szerepet cserélt (szaggatott vonalak), az interferométer bemenetén nagy lett az intenzitás. Azért kellett az intenzitást az interferométer kimenetén csökkenteni, mert a számláló berendezés véges holtideje miatt nem tudta volna megszámlálni a négy nagyságrenddel megnőtt impulzus-



6. ábra. Az interferométer és az elektronikus rész [14],  $B_0$  – a beeső,  $B_1$ ,  $B_2$  – az osztás utáni nyalábok;  $P_{sr}$  – a részben áteresztő tükröt tartalmazó prizma;  $M_1$ ,  $M_2$  – tükrök;  $T$  – nagyító teleszkóp;  $S$ ,  $S_1$ ,  $S_2$  – vezérelt fényszűrők;  $IP$  – rés,  $F_1$ ,  $F_2$  szürke szűrők;  $S$ ,  $S'$  – detektorok.

számot. Mindkét szűrő áteresztőképessége közel azonos volt. Az  $S_1$  és az  $S_2$  takarók a nyalábok intenzitásának mérésére szolgáltak. Mivel tapasztalták, hogy a két nyaláb lokális intenzitáseloszlása megegyezik, csak az egyik nyalábot mérték.

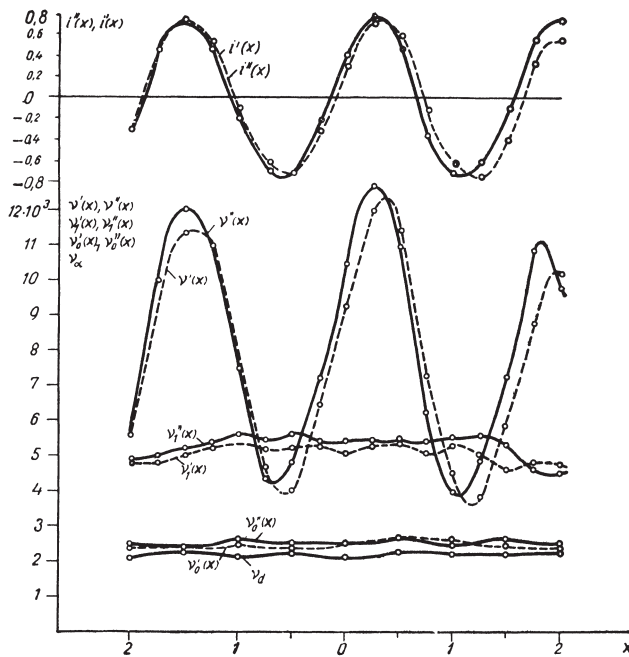
Az interferenciamező minden pontjában hat mérést végeztek. Kis és nagy beeső fényintenzitásnál mérték az intenzitást az interferenciakép adott pontjában, ugyanezeket külön a  $B_1$  nyalábban, végül a sötétáram-impulzusok számát. Egy tipikus mérést a 7. ábrán szemléltettünk. A mért impulzusszámot  $v$  jelöli.  $v'$  és  $v''$  a kis, illetve a nagy belépő intenzitásnál az interferenciaképben a detektor helyének a függvényében mért impulzusszám,  $v_1$  a  $B_1$  karban,  $v_0$  a sötétáram impulzusszámát ugyancsak, mint a hely függvénye. Az interferenciamezőt többször végigpásztázták, majd átlagolás után az

$$i(x) = \frac{N(x) - 2N_1(x) + N_0(x)}{2[N_1(x) - N_0(x)]}$$

menyiséget határozták meg külön-külön nagy és kis intenzitásokra. Az indexek értelmezését lásd fent. A 7. ábrán látható az így kiszámított mennyiség. A kis és nagy belépő intenzitások között nincs különbség.

Több méréssorozatot végeztek különböző karhosszak esetén. Így 1–10 cm karhossz mellett végzett 15 mérés az eredmények analízise alapján nem adott szignifikáns különbséget. Ebben a sorozatban a fotonok száma  $(1,6-2,2) \cdot 10^6/s$  volt. 10 cm karhossz mellett a foton  $20 \text{ cm}/(3 \cdot 10^{10} \text{ cm/s})$  ideig tartózkodott az interferométer egy karjában. Annak a valószínűsége, hogy egyetlen foton van az interferométerben  $1,5 \cdot 10^{-3}$  volt. Ha a kiterjedés nélküli foton helyett hullámvonulatra gondolunk, amelynek hossza maxi-





7. ábra. A mért intenzitások (alsó görbék), a normált intenzitások (felső görbék) az  $S$  detektor helyzetének függvényében [14]. A jelölések értelmezését lásd a szövegben.

mum 1 m, a valószínűség akkor is csak ötszörösére növekszik. (Megjegyezzük, hogy a kvantumelmélet szerint a koherens állapotban levő fotonok számát nem ilyen egyszerű meghatározni.)

Megismételték a mérést 14 m karhossz mellett is,  $10^6$  foton/s mellett is, ugyanezzel az eredménnyel.

A *koincidencia- és az interferenciakísérlet összevetése azt mutatja, hogy a bevezetésben említett elmentmondás valóban fennáll.* A fény hol részecskeként viselkedik, lokalizáltan, helyhez (a fotokatódhoz) kötötten hat, hol hullámként viselkedik, az egész interferométert, egy 14 méter hosszú alakzatot is betölt.

Tekintsük át, mit használtunk fel az elméletből. Az interferencia leírásához elegendő, ha az elektromágneses hullámok klasszikus elméletét használjuk fel – egészen a detektor katódjáig. Implicite azt is feltettük, hogy a detektálás valószínűsége az intenzitás várható értékével arányos. Ez a jelenség kváziklasszikus leírása. A fotoeffektus magyarázatával nem foglalkoztunk, nem volt rá szükségünk. Ez a pragmatikus álláspont – a probléma szőnyeg alá söprése a koincidenciakísérletnél bosszulja meg magát. Itt is elég a klasszikus elmélet egészen a fotokatódokig. Ekkor merül fel a kérdés, miért csak az egyik katódon lép fel az energia kontrakciója?

A kvantum-elektrodinamika szempontjából is kifogást lehet tenni a kísérletek interpretációja ellen. Legyen  $T$  az az idő, amennyi alatt a fény eljut a mérőberendezés elejétől a detektorig. Ha fényforrásunk gázkislülés, akkor a teljes  $4\pi$  térszögbe emittál  $T$  idő alatt. Ez mindig nagy szám. Viszont maga a mérőberendezés optikája csak igen kis térszöget lát, gyakorlatilag csak  $10^{-2}$  szteradiánt, tehát egy, a fényforrás által emittált foton legfeljebb  $10^{-3}$  valószínűséggel van a

mérőberendezésben. (Valójában, a veszteségek miatt kisebb, mint  $10^{-3}$ .) Hiába kicsi az a szám, amelyet akkor kapunk, ha a mérőeszközbe belépő teljesítményt elosztjuk a  $h\nu$  energiával, a fotonok száma nagy marad.

Az elvi kifogások dacára folytatása lett a két kísérletnek. Az a tény, hogy egy eredményt más oldalról is alátámasztanak, vagy cáfolni próbálnak az eredmény súlyát növeli, különösen, ha a technika fejlődésével jobban is el lehet végezni a mérést.

## Helyes volt az interferenciamérés?

1967-ben, jóval a [14, 15] munkák megjelenése után *Doncov* és *Baz* tollából cikk jelent meg [16], amelyben cáfolták, hogy kis intenzitásoknál ugyanolyan a normált interferenciakép, mint nagyoknál. Mérőberendezésük lényegesen bonyolultabb volt, mint a kritika tárgyává tett Jánossy–Náray-kísérletben esetében, mert Michelson-interferométer helyett Fabry–Perot-interferométert használtak, tehát két interferáló hullám helyett sok, elvben végtelen sok hullám interferenciáját vizsgálták. Nem is fotonszámolással detektálták az interferenciaképet, hanem fényerősítővel és fényképezéssel. A fényerősítő első része egy nagyméretű fotokatód, erre esik az interferenciakép. A fotokatódot ezután lumineszkáló ernyőre képezik le, most már elektrooptikai úton. A leképezéshez 10–20 kV feszültséget használnak, ezáltal az elektronok energiája megnő és a lumineszcens ernyőn minden egyes fotoelektron észlelhető felvillanást okoz. Ezeket a felvillanásokat fényképezték le. Nagy intenzitások vagy hosszú expozíciós idő mellett a felvillanásokból kirajzolódnának a Fabry–Perot-gyűrűk, a felvillanások olyan sűrűk lennének, hogy a felvillanások helyei összemosódnának. Kis intenzitásoknál, ha nem túl hosszú az expozíciós idő, az egyes pontok nem fedik egymást, és statisztikai módszerekkel kell megállapítani, vajon periodikusan változik-e a pontok átlagos sűrűsége.

Kis intenzitással végzett mérésnél a szerzők az interferométer elé helyeztek egy abszorbeáló szűrőt. Nagy intenzitás esetén ugyanezt a szűrőt a képerősítő elé helyezték át. Így mind a két esetben a képerősítőre már azonos átlagintenzitású fény esett be, a fényképeket össze lehetett hasonlítani. Amíg a Fabry–Perot-interferométerre nagy intenzitású fény esett be, ki lehetett mutatni az interferenciakép létezését, kis intenzitásoknál viszont nem.

A cikk nemcsak a Jánossy–Náray-mérésnek mondott ellent, de az elméleti várakozásnak is. A cikket közlő folyóirat egyik szerkesztőbizottsági tagjától értesültem arról, hogy a főszerkesztő P. L. Kapica is kétkelkedett a szerzők állításában, de véleménye – helyesen – az volt, hogy az ilyen kísérleti munkát közölni, megvitatni, megismételni, megcáfolni vagy elfogadni kell. Mivel a cikk megjelenésének évében több hónapig Moszkvában dolgoztam, megpróbáltam kapcsolatba lépni a szerzőkkel, de nem sikerült. További közle-

ményt a szerzők tollából nem találtam. Ezért *felteszem*, intézetükben (amelyet nem neveztek meg) találhattak hibát a mérésekben, ezért abbahagyták a kutatást. Ellenkező esetben – tekintettel a téma roppant jelentőségére – folytatták volna, természetesen a szerzők publikációinak özönével.

A jelenség más szerzők érdeklődését is felkeltette. Reynolds és társa [17] ugyanolyan berendezéssel mértek mint Doncov és Baz. Az utóbbi szerzők fényforrása nagy intenzitást bocsátott ki, ezért már közvetlenül a forrás után is csökkenteniük kellett az intenzitást. (Ez a szűrő az egész mérés alatt bent volt.) Reynoldsék a fényforrás kilépő intenzitását eleve kicsire választották. Ugyanis, ha sok az egyidejűleg gerjesztett atom a forrásban (a hullámhosszal összemérhető távolságban vannak az atomok), akkor ezek nem egymástól függetlenül sugároznak. Ők 30 foton/s/detektorfelület mellett, 8 perces expozíciós idő alatt is jól kivehető interferenciagyűrűket kaptak, a gyűrűk egy-egy fotoelektron kilépési helyének megfelelő pontokból állnak (8. ábra).

Grisajev és társai a sugárzó atomok függetlenségét illetően még óvatosabbak voltak [18]. Nem is atomok képezték a fény forrását, hanem egy gyorsító tárológyűrűjében keringő elektronok szinkrotronsugárzása. Mivel a sugárzás spektruma viszonylag széles volt, csak a nulladik rendű interferenciát figyelték meg kétutas (kéthullámos) Jamin-interferométer segítségével. A szerzők becslése szerint a szinkrociklotron tárológyűrűje egy-egy impulzusának lecsengése után az intenzitás olyan szintre csökkent, hogy a detektáló képerősítő katódjára mindössze csak 2500 foton esett be másodpercenként. Azt találták, hogy az interferencia ugyancsak független az intenzitástól. A szerzők a dolgozat végén a [16] cikk egyik szerzőjének mondanak köszönetet, aki éppen az intenzitás intenzitásfüggőségét hirdető cikket írta. Ez alátámasztja feltevésemet, hogy az ominózus kutatást az adott intézetben abbahagyták. Érdekes, hogy Doncov és Baz kísérleteire többször utalnak az irodalomban, mint az őket cáfoló szerzőkre.

8. ábra. Reynolds kis intenzitással végzett interferenciamérésének eredménye [17].



Francon és Potocki [19] mutatták meg újra egy kétutas interferométerben, hogy az interferencia intenzitásfüggetlen. A fényforrás egy 20  $\mu\text{m}$  átmérőjű Ne atomsugár volt, amit egy, a sugárra merőleges elektronnyalábbal gerjesztettek. Ezzel kizárták az önfenntartó gázkisülésekben mindig jelenlévő, a termikusnál nagyobb fluktuációkat. A paraméterek megválasztásával azt is kizárták, hogy a sugárzó atomok között kölcsönhatás legyen. A fényforrás a teljes  $4\pi$  térszögbe  $6,3 \cdot 10^5/\text{s}$  fotont sugárzott ki a használt 585,2 nm hullámhosszon, ezért átlagosan 1500 ns telt el két emisszió között. Ugyanekkor a Ne atom radiációs élettartama az adott átmenetnél 15 ns volt, századrésze az átlagos emissziós gyakoriságnak. Az interferométerben megtett út hossza 45 méter volt, míg az atomi élettartamnak megfelelő úthossz  $15 \cdot 10^{-9} \text{ s} \times 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} = 4,5 \text{ m}$ , tízedrésze az úthossznak.

Mindezek alapján Doncov és Baz [16] méréseit figyelmen kívül hagyhatjuk, és a Jánossy–Náray-méréseket [13–15] igazoltnak tekinthetjük.

## Irodalom

1. L. Jánossy, P. Ingleby: Penetrating Cosmic Ray Showers. *Nature* 145 (1940) 511.
2. L. Jánossy: Penetrating Cosmic Ray Showers. *Nature* 147 (1941) 56.
3. Király Péter: A manchesteri kozmikus sugárzási iskola és a ritka részecskék felfedezése. *Fizikai Szemle* 52 (2002) 186.
4. L. Jánossy: *Cosmic Rays*. Clarendon Press, Oxford, 1950.
5. L. Jánossy: The Physical Aspects of the Wave-Particle Problem. *Acta Physica Hungarica* 1 (1952) 423.
6. P.A.M. Dirac: *The Principles of Quantum Electrodynamics*. Clarendon Press, Oxford, 3. kiadás (1956) 9.
7. B. Rossi, L. Jánossy: The Second Maximum of the Transition Curve for Showers. *Rev. Mod. Phys.* 11 (1939) 93.
8. E.P. George, L. Jánossy, M. McGaig: The "second maximum" of the shower transition curve of cosmic ray radiation. *Proc. Roy. Soc.* 180 (1942) 219.
9. L. Jánossy, L. Nagy: Der Verlauf der Rossi-Kurve bei großen Bleidicken. *Zeitschr. f. Naturforschung* 11a (1956) 312.
10. A. Tonomura, J. Endo, T. Matsuda, T. Kasasaki: Demonstration of single-electron building up of interference pattern. *Am. J. Phys.* 57 (1989) 117.
11. Ádám A., Jánossy L., Varga P.: Koherens fénynyalábokban haladó fotonok koincidencai. *Magyar Fizikai Folyóirat* 2 (1954) 499, németül *Ann. d. Physik* 16 (1955) 408, oroszul *Acta Physica Hungarica* 4 (1955) 301.
12. Ádám A., Varga P.: Fotonok számlálása elektronsokszorozóval. *Magyar Fizikai Folyóirat* 3 (1955) 249.
13. Jánossy L., Náray Zs.: A fény kettős természetére vonatkozó vizsgálatok. *Fizikai Szemle* 8 (1958) 1.
14. L. Jánossy, Zs. Náray: The interference phenomena of light at very low light intensities. *Acta Physica Hungarica* 7 (1957) 403.
15. L. Jánossy, Zs. Náray: Investigations into interference phenomena at extremely low light intensities by means of a large Michelson interferometer. *Suppl. Nuovo Cimento* 9 (1958) 588.
16. Ju.P. Doncov, A.I. Baz: Interferencionnija opiti sz ispolzovaniem sztatisticeszki nezeviszimih fotonov – *ZSETF* 52 (1967) 3.
17. G.T. Reynolds, K. Spartalian: Interference effects produced by single photons. *Il Nuovo Cimento* 61.B (1969) 355.
18. I.A. Grisajev, N.J. Naugolnij, L.P. Reprincev, A.S. Taraszenko, A.M. Senderovics: Interferencionnij opit I statistika fotonov szinchronnogo izlucsenija elektronov v nakopitele. *ZSETF* 59 (1970) 29.
19. J.D. Francon, K.A. Potocki: Single photon interference over large distances. *Phys. Rev.* 37 (1987) 2511.

# A SOKASÁG RITMUSA

## – meglepő szinkronizációs folyamatok

Néda Zoltán, Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Kolozsvár, Románia  
Káptalan Erna, Báthory István Elméleti Líceum, Kolozsvár, Románia

Rég ismert bölcsesség, hogy a SOK az más, mint egyszerűen az egyedek összege. Sok hasonló egyed kölcsönhatása során megjelenő kollektív viselkedés minőségileg új jelenségeket eredményezhet. Talán a legismertebb példa erre a különböző módon kapcsolt oszcillátorok szinkronizációja, ahol a kölcsönhatás következményeként egy kollektív ritmus alakul ki a rendszerben. A természetben, emberi közösségünkben és a fizikai rendszerekben számos példát ismerünk ilyen típusú kollektív jelenségre. Ezen jelenségek sok esetben megérthetők egyszerű fizikai modellek és módszerek alkalmazásával. A következőkben meglepő szinkronizációs jelenségeket és modelleket fogunk röviden bemutatni. A hangsúly a nemtriviális szinkronizációs folyamatokon lesz, ahol a közös ritmus csak a rendszert jellemző paraméterek bizonyos értékeire alakul ki. Még érdekesebbek azok a rendszerek, amelyekben a ritmikus kollektív viselkedés a rendszerben levő optimalizáció melléktermékeként jelenik meg, és az oszcillátorok között nincs fáziskülönbséget direkt módon csökkentő kölcsönhatás.

### Kollektív jelenségek

A nagycsaládos szülők jól tudják, hogy két gyerekkel a munka nem ugyanannyi, mint kétszer egy gyerekkel (általában sokkal több...), viszont négy gyerekkel nem ugyanannyi, mint kétszer két gyerekkel (általában kevesebb...). Számtalan természeti és társadalmi jelenség során meggyőződhetünk arról, hogy nagyszámú egyed közös (kollektív) viselkedése minőségileg új és érdekes jelenségeket eredményez. Ezen jelenségek általában nem nyilvánvaló következményei a rendszert alkotó egyedek tulajdonságainak: a sok az más, mint egyszerűen az egyedek összege. A rendszer egészét jellemző nemtriviális viselkedést kollektív jelenségnek nevezzük, utalva arra, hogy a furcsa viselkedés a rendszert alkotó egyedek közti kölcsönhatásból, illetve az egyedek nagy számából adódik. A fentiek alapján könnyű megsejteni, hogy a kollektív viselkedés egy nagyon tág jelenségcsoportot jelöl, és számos természet-, illetve társadalomkutató fáradozik ezek megértésén. Amint a tudományok fejlődése során már sokszor megtörtént, a fizika klasszikus modelljei és módszerei hasznosnak bizonyulnak ezen jelenségek leírására is. A kollektív jelenségek tanulmányozása így a modern fizika egyik érdekes feladata lett, amelyben sok izgalmas és váratlan eredmény született. Egymással kölcsönható ingaórák vagy oszcilláló áramkörök szinkronizációja talán a legismertebb kollektív viselkedés. Régóta ismert jelenség ez, és ha igaz a legenda, akkor

*Christian Huygens* holland fizikus (1629–1695), aki ingaórákat is készített, volt az első, aki felfigyelt arra, hogy az egy falon levő órák ingái együtt lengenek (szinkronizálódnak). Mivel tudta, hogy lehetetlen két olyan ingaórát készíteni, amelyeknek pontosan azonos periódusa van, helyesen, a két inga közti kölcsönhatásnak tulajdonította a szinkronizációt. A két ingaórát egymástól eltávolítva a szinkronizáció megszűnt, sejtése ezáltal beigazolódott.

Ezen írás keretében nagyszámú oszcillátor szinkronizációját tárgyaljuk azon esetekben, amikor a szinkronizáció megjelenése nem nyilvánvaló.

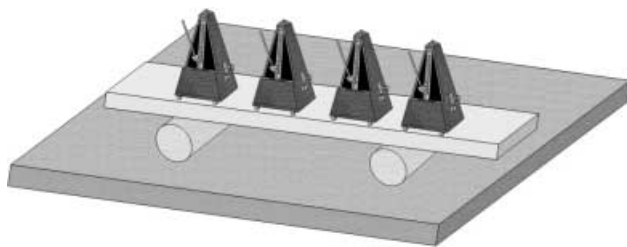
### Mi is a szinkronizáció?

Oscillátornak fogunk nevezni minden olyan rendszert, amelynek periodikus dinamikája van. Nem csak fizikai, hanem biológiai rendszerek is lehetnek oszcillátorok. Az oszcillátorok szinkronizációja a legtöbb fizikusnak azt jelenti, hogy a rendszert alkotó egyedek fázisai azonosak és időben azonosak is maradnak. Ez a dinamikus állapot azonban a szinkronizációnak csak az egyik lehetséges formája, és nagyon sok más dinamikus állapotra lehet még a szinkronizáltság fogalmát használni. Például, ha adott esetben az oszcillátorok közti fáziskülönbség marad időben állandó, a rendszert jogosan szinkronizáltak tekintjük. A feladat ennél még sokkal bonyolultabb, ugyanis nagyon sok oszcillátor esetén nincs egy jól értelmezett fázis, hiszen oszcillátornak lehet tekinteni bármely komplex periodikus (ciklikus) folyamatot. Másfelől, a fentebb értelmezett tökéletesen szinkronizált állapoton kívül létezhetnek részlegesen (parciálisan) szinkronizált állapotok is, ahol az oszcillátorok fázisai nagyrészt, vagy csak megközelítően azonosak. Egy oszcillátorsokaság szinkronizációjának a jellemzésére általában egy  $q$  rendparamétert vezetünk be, ami egy 0 és 1 közötti szám. A rendparaméter a szinkronizáció fokát jellemzi,  $q = 1$  a tökéletesen szinkronizált állapotnak felel meg,  $q = 0$  bármely fajta szinkronizáció hiányát jellemzi, és a  $0 < q < 1$  esetben a szinkronizáció részleges. A rendparaméter megválasztása nem mindig egyértelmű, és nagymértékben függ az oszcillátorsokaság tulajdonságaitól.

### Triviális, illetve nemtriviális szinkronizációs jelenségek

Tárgyaljuk először azt az esetet, amikor a sokaságot alkotó oszcillátorok egyformák, és a rendszerben nincs egy „karmester” aki egy közös ritmust diktálna.





1. ábra. Sörösbádogokra helyezett deszkalapon oszcilláló azonos metronómok szinkronizációja.

Ilyenkor spontán szinkronizációról beszélünk. Tökéletesen azonos, egymással globálisan kölcsönható (mindenki mindenkivel) oszcillátorok spontán szinkronizációja triviális, ha az oszcillátorok közti kölcsönhatás fáziskülönbség-csökkentő jellegű. Ilyen esetekben azt mondhatjuk, hogy a tökéletesen szinkronizált állapot a rendszernek egy stabil fixpontja. A rendszer a közös frekvenciára szinkronizálódhat úgy, hogy az oszcillátorok fázisai minden időpillanatban megegyeznek. Ilyen jellegű szinkronizációt hozhatunk létre, ha például tökéletesen azonos metronómkat egy deszkalapra rakunk, majd a deszkalapot két hengerként lefektetett sörösbádogra egy asztallapra helyezzük (1. ábra).

Azonnal belátható, hogy a fent leírt rendszer csak a „mesékben” létezik ... ugyanis a valóságban tökéletesen egyforma egyedek nem léteznek. Bármennyire is akarnánk, nem tudunk két, teljesen azonos frekvenciájú metronómot vagy ingát készíteni, sőt még atomi szinten sem tudunk két teljesen azonos oszcillátort kapni, ugyanis egy elemi oszcillátor periódusát valamilyen mértékben a környezete is befolyásolja. Mivel teljesen egyforma oszcillátorokból álló sokaság nem létezik, jogos a kérdés, hogy különböző frekvenciájú oszcillátorok szinkronizálódhatnak-e? Ha igen, akkor mi ennek a feltétele, és mi lesz a közös frekvencia, amit minden egyed felvesz? Fáziskülönbség-csökkentő kölcsönhatások esetén tehát az azonos egyedekből álló rendszer spontán szinkronizációja triviális, de a valóságos eset, amikor az oszcillátorok sajátfrekvenciái különböznek, nem triviális.

Ha a különböző sajátfrekvenciájú oszcillátorokat egy elég erős külső periodikus kényszer (karmester) vezérli, a rendszer szinkronizációja újból könnyen megérthető. Ha a periodikus vezérlésnek az a hatása, hogy az oszcillátorok és a karmester fáziskülönbsége csökken, az oszcillátorok a vezérlő frekvenciára szinkronizálódnak. Ilyenfajta triviális szinkronizáció rendkívül elterjedt a természetben és társadalmunkban: katonák masírozása, tánc, a Föld és Hold forgása, vagy az évszakok váltakozása által generált bioritmuskok, a szívritmust szabályozó sejtek szinkronizációja a szívbe beépített szívritmusszabályzó által stb....

A spontán szinkronizációnak egy erősen nemtriviális és érdekes megjelenési lehetősége az, amikor különböző sajátfrekvenciájú oszcillátorok szinkronizálódnak anélkül, hogy egy direkt fáziskülönbség-csökkentő kölcsönhatás lenne az egyedek között. Ezen

rendszerekben a szinkronizáció egy optimalizáció melléktermékeként jelenik meg.

A spontán szinkronizáció nagyon gyakori jelenség. Számos természeti és szociális rendszerben megfigyelhető: mechanikailag kapcsolt ingák és metronómkok, kapcsolt elektronikus rezgőkörök, dél-kelet-ázsiai tűzlegyek periodikus felvillanásai, tücskök cripelése, békák brekegése, együttélő nők menstruációs ciklusainak egybeesése, vastaps, kémiai reakciókban levő oszcillációk és egymástól távoli vihar-magokban a villámlási aktivitás stb. esetén [1]. A spontán szinkronizációs jelenségek megértése és leírása ezért érdekes és fontos feladat. A következőkben a spontán szinkronizációk néhány fontosabb modelljét és törvényszerűségeit egy kicsit részletesebben fogjuk tárgyalni.

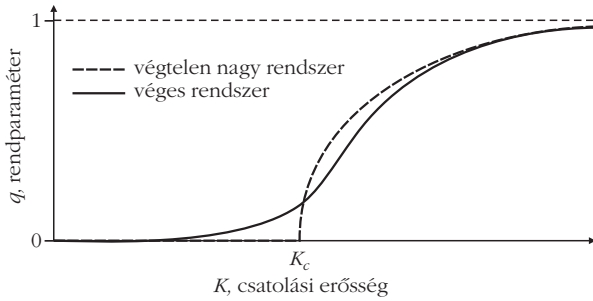
## Fáziskapcsolt oszcillátorok spontán szinkronizációja, a Kuramoto-modell

Kísérletileg megállapított tény, hogy nagyon sok ingaóra vagy metronóm szinkronizálódhat, annak ellenére, hogy sajátfrekvenciájuk különböző. Ennek azonban az a feltétele, hogy a köztük levő kölcsönhatás elég erős legyen. Egy sok oszcillátort tartalmazó rendszerre létezik egy kritikus kölcsönhatás-erősség, ami alatt a rendszer nem szinkronizálódik, azonban ha az egyedek közti kölcsönhatás erőssége meghaladja ezt a kritikus értéket, akkor megjelenik a szinkronizáció. Minél eltérőbbek az oszcillátorok, annál magasabb a kritikus kapcsolás értéke. Ezt az érdekes fázisátalakulás-szerű jelenséget írja le a Kuramoto-modell [2].

A Kuramoto-modell fáziskapcsolt rotátorok sokaságát tekinti. Tekintsünk  $N$  darab globálisan csatolt rotátort. A rotátorok  $\omega_k$  körfrekvenciával rendelkeznek és állapotukat a  $\phi_k$  fázisuk jellemzi. Kuramoto és Nishikava, Winfree [3] ötletét követve, a rendszer időbeli evolúcióját egy kapcsolt elsőrendű differenciálegyenlet-rendszerrel közelítette meg. Modellükben az  $k$ -adik oszcillátor mozgásegyenlete:

$$\frac{d\phi_k}{dt} = \omega_k + \frac{K}{N} \sum_{j=1}^N \sin(\phi_j - \phi_k), \quad (1)$$

ahol  $K$  az oszcillátorok közti csatolás erősségét jellemző állandó. Az (1) differenciálegyenlet jobb oldalának az első tagja egy szabad (a többi oszcillátorral nem kapcsolt) oszcillátor fázisának a sajátfrekvencia szerinti, konstans sebességű változását írja le, a második tag pedig a rendszerben levő többi oszcillátorral való kölcsönhatást modellezi. Az (1) szerint minden oszcillátor hat minden más oszcillátorra és ez a hatás fáziskülönbség-csökkentő: ha  $\phi_j > \phi_k$  a  $k$ -adik oszcillátor fázisa gyorsabban nő, ha meg  $\phi_j < \phi_k$ , akkor lassabban. Mindez a kölcsönhatást meghatározó harmonikus függvény nulla körüli viselkedésének tulajdonítható és a szinkronizációt segíti. Kuramoto és Nishikava nagy érdeme, hogy rájöttek arra, hogy ha az egye-



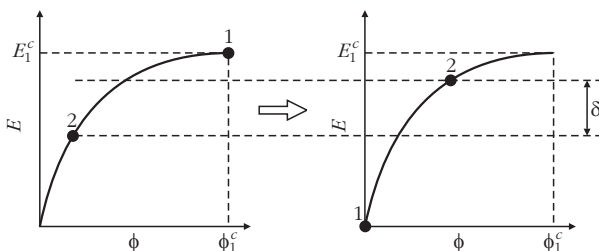
2. ábra. Fázisátalakulás-szerű szinkronizáció a Kuramoto-modellben.

dek közti kölcsönhatást harmonikus formában választják meg, a kapcsolt differenciálegyenlet-rendszer szétválasztható egymástól független egyenletekké, és a szinkronizáltság fokát jellemző  $q$  rendparaméter átlagos értékére analitikus eredmények kaphatók. Rendparaméternek a:

$$q = \left\langle \left| \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N e^{i\phi_j} \right| \right\rangle \quad (2)$$

0 és 1 közti mennyiséget tekinthetjük. A (2) képletben a csúcsos zárójel idő szerinti átlagolást jelent. Nyilvánvalóan, ha a fázisok véletlenszerűen mutatnak minden lehetséges irányba, a rendszer nem szinkronizált és  $q = 0$ . Ha azonban a rendszer tökéletesen szinkronizált, a fáziskörön minden fázor egy irányba mutat és ezáltal  $q = 1$ . A Kuramoto-modell egzakt megoldása a termodinamikai határesetre vonatkozik ( $N \rightarrow \infty$ ) és azt az érdekes eredményt adja, hogy egy adott oszcillátorsokaság esetén létezik egy kritikus  $K_c$  csatolási erősség: ha  $K \leq K_c$ , a rendszer nem szinkronizálódik és a stabil megoldás  $q = 0$ ; ha  $K > K_c$ , a rendszerben részleges szinkronizáció jelenik meg, és a stabil megoldás:  $0 < q < 1$ . A  $q=1$  tökéletes szinkronizáció a  $K \rightarrow \infty$  határesetben jelenik meg. A  $q$  rendparaméter  $K$  szerinti változását végtelen nagyságú és véges nagyságú rendszerekre a 2. ábra szemlélteti. A  $K_c$  kritikus csatolási erőssége az oszcillátorok sajátfrekvenciáinak szórásától függ: minél inkább különböznek ezek a sajátfrekvenciák (minél nagyobb a szórás értéke), annál nagyobb lesz  $K_c$  értéke. A rendszerben egy érdekes fázisátalakulás-szerű jelenség tapasztalható, ezen fázisátalakulás sok szempontból hasonló a ferromágneses rendszerekben levő ferroparamágneses fázisátalakuláshoz. A rendparaméter szerepét itt a rendszer mágnesezettsége, a  $K$  paraméter szerepét meg a rendszer hőmérsékletének inverze, az  $1/T$  veszi át.

3. ábra. Tüzelő oszcillátorok szinkronizációs mechanizmusa.



A Kuramoto-modell magyarázatot ad tehát arra, hogy egy valós oszcillátorsokaságban, ahol az oszcillátorok sajátfrekvenciái különbözöek, miért és mikor jelenhet meg bizonyos fokú szinkronizáció.

## Pulzuscsatolt oszcillátorok

Nagyon sok természetbeli oszcillátor esetén a fázis nem jól értelmezett mennyiség, és így az oszcillátorok kölcsönhatását nem a fázisok különbsége vezérli. Tekintsük például az ázsiai tűzlegyek esetét: egy tűzlegy fázisa nem értelmezhető, és a tűzlegyek egymásról csak a felvillanás (pulzus kibocsátás) pillanatában szereznek információt. Tehát feltehető, hogy az egyedek közti kölcsönhatás is csak a felvillanás időpontjában lép fel. A természetbeli oszcillátorok nagy többsége tüzelő jellegű (pl. a neuronok), és kölcsönhatásuk ezen tüzelések révén valósul meg. Erre a pulzuscsatolt oszcillátorrendszerre is létezik egy egyszerű modell, amely elegánsan magyarázza a különböző sajátfrekvenciájú oszcillátorok szinkronizálásának lehetőségét [4]. A modellnek itt egy nagyon egyszerű változatát fogjuk ismertetni. Tekintsünk egy idealizált pulzáló oszcillátort, amelynek pillanatnyi állapotát egy képzeletbeli  $\phi_i$  fázis és egy másik,  $E_i$  állapotváltozó határozza meg. Ezen két változó egymástól nem független, és kapcsolatukat egy

$$E_i = f(\phi_i) \quad (3)$$

konkáv jellegű függvény adja meg (3. ábra). Az oszcillátor fázisa időben a  $\phi_i(t) = t \bmod(\phi_i^c)$  törvény szerint változik. Itt az  $x \bmod(y)$  jelölés az  $x$ -nek az  $y$ -nal való osztási maradékát jelenti. Az oszcillátorok fázisa tehát időben egyenletesen nő, amíg el nem éri a  $\phi_i^c$  értéket, amikor lenullázódik és az oszcillátor tüzel (egy pulzust bocsát ki). A  $\phi_i$  változóval egyidőben az  $E_i$  is állandóan változik a (3) egyenlet szerint. A csatolatlan oszcillátorok dinamikája tehát egyszerű periodikus tüzelésekből áll. A globális csatolás a kibocsátott pulzusokon keresztül valósul meg: egy oszcillátor tüzelése a többi oszcillátor  $E_i$  állapotváltozóját egy  $\delta$  értékkel megnöveli. Ezáltal a többi oszcillátor fázisa is a (3) egyenletnek megfelelően nő (3. ábra). Azonnal belátható, hogy egyetlen egy tüzelés lavinaszerű folyamatot eredményezhet, amelyben nagyon sok más oszcillátor tüzelni fog. Egy lényeges törvény, amit a dinamikában még bevezetnek, az úgynevezett refrakter állapot jelenléte: amikor egy oszcillátor tüzelt, fázisa lenullázódik, és az oszcillátor refrakter állapotba kerül (fázisa nulla marad amíg a tüzelési lavina megszűnik). Ezáltal egy oszcillátor csak egyszer tüzelhet egy lavinán belül. Belátható és matematikailag bizonyítható, hogy a rendszerben bizonyos fokú szinkronizáció léphet fel, amelyben az oszcillátorok együtt tüzelnek. A szinkronizáció fokára egy jól értelmezett rendparaméter a legnagyobb tüzelési lavina relatív mérete (a legnagyobb lavinában tüzelő oszcillátorok száma elosztva a rendszerben levő oszcillá-

torok számával). A kölcsönhatás erősségét a  $\delta$  paraméter jellemzi. A fent leírt pulzuscsatolt rendszer viselkedése hasonlít a Kuramoto-modell által leírta. Létezik egy  $\delta_c$  kritikus csatolás, amely alatt a rendszer nem szinkronizálódik, és amely felett részleges szinkronizáció alakul ki. A kritikus csatolás értéke az oszcillátorok  $\phi_i^c$  periódusainak szórásától függ. Minél inkább különbözik az oszcillátorok frekvenciája, annál nagyobb  $\delta_c$  értéke. A  $q$  rendparaméter a  $\delta$  csatolási paraméter függvényében a 2. ábrán rajzolt görbéhez hasonlóan viselkedik.

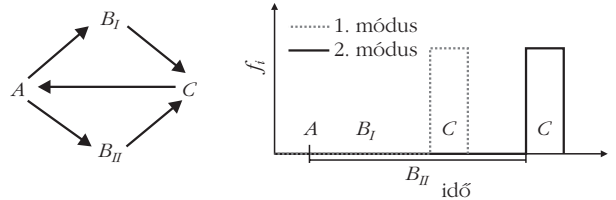
## Többmódusú pulzuscsatolt oszcillátorok meglepő szinkronizációja

Tekintsünk most olyan tüzelő jellegű oszcillátorokat, amelyek több módban is működhetnek [5, 6]. Vizsgáljuk először azt az egyszerű esetet, mikor ezen módusok a pulzus kibocsátás periódusában különböznek egymástól. Legyenek ugyanakkor az oszcillátorok valószerűbbek azáltal, hogy az oszcilláció periódusa ingadozhat (fluktuálhat).

Egy egyszerű absztrakt modell ezen oszcillátorokra a következő lehet. Egy oszcillátor periódusa három, egymást követő ciklusból áll:  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A \rightarrow \dots$ . A periódus első ciklusát (részét) jelöljük  $A$ -val, és legyen ez a dinamikának a véletlenszerű (stochasztikus) része, amelyből a periódusingadozás származik. Ez az  $A$  rész tekinthető úgy is, mint egy stochasztikus reakcióidő. Jelöljük az  $A$  ciklus időtartamát  $\tau_A$ -val, ami egy stochasztikus (véletlenszerű) változó lesz. A dinamika  $B$  ciklusa legyen a periódus leghosszabb időtartama:  $\tau_B$ , és legyen ez az az időhossz, amit az oszcillátor periódusként követni szeretne. Az oszcillátor módusai abból származnak, hogy  $\tau_B$  hossza különböző lehet. A legegyszerűbb esetben a  $B$  ciklus hossza csak kétféle lehet:  $\tau_{B_I}$  vagy  $\tau_{B_{II}}$ . Az egyszerűség kedvéért tételezzük fel, hogy  $\tau_{B_{II}} = 2 \cdot \tau_{B_I}$ , vagyis létezik egy lassúbb módus, ( $B = B_{II}$ ), és egy gyorsabb módus, ( $B = B_I$ ). Amikor az oszcillátor dinamikája a  $B$  részéhez ér, az oszcillátor dönthet, hogy melyik módust választja. A periódus utolsó,  $C$  ciklusában történik a tüzelés. A tüzelés hossza legyen  $\tau_C$ , erőssége pedig  $1/N$ , ahol  $N$  a rendszerben levő oszcillátorok száma. Az  $i$ -edik oszcillátor pulzus kibocsátása tehát  $f_i = 1/N$ , ha az oszcillátor a  $C$  ciklusban van, és  $f_i = 0$ , ha az oszcillátor az  $A$  vagy  $B$  ciklusban van. A rendszerben levő össz-pulzuserősség

$$f = \sum_{i=1}^N f_i.$$

A fentebb értelmezett absztrakt oszcillátorok nagyon általánosak, és a természetben nagyon sok olyan rendszer van, amelynek dinamikája hasonló. Egy azonnali példa erre az emberi tapsolás [7]. A tapsolás egy ciklikus művelet, amelynek periódusa időben fluktuál, létezik egy gyors és egy lassú tapsolási mód, és egy teljes ciklus hangkibocsátással végződik.



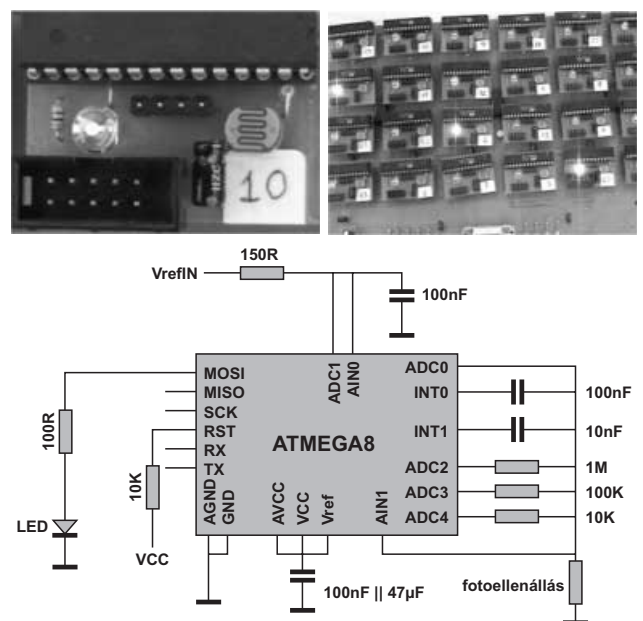
4. ábra. Kétmódusú tüzelő oszcillátorok dinamikája.

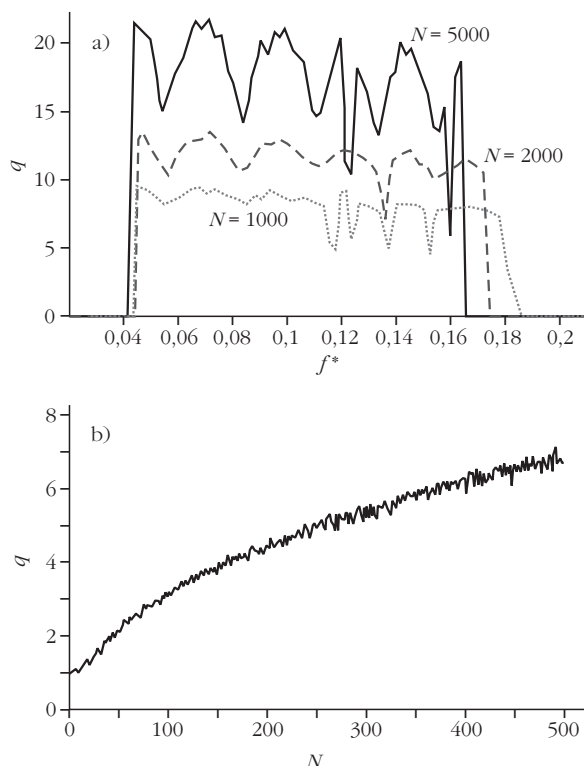
Többmódusú stochasztikus oszcillátorral modellezhető még egyes tücsökfajok ciripelése, ahol a ciripelési frekvenciák a környezet hőmérsékletével változnak; a neuronok dinamikája, ahol két jól elkülöníthető oszcillációs mód létezik; és a *Gonyaulax polyhedra* egysejtű alga többfajta biolumineszcenciája.

Az eddig értelmezett többmódusú stochasztikus és tüzelő oszcillátorok dinamikája egyszerű, de még nem értelmeztük a köztük levő kapcsolást. Tételezzük fel, hogy ezen többmódusú oszcillátorsokaság célja az, hogy az  $f$  pillanatnyi összpulzus erősségét a rendszerben egy megszabott  $f^*$  érték körül tartsa. A rendszer tehát egyszerűen arra törekszik, hogy a tüzeléseket úgy optimalizálja, hogy  $f \approx f^*$ . Az egyedek egyetlen szabadsági foka az, hogy a módusok között szabadon választhatnak. Egy egyed, miután befejezte az  $A$  ciklust, választhat, hogy a  $B_I$  vagy a  $B_{II}$  módust követi (4. ábra). Ha ebben a pillanatban  $f < f^*$ , az oszcillátor a rövidebb periódusú,  $B_I$  módust követi, növelve ezáltal az egységnyi idő alatti pulzusok számát, és ezáltal  $f$  értékét. Ha azonban  $f > f^*$ , az oszcillátor a hosszabb periódusú,  $B_{II}$  módust választja, csökkentve az egységnyi idő alatti pulzusok számát, és ezáltal  $f$  értékét. A fenti dinamikának tehát egy optimalizációs célja van: a rendszerben levő összpulzus erősségét  $f^*$  környezetében tartani.

Ami azonban ebben a rendszerben történik, az sokkal több, mint egy egyszerű optimalizáció! Ha  $f^*$

5. ábra. Kétmódusú tüzelő oszcillátorok elektronikus megvalósítása.





6. ábra. (a) Fázisátalakulás-szerű szinkronizáció a kétmódusú oszcillátor sokaságban. (b) A szinkronizáció mértékének változása a rendszerben levő oszcillátorok számának függvényében.

értéke nagyon nagy, minden oszcillátor a  $B_I$  módot választja, az oszcillátorok össze-vissza villognak, és szinkronizáció nem jelenik meg. Ha  $f^*$  értéke nagyon kicsi, minden oszcillátor a  $B_{II}$  módot választja, az oszcillátorok megint össze-vissza villognak, és szinkronizáció újból nem jelenik meg. A meglepetés az, hogy egy aránylag tág  $f^*$  intervallumon az oszcillátorok elkezdenek a két módus között váltogatni, és ilyenkor az oszcillátorok tüzelése részlegesen szinkronizálódik, annak ellenére, hogy semmilyen fáziskülönbség-csökkentő kölcsönhatás nincs az egyedek között, és hogy az oszcillátorok sajátperiódusai különbözőek és időben fluktuálhatnak.

A rendszer viselkedése a legegyszerűbben számítógépes szimulációkkal tanulmányozható. Készíthetők azonban „elektronikus bogarak” (5. ábra), amelyek egy LED segítségével fényimpulzus kibocsátására képesek és egy fotoellenálláson keresztül a rendszerben levő fényerősséget detektálják. A „bogarok” döntéshozatalra (móduskiválasztásra) képes agya egy kis mikrokontroller. Egy ilyen elektronikus bogárrendszert egy közös lapról vezérelve és dobozba zárva, a nem várt kollektív viselkedés kísérletileg is tanulmányozható (a [8] honlapon egy ilyen kísérletről készült film is látható).

A rendszer szinkronizációs fokát egy  $q = p/p_1$  rendparaméterrel jellemezzük, ahol  $p$  egy olyan mennyiség, ami a rendszer  $f(t)$  jelének a periodicitását jellemzi,  $p_1$  meg egyetlenegy egyed jelének periodicitását jellemzi a hosszú periódusú  $B_{II}$  módban. A rendszer periodicitása alatt itt azt értjük, hogy

mennyire jól közelíthető az  $f(t)$  függvény egy tetszőleges periodikus függvénnyel ( $p$  értékének egzakt értelmezéséhez lásd a [6] cikket). A választott rendparaméter annyiban különbözik az előző esetekben tekintett rendparaméterektől, hogy egynél nagyobb szám is lehet. Számítógép-szimulációs eredmények a  $q$  rendparaméter átlagos értékére a 6.a és 6.b ábrán láthatók. A 6.a ábrán az átlagos rendparamétert ábrázoljuk az  $f^*$  függvényében, különböző  $N$  számú oszcillátorból álló rendszerekre. A 6.b ábrán rögzített  $f^*$  esetén  $q$  értékét ábrázoljuk a rendszerben levő oszcillátorok számának függvényében. A 6.a ábrán látható, hogy létezik egy olyan  $f^*$  intervallum, amelyen az oszcillátorrendszer egy erősen periodikus összelet ad, vagyis az oszcillátorok pulzusai szinkronizálódnak. A szinkronizáció megjelenése és eltűnése hirtelen történik, a Kuramoto-rendszerben megismert fázisátalakulásra emlékeztet. Érdeemes felfigyelni arra a tényre, hogy ezen szinkronizált állapotban  $q > 1$ , ami azt sejteti, hogy a rendszer sokkal inkább periodikus, mint az egyedek külön-külön! A 6.b ábrán az is jól látható, hogy az oszcillátorok számának a növelésével a rendszer periodicitása monotonon növekszik. A meglepetést okozó szinkronizáció mellett ez egy újabb érdekes eredmény, ami azt sugallja, hogy a periódusukban ingadozó oszcillátoroknak egy ilyenszerű kapcsolásával pontos és jó periodicitású oszcillátor készíthető.

A kétmódusú oszcillátorrendszerre itt bemutatott eredmények nagyon általános körülmények között megmaradnak: ha többmódusú oszcillátorokat tekintünk, ha az oszcillátorokat rácsra rakjuk és minden oszcillátor csak a szomszédjait látja, ha  $f^*$  értéke gyengén különböző oszcillátoronként stb.

## Következtetések

A szinkronizáció nagyon általános kollektív jelenség, amely sok természeti és társadalmi rendszerben megjelenik. Itt „ízelítőként” bemutattunk néhány érdekes és meglepő eredményt valószínűleg oszcillátor-sokaságok esetére. Azon jelenségekre és modellekre fókuszáltunk, ahol sok oszcillátor kölcsönhatása során nemtriviális szinkronizáció alakult ki. A tárgyalt modellek hasznosak lehetnek biológiai és társadalmi jelenségek megértéséhez és ezek modellezésére.

## Irodalom

1. S. Strogatz: *SYNC. The Emerging Science of spontaneous order.* Hyperion, 2003.
2. Y. Kuramoto, I. Nishikawa, *J. Stat. Phys.* 49(1987) 569.
3. A.T. Winfree, *J. Theor. Biol.* 16(1967) 15.
4. R. Mirollo, S. Strogatz: *SIAM. J. Appl. Math.* 50(1990) 1645.
5. A. Nikitin, Z. Neda, T. Vicsek, *Phys. Rev. Lett.* 88(2002) 590.
6. R. Sumi, Z. Neda, A. Tunyazgi, Cs. Szász, *Phys. Rev. E* 79(2009) 056205.
7. Z. Neda, E. Ravasz, Y. Brechet, T. Vicsek, A.L. Barabási, *Nature* 403(2000) 849.
8. Nemtriviális szinkronizáció <http://www.phys.ubbcluj.ro/~zneda/sync>



# KINEMATIKA A KARTEZIÁNUS FIZIKÁBAN

## Az elmozdulás, az idő és a sebesség értelmezése

Kistütti Gyula, BME Filozófia és Tudománytörténeti Tanszék

Írásomban a mechanikus filozófia<sup>1</sup> mozgással kapcsolatos fogalmait, változóit és egyenleteit szeretném megvizsgálni. *Descartes* a mozgással kapcsolatos elméletét kidolgozta ugyan, de talán nem egyértelműen fogalmazta meg, vagy ami még valószínűbb, a newtoni mechanika térhódítása miatti szemléletváltás, az alapvető ontológiai entitások megváltozása, értelmetlenné, félreérthetővé tették. Úgy vélem, a newtoni paradigmában értelmezett sebesség, idő, út, lendület fogalma alkalmatlan a karteziánus fizika értelmezésére, ezért célom, hogy a *Filozófia alapelvei* [7] vonatkozó pontjait elemezve ezeknek a látszólag triviális, de valójában erősen a klasszikus mechanika által befolyásolt fogalmaknak egy új értelmezését adjam, oly módon, hogy felhasználásukkal a karteziánus fizika konzisztens elméletként legyen interpretálható.

Így nem használom fel kritikátlanul a newtoni eredetű meghatározásokat, hanem olyan definíciók megadására törekszem, amelyek illeszkednek a descartes-i szövegekhez, ugyanakkor egymással is összefüggő, egységes elméletet alkotnak, olyat, amely Descartes szemében alkalmasnak tűnhetett a jelenségek magyarázatára.

A tudományos tudás történetének mai felfogása révén előtérbe került az elfeledett, elbukott, meghaladott tudományos elméletek vizsgálata, belső összefüggéseik megértése. Ebből a szempontból Descartes munkássága mindenképpen kiemelt figyelemre tarthat számot. Kora egyik legnagyobb hatású természettudósa volt, még akkor is, ha a későbbiekben háttérbe szorult, és elmélete jelentős részét elvetették. De mint *Kvasz László* [2] kimutatta, fizikája jelentős hatást gyakorolt a newtoni tudományra, és a modern tudományos eljárás módszertanát az ő munkássága alapozta meg. Ezért is érdekes, hogy természettudományára szinte sehol sem találunk hivatkozásokat. *Kuhn* alapján azt mondhatjuk, hogy mint vesztes paradigmát, teljesen törölték a tudományos szakirodalomból.

### Kritikák összefoglalása

A karteziánus fizikával szemben napjainkig számos kritikát fogalmaztak meg. A következőkben szeretném összefoglalni a legfontosabbakat azok közül, amelyek érintik a sebesség fogalmát.

<sup>1</sup> A „mechanikus filozófia” kifejezés állítólag R. Boyle-tól származik. A tudományos magyarázat 16–17. században kialakult irányzata, amely a korábban uralkodó arisztotelészi filozófiával ellentétben a világ jelenségeit kicsiny (láthatatlan) részecskék mozgására próbálta visszavezetni. Az Univerzumot mint gépezetet képzelte el, ami felépítésének és szabályainak megfelelően működik (lásd az órametaforát). Egyes gondolkodók, mint például Descartes is, az élőlényeket, illetve az emberi testet is mint gépezetet képelték el. Bővebben lásd Boros Gábor munkáját [1].

### 1. kritika

A descartes-i fizikát tárgyaló írások egy részében a sebesség fogalmát nem elemzik, és feltétel nélkül elfogadják napjaink hétköznapi, vagy a newtoni fizika szerinti értelmezését [3], vagy vizsgálják ugyan, de átlage sebességről, vagy nagyon rövid idő alatti (pillanatnyi) sebességről beszélnek [4]. Senki sem elemzi, hogy mit is jelent a sebességet meghatározó két tényező, az elmozdulás és az idő. Ez utóbbi Descartesnál csupán a dolgok szemléletmódja, míg az előbbi jelentése kiterjedt testek esetén nem tisztázott. Jóllehet emiatt a sebesség fogalma nem tekinthető egyértelműen meghatározottnak, minden további elemzés nélkül fogalmaznak meg kritikát a descartes-i fizika inkonzisztenciáját illetően [5].

### 2. kritika

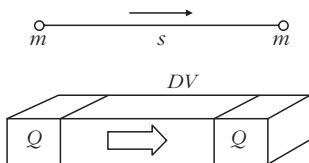
Descartes nem fejtette ki teljes körűen a mozgás-mennyiséget befolyásoló tényezőket, mert bár említi a felületet és a környezetet (közegellenállást) is, a mozgástörvényekben a későbbiekben már csak a sebességet és a kiterjedést veszi figyelembe [6]. Így a karteziánus fizika kidolgozatlan, sőt zavaros.

### 3. kritika

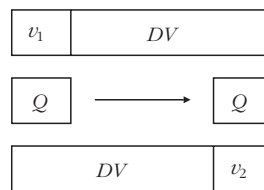
Descartes matematikai (mennyiségi) fizikáról beszél, de valójában minőségit csinál, nincsenek konkrét mennyiségi viszonyok. Miközben deklarált célja a fizika matematizálása, valójában nincs egyetlen olyan tétele sem, amelyikben kvantitatív változók szerepelnének. Ezért fizikája inkább az arisztotelészi fizika csúcspontja, mint a modern természettudomány kezdete.

## Az elmozdulás

Ahogy napjaink hétköznapi gondolkodása a klasszikus fizika tér-idő felfogására épül, úgy határozták meg a skolasztikus fogalmak és szemléletmód a 17. század fizikai gondolkodását. S ahogy nekünk kényszeríteni kell magunkat, hogy egy másik fogalomrendszerbe tudjunk helyezkedni, úgy kellett a kor gondolkodóinak erőfeszítéseket tenniük, hogy új szemléletmódot vezethessenek be. Ezeknek a szemléletmódoknak némelyike lehet, hogy szákutcának bizonyult, vagy már a kidolgozásakor hibás volt, de volt olyan is, amelyik pusztán *feledésbe merült*. Így könnyen lehet, hogy később hibásnak, hiányosnak bélyegezték, pusztán azért, mert nem értették meg. Ezért nem értelmezhetjük a karteziánus kinematikát a klasszikus felfogásban, hanem rekonstruálni kell az elmozdulás, az idő és a sebesség descartes-i felfogását.



1. ábra. Pontszerű test egydimenziós, és kiterjedt test háromdimenziós pályája.



2. ábra.  $Q$  kiterjedésű test mozgása a térben.

Ha a testeket<sup>2</sup> egy adott vonatkoztatási rendszerben vizsgáljuk, és megállapítjuk, hogy közülük némelyik mozog, akkor meg kell tudni határozni az elmozdulásukat. Mindenekelőtt azonban tisztázni kell a lehetséges mozgás jellegét. Descartes elutasította az okkult entitások, így a távolhatás (erő) feltételezését. Hatást a testek kizárólag közvetlen érintkezés révén képesek egymásra kifejteni, gyakorlatilag ütközések révén. Az *a priori* kifejtett első természeti törvény kimondja, hogy a magára hagyott test mozgását egyenletesen, míg a második, hogy egyenes vonalban folytatja [7] mindaddig, amíg valamely más testtel ütközve sebességének nagysága vagy iránya megváltozik. A gyorsító erő létének elutasítása miatt a karteziánus fizikában nem értelmezhető a gyorsulás sem, legfeljebb a sebesség ütközések sorozata által kiváltott, diszkrét ugrásokkal való változásáról beszélhetünk. A továbbiakban tehát kizárólag egyenes vonalú, egyenletes mozgásról lesz szó.

A két tetszőleges állapot közt megtett út meghatározása során problémát okoz, hogy miként lehet egy test mozgását leírni. Ez lehetséges egy vonallal, mint pályával, egy pont, vagy pontszerű test esetén (mint amilyen a newtoni tömegpont), de semmiképpen sem a descartes-i fizika által feltételezett kiterjedt testek esetében. Ezek a testek nem egy vonalszerű utat járnak be, hanem, mivel van a mozgásra merőleges felületük, sokkal inkább egy tértartományt. Akkor járunk el helyesen, ha a megtett út helyére a bejárt térrészt képzeljük, mert így megkapjuk a descartes-i értelemben vett elmozdulást (1. ábra). Descartes a következőket mondja: „A filozófusok több mozgást is feltételeznek. ... Én viszont csak egyet ismerek, azt, amely könnyebben ismerhető meg, mint a geometriai vonalai: mely oka annak, hogy a testek az egyik helyről a másikra haladnak, és egymás után foglalják el az összes teret a kettő között.” [8]

Adjuk meg a karteziánus fizikai mennyiségeket és a köztük fennálló viszonyt úgy, hogy a definíciók illeszkedjenek a descartes-i szöveghelyekhez. Mindenekelőtt különítsük el a test  $Q$  kiterjedését az általa elfoglalt tér  $V$  kiterjedésétől. Legyen az elfoglalt tér a mozgás kezdetén  $V_1$ , a végén  $V_2$ , a mozgás során a test által bejárt térrészt jelölje  $DV$  (2. ábra).

$$Q = V_1 = V_2,$$

$$V_1 + DV = DV + V_2.$$

Nyugvó test esetén  $V_1 \equiv V_2$ , mivel  $DV = 0$ .

<sup>2</sup> A cikkben nem foglalkozom a karteziánus fizikában a jelenségekért felelős apró testek tulajdonságaival, de meg kell említeni, hogy változatos alakúak és méretűek (ami alapján 3 alapvető csoportba sorolhatók), tökéletesen merevek és azonos, homogén anyagból állnak.

A  $Q$  és a  $DV$  jellege közti különbség, hogy  $DV$  a térhez, míg  $Q$  a testhez tartozik, de mindkettő kiterjedés, azaz hossz, szélesség és mélység által meghatározott. Legyen  $s$  a test egyenes vonalú elmozdulása a mozgás irányában, és  $A$  a kiterjedt testnek a mozgás irányára merőleges síkra eső vetülete (3. ábra). Ekkor

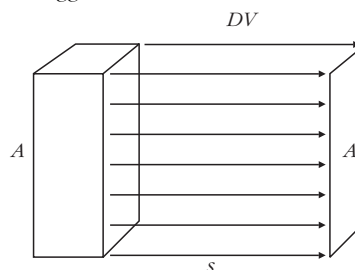
$$DV = As.$$

Látható, hogy egy test, kiterjedése változatlansága esetén, bármely irányba azonos nagyságú tértartományt járhat be úgy, hogy az adott irányú elmozdulás nagysága (a newtoni értelemben vett út) eltérő, mert függ az elmozdulásra merőleges felülettől. Tehát Descartes megalapozottan állította, hogy a felületnek is van szerepe a mozgásban, de nem a súrlódás és ellenállás szempontjából, ahogy kritikusai gondolják.

## Az idő és a sebesség karteziánus felfogása

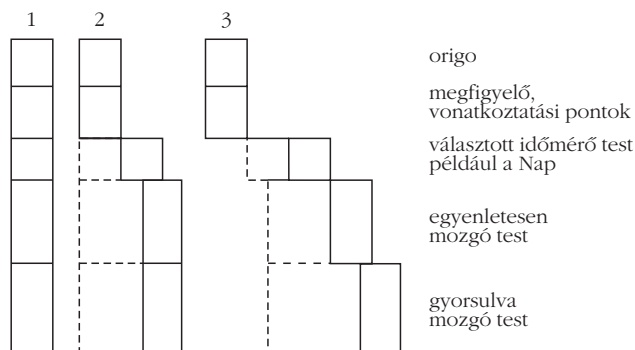
Az idő értelmezése a *Filozófia alapelvei*ben nem teljesen egyértelmű. Descartes nem sok szót veszteget rá, csupán az I. részben említi. Az állítja, hogy a „tartam”-ot a priori ismerjük meg. A tartam „az a módusz, avagy módozat, ahogyan ezt a dolgot mint folyamatosan létezőt tekintjük” [9]. A tartam ideája világosan elkülönül a szubsztancia ideájától. Ugyanakkor a következő pontban azt is kijelenti, hogy a módusz valójában attributum. Így a teremtett dolgok esetén „... azt, ami mindig ugyanazon a módon van meg bennük, mint ahogyan a létezés és a tartam abban a dologban, amelyik létezik és tart, attributumnak, ... fogom nevezni” [10]. Így a dolog időbelisége a létezéséből, illetve létezése és önmaga folytonosságából következik. Ezért a dolog időbelisége, „tartama” benne van a dologban (testben). Az isteni örökkévalóság és a dolgok létideje azonban az ember számára érzékelhetetlen, ezért a tudományos megismerés során ez az „abszolút idő” nem használható. Descartes szerint nem tévesztendő össze azzal az idővel, „... amelyet megkü-

3. ábra. A bejárt tértartomány, a felület és az (adott irányba való) elmozdulás összefüggése.



lönböztetünk az általánosságban vett időtartamtól, és a mozgás mértékének mondunk, (mert ez) csak egy bizonyos módozat, ahogyan ezt a tartamot elgondoljuk” [11]. Ebben az értelemben az idő a gondolkodás módozata, ahogy az elme a világot szemléli. Amíg a „létezés ideje” valamennyi dologban azonos, addig a gondolkodás módozataként tekintett idő eltérő és korlátozott hatókörű lehet [12]. Hogy a szemlélet számára összehasonlítható legyen, bizonyos speciálisan mozgó testeket jelölünk ki az idő mérésére. „Am hogy azonos mérték szerint foghassuk fel valamennyi dolog<sup>3</sup> időtartamát, rendszerint egyes szabályos mozgások időtartamát használjuk, mint amilyen a nap és az év, s ezt hívjuk, miután az időtartamot ily módon összehasonlítottuk, időnek.” [13]<sup>4</sup>

Tehát az idő, mint a dolgok létezési ideje egységes és létezik. De ez az idő az ember számára érzékelhetetlen, a világ megismerése során csak a dolgokat, ezek mozgását, változását látja, és ez alapján értelmezi, fogja fel az időt. A mechanikus filozófia ugyanis mind a jelenségek magyarázatát, mind az érzékelést láthatatlan, kicsiny részecskék mozgására vezeti vissza. Mivel az időt nem a priori fogjuk fel, csak tapasztalatainkra, érzékeinkre támaszkodhatunk.<sup>5</sup> Ezek a tapasztalatok azonban, és maga az érzékelés is, miként a világ összes jelensége, szintén



4. ábra. Az idő mérése adott vonatkoztatási rendszerben mozgó testekkel.

a részecskék mozgására, így végső soron a kiterjedésre vezethetők vissza.

Descartes, miként *Arisztotelész* is, úgy vélte, hogy vákuum nem létezhet, mert logikai ellentmondáshoz vezetne [16]. (Szemben például az atomistákkal és *Newtonnal*.) A mozgó test a vákuummentesen kitöltött térben az egyik helyről a másikra folytonosan halad, úgy, hogy a test két állapotában elfoglalt helye közti tér egészét bejárja. Mind a test által elfoglalt, mind a bejárt térrész kiterjedés, azaz végtelenül osztható, így tetszőlegesen kicsiny elmozdulás, ezáltal tetszőlegesen kicsiny időpillanat is értelmezhető. Ahogy a mozgás, úgy az idő is folytonos. Az idő mérése úgy történik, hogy a tetszőlegesen kiválasztott, de *szabályos* (ismétlődő, azonos) mozgást végző időmérő test pályáján bizonyos meghatározott helyeket jelölünk ki (pl. inga végpontjai)<sup>6</sup> egy adott vonatkoztatási rendszerben, és más testek mozgását ahhoz

<sup>3</sup> A véges emberi elme számára felfogható „valamennyi” dolog.

<sup>4</sup> Spinoza a *Filozófia alapelvei*hez írt magyarázatában világosabban fogalmaz: „Hier sage ich nur, dass sie (die Ewigkeit) das Attribut ist, unter dem ich das unendliche Dasein Gottes begreife, dagegen ist die Dauer das Attribut, unter dem ich das Dasein der erschaffenen Dinge, so wie sie in der Wirklichkeit beharren, begreife. Daraus folgt klar, dass die Dauer von dem ganzen Dasein eines Dinges nur dem Gesichtspunkt des Denkens nach unterschieden wird, da man das, was man der Dauer eines Dinges abzieht, auch seinem Dasein abziehen muss. Um dies zu bestimmen, vergleicht man es mit der Dauer der Dinge, die eine feste und bestimmte Bewegung haben, und nennt diese Vergleichung die Zeit. Daher ist die Zeit keine Bestimmung der Dinge, sondern nur eine Art, sie zu denken, ...” [14] („Itt csak azt állítom, hogy az örökkévalóság csupán egy attribútum, amivel Isten végtelen létét megragadom, ellentétben a tartammal, ami az az attribútum, amivel a teremtet dolgok létét ragadom meg, úgy, ahogy a valóságban fennállnak. Ebből világos, hogy egy dolog egész létének tartama csak a gondolkodás nézőpontjából különböztethető meg, mivel amit bárki egy dolog tartamának tekint, azt saját létére kell vonatkoztatnia. Ezt meghatározandó, olyan dolgok tartamához hasonlítja, amelyeknek rögzített, meghatározott mozgásuk van, és ezt az összevetést nevezi időnek. Így az idő nem a dolog meghatározója, hanem csupán a gondolkodás egy módozata.” Fordítás tőlem.) További érvelés található a lét és a jelenlét megkülönböztetéséről ugyanitt, a 128–130. oldalon.

<sup>5</sup> Descartes-nál a fizikai világot két irányból ismerjük meg. Az alapelveket, az „első okokat”, amelyek a világ legáltalánosabb tulajdonságait fejezik ki, a priori kell elsajátítani. Ezen a priori természeti törvények érvényességét az igazítja, hogy Isten létét csupán a priori módon, mindenféle tapasztalat nélkül képesek vagyunk igazolni. A valóság és a róla szerzett tapasztalatunk lehet bármilyen, ezen törvények igazsága a „cogito” bizonyosságában van. Azt, hogy a világ – aminek létére és milyenségére az ideáink alapján következtetünk – valóban létezik, és olyan, mint véljük, azt bizonyítja, hogy ideáinkat valamiképp passzívnak, külső tárgyak által keltetteket tapasztaljuk, és Isten létéből eredően garanciánk van arra, hogy amit tisztán és világosan igaznak érzékelünk, az valóban igaz. Ha tehát képesek vagyunk belátni, hogy létezik a tárgyknak és a mozgásnak egy világa, akkor jogosan hisszük, hogy ez az a priori természettörvények által irányított fizikai világ.

Folytatás →

De Descartes is látta, hogy az a priori fizika nem képes teljes körűen leírni a világot. Az önevidens elvekből dedukcióval levezetve csak a világ legáltalánosabb szabályai állapíthatók meg, mint például, hogy a három fizikai törvényből levezethetők a testek ütközésének törvényei. Ezzel szemben a *Filozófia alapelvei*ben Descartes felsorol néhányat azon számos jelenség közül, amelyek csak empirikus kutatással tárhatók fel. A legfontosabb ezek közül az anyag részecskéinek mérete, amekkora darabokra az anyagot Isten a világ teremtetésekor felosztotta. A továbblépés az empirikus hipotézisek rendszerével lehetséges. A hipotézisek a descartes-i terminológiában a fizikai kutatás empirikus részéhez tartozó magyarázó tételek. Ha a hipotézisből levont következtetést megegyezik a tapasztalattal, különösen a döntő kísérletből nyert adatokkal, akkor minden okunk megvan, hogy a hipotézist igaznak véljük. Tehát a hipotetikus-deduktív módszer a descartes-i fizika empirikus oldalához tartozik. Nem érinti az alapvető természeti törvényeket, és ha hamisnak bizonyul, nem is érvényteleníti azokat. Az empirikus hipotéziseket pedig vagy a priori demonstrációra vezetjük vissza, vagy a módszertani elveknek megfelelően az összes lehetséges, alternatív hipotézist feltárjuk, és döntő kísérletekkel a számukat a legkisebbre, lehetőleg egyre csökkentjük.

A hipotetikus-deduktív módszer segítségével lehetővé válik a meglévő elméletek és a hipotézisek igazolása, illetve az a priori és a tapasztalati tudáselemek egységes rendszerbe foglalása. Mindehhez kell, hogy az empirikus kutatás megkezdése előtt az a priori terület a lehető legalaposabban kifejtésre kerüljön, mivel a kapott a priori törvényeket a későbbiekben minden szóba jöhető hipotetikus rendszernek teljes egészében tartalmaznia kell. Ezek, és a megismerés alapelvei bizonyos kötöttségeket tartalmaznak a magyarázat elfogadható módjára, a legfontosabb problémákra, és a megoldásokra vonatkozóan. (Bővebben lásd C. Larmore cikkében [14].)

<sup>6</sup> Az inga mozgása nem *egyenletes*, hanem *szabályosan ismétlődő*, azonos elmozdulással.

viszonyítjuk, hogy az időmérő test a meghatározott pálya mekkora hányadát járta be a vizsgált mozgás során. Így az idő mérése a kiterjedés mérésére, illetve kiterjedések arányára vezethető vissza (4. ábra).

Fel kell ismerni, hogy az idő emberi érzékelése szorosan kapcsolódik a mozgáshoz.<sup>7</sup> Ha nincs érzékelhető mozgás, akkor az idő sem mérhető, illetve ismerhető fel az ember számára. Ez egyaránt igaz akkor, ha valóban nincs mozgás, de akkor is, ha a megfigyelőhöz kötött vonatkoztatási rendszer együtt mozog a megfigyelt testekkel, így azok „látszólag” nyugalomban vannak.

## A sebesség

A sebességet a karteziánus fizikában is az elmozdulás és az „ehhez szükséges idő” hányadosaként értelmezhetjük. Az eltérés a sebesség mai felfogásához képest abban áll, hogy a test elmozdulását nem az út, hanem a mozgás során *bejárt tér nagysága* jellemzi. A bejárt térrész, mint kiterjedés, skalár mennyiség (gyakorlatilag egy hasáb térfogata). Az idő, mint a „mozgás tartama” dimenzió nélküli mennyiségként értelmezhető, azt mutatja, hogy az időmérő test által bejárt térrész hogy aránylik ahhoz a térrészhez, amit ez a test egy periódus alatt jár be. A kettő hányadosa, azaz a sebesség is skalár érték lesz.

Jelölje  $c$  (mint celeritas) a sebességet a karteziánus fizikában. A következő egyenleteket írhatjuk fel:<sup>8</sup>

$$c = \frac{DV}{dt},$$

ahol

$$dt = \frac{DV_{\text{időmérő}}}{DV_{\text{időmérő 1 periódus}}}.$$

Ebből képezhető egy adott irányra vonatkozóan megadott (vagy adott felületre merőleges) sebesség is (eltérés a newtoni sebességhez képest az idő értelmezésében van):

$$v_A = \frac{c}{A},$$

ahol  $v_A$  az  $A$  felületre merőleges irányban mért sebesség,

$$s_A = \frac{DV}{A},$$

ahol  $s_A$  az  $A$  felületre merőleges irányban mért elmozdulás.

<sup>7</sup> El lehet különíteni az isteni örökkévalóságot, a testek létezési (abszolút) idejét, és az ember számára érzékelhető időt (tartam). A fizikában csak ez utóbbi vizsgálható.

<sup>8</sup> Csak a karteziánus fizika törvényeinek részletes kidolgozása során lenne eldönthető, hogy praktikusabb lenne-e a sebességnek egy, az általam megadottal egyenértékű, de eltérő definíciója. Vonatkozathatnánk például egységnyi kiterjedésű test elmozdulására ( $DV/Q$ ), de akár az időt is tekinthetnénk kiterjedésnek ( $DV_{\text{időmérő}}$ ).

## A sebesség nagyságának és irányának függetlensége

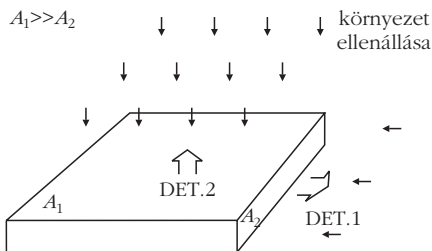
Mi az előnye annak, ha a sebességet nem mint a pillanat alatt megtett utat, hanem mint a pillanat alatt bejárt térrészt határozzuk meg? Egyrészt teljesen összehangba kerülünk a descartes-i szövegekkel, másrészt fel tudunk oldani egy látszólagos ellentmondást a karteziánus fizikában. Ez az alábbi két állítás összeegyeztethetlenségéből ered, amelyek egyike a mozgásmennyiség meghatározását adja [17], a másik a test sebességének és irányának (determináció) függetlenségét mondja ki [18].

A *Filozófia alapelvei* II. rész 43. pontjában Descartes a testek „erejét” vizsgálja, amivel képesek „hatást kifejteni”. Minden testnek van egy „tehetetlenségi ereje”, hogy ellenálljon állapotá és helyzete megváltoztatásának. Ez a változás Descartes szerint lehet egyrészt két test elválasztása és az összekapcsolása (azaz vagy a korábban együtt mozgó testek eltávolodnak, vagy a korábban eltérően mozgó testek együtt fognak mozogni, így egymáshoz viszonyított relatív elhelyezkedésük változik), másrészt nyugvó test mozgásba hozása, vagy mozgó test megállítás (állapot). A mozgásmennyiség azt fejezi ki, hogy mekkora hatás kell egy adott test relatív helyzetének megváltoztatásához. Félreérthető, hogy ezt a mozgásmennyiséget Descartes egyik alkalommal két összetevő, a kiterjedés és a sebesség szorzataként határozza meg [19], máshol azonban e kettőn túlmenően megemlíti még befolyásoló tényezőként a két testet elválasztó felület nagyságát és az ütközések módját is, amiből egyes kritikussai arra következtetnek, hogy szükséges az alakból eredő „súrlódás” figyelembe vétele is, amit Descartes már elmulasztott.<sup>9</sup>

Ugyanakkor Descartes a *Filozófia alapelvei* II. rész 41. pontjában azt állítja, hogy téves felfogás, ha a mozgáshoz hozzákapcsoljuk a test adott mozgásirányba való determinációját, azaz a mozgás irányát a mozgás fogalmához tartozónak gondoljuk. Nála a mozgás mozgásmennyiség, mérhető, a kiterjedésre visszavezethető dolog, független a test determinációjától (skalár mennyiség). Egy mozgó test mozgási irányának változása elkülönül a mozgásmennyiségének változásától. A test tehát minden további nélkül képes irányának megváltoztatására, amint környezete erre kényszeríti, miközben sebessége és mozgásmennyisége nem változik. Ha azonban elképzelünk egy nagy felületű, lapos testet (5. ábra), akkor a hagyományos sebességfelfogás és változatlan kiterjedés esetén a felületre merőlegesen, illetve

<sup>9</sup> „... if  $M$  has a larger surface area than  $N$ , then it will encounter more resistance from the medium in which they move, and to compensate for this  $M$  needs a greater impressed force to maintain the same speed as  $N$ . Since the first kind of resistance to motion is a characteristic of a body apart from the medium in which it moves.” [20] („... ha  $M$  felülete nagyobb, mint  $N$ -é, akkor sokkal nagyobb ellenállást fejt ki rá az a közeg, amiben mozog, és ezt ellensúlyozandó,  $M$ -nek nagyobb hatóerő szükséges, hogy  $N$ -ével azonos sebességgel mozogjon. Ám az ellenálló képesség első fajtája [értsd: a mozgásmennyiség a *Filozófia alapelvei* II. 43. alapján] a test kizárólagos sajátossága, a mozgás közegétől függetlenül.” Fordítás tőlem.)





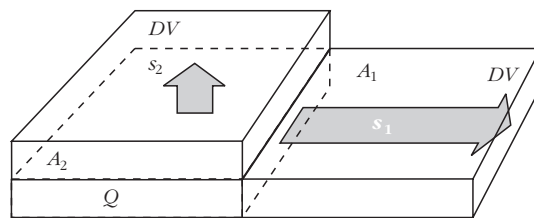
5. ábra. Nagy felületű lapos test mozgása, és a rá ható „ellenállás”.

vele párhuzamosan mozogva, azonos elmozdulás esetén a megmozgatott térfogat, és hétköznapi intuíciónk alapján az ellenállás is, jóval nagyobb lenne, mint az elsőként említett esetben. Ezzel szemben az általam javasolt sebességértelmezést használva a pillanat alatt bejárt térrész (sebesség) állandósága lehetséges az ellenállás megnövekedése nélkül is, mert ekkor a kisebb felülethez nagyobb elmozdulás, míg a nagyobbhoz kisebb elmozdulás tartozik. (Elmozduláson a mozgás irányába eső utat értem.)

## A felület szerepe

Ezáltal érthetővé válik a felület szerepe, anélkül, hogy a Descartes kritikusi által szükségesnek vélt sűrűlő erő létét feltételeznénk. A felület jelentőségét nem az adja, hogy a sebességen és a kiterjedésen túl részt vesz a mozgásmennyiség meghatározásában, hanem az, hogy az általam megadott, illetve a hagyományos értelemben vett sebesség, elmozdulás között is felállítható egy arányosság: „Hasonlóképp, amikor a test nyugalmi állapotban van, akkor van ereje ahhoz, hogy megmaradjon ebben a nyugalomban, és ellenálljon mindennek, ami azt megváltoztathatná. Amikor mozog, akkor ugyanígy van ereje hozzá, hogy ugyanazzal a sebességgel és ugyanabba az irányba mozogjon. Ámde ennek az erőnek a mennyiségéről csak úgy ítélnünk, hogy *beszámítjuk a test nagyságát*, amelyben az erő előfordul, és *a felület nagyságát*, amely ezt a testet egy másiktól elválasztja, de a *mozgás sebességét* is, valamint azokat az ellentétes módokat, ahogyan több különböző test egymással találkozik.” [21]

Mivel más szöveghelyekből egyértelműen az derül ki, hogy a mozgásmennyiség a kiterjedés és a sebesség szorzata, jogos a kérdés, milyen szerepe van a felületnek. Előbb azonban pontosítsuk, mit is értett Descartes felületen. A két testet, szükségképpen a mozgó testet és a mozgás irányába eső szomszédját (szomszédait), elválasztó felület, illetve ennek a mozgás irányára merőleges komponense (ha felbontjuk a Descartes által a *Filozófia alapelvei* II. rész 32. pontjában bemutatott módon merőleges összetevőkre) ugyanis nem más, mint az  $MM = Qc = QAs$  képletben szereplő  $A$  felület. Ha tehát egy adott mozgásmennyiségű test olyan irányba mozdul el, amerre merőlegesen a felülete kisebb, nagyobb utat fog megtenni, azaz nagyobb lesz a newtoni értelemben vett elmozdulása. Így ez az elmozdulás (és a belőle származtatott sebesség) irányfüggő (a test irányra merőleges



6. ábra. A felület szerepe a karteziánus fizikában.

vetületétől függő), míg ezzel ellentétben a test karteziánus értelemben vett elmozdulása és sebessége nem fog megváltozni a determináció változásával, arra invariáns. A testek viszont csak akkor képesek együtt mozogni egy adott irányba, ha az adott irányú elmozdulásuk megegyezik. Ez az elmozdulás az  $MM/QA$  hányados, azaz a test „tehetetlensége” valóban a descartes-i szövegben megadott paraméterektől, többek közt a felülettől is, függ (6. ábra).

Miután így sikerült számot adni a *Filozófia alapelvei* II. rész 43. pontjában felsorolt, a mozgásmennyiséget befolyásoló változók többségéről (a test kiterjedése:  $Q$ , az elválasztó felület nagysága:  $A$ , a mozgás sebessége:  $c$ ), a fennmaradók pedig (a test környezete és az ütközések változatos módjai) a determináció meghatározásában kapnak szerepet, belátható, hogy nem szükséges új, Descartes fizikájában nem szereplő entitások bevezetése.<sup>10</sup>

Nyilvánvaló, hogy tévesek azok a kritikák is, amelyek azt állítják, hogy a descartes-i fizika hét ütközési törvénye kevés a változatos jelenségek leírására. Ha meggondoljuk, hogy az ütköző testek mozgásmennyisége, sebessége, kiterjedése, ütköző felülete egyaránt lehet a domináns test (általában az ütközési törvényekben a  $B$  test) vonatkozásában kisebb, nagyobb vagy egyenlő, akkor máris  $3^4 = 81$  variációs lehetőségünk van, amit tovább fognak bővíteni a determinációt érintő megfontolások.<sup>11</sup>

## Összefoglalás

Bemutattam, hogy a paradigmaváltások során tapasztalható félreértelmezések a rivális paradigmák közt is fennállnak, ami megnehezíti a vesztes paradigma fogalmi struktúrájának utólagos feltárását. A fogalmak értelmének, és a mögöttük húzódó ontológiai feltételek pontos ismeretének hiánya szükségszerűen hamis képet ad a paradigmáról, ezért elengedhetetlen a gondos és alapos feltárásuk.

A descartes-i fizika sem értelmezhető helyesen a mai fogalmakkal. Egy olyan fogalmi keretben, ahol az idő nem alapmennyiség, és a testeket csupán a kiter-

<sup>10</sup> Téves Clarke állítása: „So there is one kind of inertia which depends on the quantity of matter and another which depends on the extension of their surfaces.” [22] („Így létezik az inerciának egy olyan fajtája, ami az anyag mennyiségétől [a kiterjedéstől] függ, és egy másik, ami a felülete nagyságától.” Fordítás tőlem.)

<sup>11</sup> A nem egyenes vonalú ütközések vonatkozásában lásd a *Filozófia alapelvei* II. 32. pontját [7], illetve Spinoza kommentárjait a ferde ütközésekről [23].

jedésük határozza meg, a sebesség megszokott fogalmát sem lehet használni. A test nem modellezhető tömegpontja sebességével, mozgása nem ábrázolható vonallal. Az a priori fizika elmozdulása és sebessége a két egymást követő állapotban elfoglalt hely közti térrésszel (mint bejárt tértartománnyal) határozható meg. A legnagyobb különbség mégis abban áll, hogy a skalár mennyiségként értelmezett sebesség esetén meg kell tudni magyarázni, miként lehet értéke az eltérő irányokban azonos. Ezt csak akkor tudjuk ad hoc hipotézisek nélkül elérni, ha az elmozdulást mint bejárt térrészt értelmezzük.

Bár Descartes maga nem írta le fizikáját matematikai egyenletek formájában, megmutattam, hogy lehetséges a karteziánus fizikában mozgásegyenletek felállítására, és segítségükkel példák megoldása és tételek bizonyítása.

Ugyanakkor számos nyitott kérdés maradt. A forgó, vagy az egyenes vonalú, egyenletesen gyorsuló mozgás leírása, és összhangba hozása Descartes gravitációs elméletével, vagy az összetett testek mozgásának elemzése még megoldásra vár. Éppúgy, ahogy a mozgásmennyiség megmaradás és átadás, illetve a mozgó testek gyűrűjében lejátszódó folyamatok feltárása is. Ha figyelembe vesszük, hogy a newtoni paradigmát kétszáz éven keresztül pontosították, akkor könnyen belátható, hogy egy hosszú folyamat kezdetén vagyunk, hisz a karteziánus fizika normál kutatási szakasza még csak most kezdődött el.

## Irodalom

1. Boros G.: *A mozgástörvényektől Isten értelmi szeretetétig*. Áron Kiadó, Budapest, 2003.
2. Kvasz L.: Newton (anti)kerteziánizmusa. *Kellék* 32 (2007) 83–93.
3. D. M. Clarke: The Impact Rules of Descartes's Physics. In *René Descartes. Critical Assessments*. (szerk. Georges J. D. Moyal) Routledge, London (1991) 110–122.
4. E. Slowik: *Cartesian Spacetime*. Kluwer Academic Publishers, London, 2002.
5. Clarke: op. cit. [3]
6. ugyanott 113–114.
7. R. Descartes: *A filozófia alapelvei*. (ford. Dékány András) Osiris Kiadó, Budapest (1996) II. 37, 39.
8. ugyanott 149. Kiemelés tőlem. Eredeti szöveg: R. Descartes: *Le Monde*. In *Oeuvres de Descartes XI*. (szerk. Charles Adam és Paul Tannery) Vrin, Párizs (1986) 39–40.
9. ugyanott I. 55.
10. ugyanott I. 56.
11. ugyanott I. 57.
12. Szamosi G.: A polifón zene és a klasszikus fizika, a newtoni időfogalom eredete. *Fizikai Szemle* 41/8 (1991) 266–268. Eredeti cikk: *History of Science* 1990/28 175–191. (ford. Abonyi Iván)
13. Descartes: op. cit. [7] I. 57.
14. B. Spinoza: *Descartes' Prinzipien der Philosophie auf geometrische Weise begründet*. Felix Meiner Verlag, Hamburg (1987) 120–121.
15. C. Larmore: Descartes' Empirical Epistemology. In *Descartes: Philosophy, Mathematics and Physics*. (szerk. S. Gaukroger) The Harvester Press, Sussex (1980) 6–22.
16. Descartes: op. cit. [7] II. 16–19.
17. ugyanott II. 43.
18. ugyanott II. 41.
19. ugyanott II. 43.
20. Clarke: op. cit. [3] 114.
21. Descartes: op. cit. [7] II. 43. (Kiemelés tőlem.)
22. Clarke: op. cit. [3] 115.
23. Spinoza: op. cit. [14] 86–88.

# EÖTVÖS LORÁND ÉS RÉTHY MÓR LEVELEZÉSE

A 85 éves Gábos Zoltán professzor, a tanszéken Réthy Mór utóda tiszteletére

Oláh-Gál Róbert

Babeş-Bolyai Egyetem, Csíkszereda, Románia

Réthy Mórnak úttörő szerepe volt a modern matematikai és elméleti fizikai kutatások Magyarországon való elindításában. Két évvel volt idősebb Kőnig Gyulánál, és matematikai valamint fizikai publikációi nem gyengébbek Kőnig Gyula dolgozatainál. Kőnig Gyulának nagyobb volt a társadalmi befolyása és szerepe, Réthy Mór szerényebb volt. Erdélybe mindenképpen Réthy hozta be a modern matematikát. Továbbá egyértelműen Réthy Mórnak köszönhető, hogy Kolozsvárra került Vályi Gyula, Farkas Gyula és Schlesinger Lajos.

Réthy Mór kimagasló tehetségét Vész Ármin, Hunyadi Jenő, Sztoczek József és Eötvös Loránd egyetértően elismerték, és Eötvös Lorándnak köszönhető, hogy 28 évesen a Kolozsvári Egyetemen az elméleti fizika professzora lett!



Réthy Mór 1846. november 9-én született Nagykőrösön szegény zsidó családban. Eredeti neve Rothbaum volt, amit 1870-ben miniszteri rendelettel Réthire változtatott, de Trefort miniszter Réthy Mór névre adta ki középiskolai tanári kinevezését Körömczbányára. Elemi és gimnáziumi iskoláit Nagykőrösön, egyetemi tanulmányait Bécsben a Politechnikumban és a budai József Műegyetemen végezte. 1872–1874 között Göttingenben és Heidelbergben tanult, majd Heidelbergben doktorált 1874-ben. Hazatérte után Trefort azonnal kinevezte az alig

két éve létrehozott Kolozsvári Tudományegyetemre, az elméleti fizikai tanszékre, felhatalmazva arra, hogy matematikát is taníthat.

Réthy kézirati hagyatéka kutatható az MTA Könyvtár Kézirattárában.

Matematikában legnagyobb érdeme, hogy magyar-ként elsőnek értette meg a Bolyai-geometria korszakalkotó szerepét és elsőként tartott nyilvános előadást a Bolyai-geometriából Magyarországon. Matematikai publikációinak legértékesebb része a Bolyaiak munkásságának magyarázatára vonatkozik.

Elméleti fizikai kutatásai és publikációi sokszínűek és igen eredetiek.

A 66 éves Réthy így foglalja össze tudományos munkásságát 1912. január 18-án.<sup>1</sup>

„Már Körömczbányán hozzáfogtam Bolyai Farkas geometriájának átdolgozásához. E munkám azonban a külföldi utazás miatt abbamaradt és csak Kolozsvárt folytattam e tanulmányt és Bolyai János Appendixére áttérve, azt be is fejeztem.

Második munkámhoz Heidelbergben fogtam hozzá, miután előzőleg Schering ösztönzésére Schwerdt diffractiós tanulmányát átdolgoztam. A kérdés az volt, hogy Gauss egy, a diffractió kimagyarázására szolgáló formulája az intenzitást helyesen határozza-e meg, vagy nem. Tanulmányom eredményét a MTA értekezései közt publikáltam.

Harmadik munkáma az a körülmény vezetett, hogy a diffractió jelenségénél felületdarab-tartományra vonatkozó integrál átalakul a felületdarab határvonalára és az eredményben a felületdarab alakjának semmi nyoma. Az ilyen, kerületre átalakítható felületi integrálokkal foglalkozom e munkámban általánosan.

Negyedik munkámmal »a hőelmélet második főtételével« Kolozsvárt foglalkoztam és az erre vonatkozó eredményt először Szily Kálmánnal levélben közöltem és vele élénk levelezésbe keveredtem, azután a »Műegyetemi Lapokban« közöltem. A lényeges eredmény az, hogy a tétel mechanikai analogonja az erőkre vonatkozó megszorító hypothézis nélkül nem bizonyítható be. Ugyanerre az eredményre jutott velem körülbelül egyidőben Boltzmann, egészen más úton.

Közben sokat foglalkoztam az ideális folyadékok áramlásával, különösen a síkmozgású folyadéksugarakkal. Megoldottam akkoriban a (később Bobilofftól publikált) problémát. 2-3 évvel az után, hogy felfedeztem, közöltem a kolozsvári Múzeum folyóiratában.

Foglalkoztam ismét a diffractió elméletével, különösen Fröhlich polározódási kísérleteinek magyarázatával. Itt megint (úgy mint a hőelmélet II. tételének analogonjánál) a negatívum a legfőbb eredményem: t.i., hogy a tűnemény kimagyarázható, akár azt vesszük, hogy a fényrezgés a polározás síkjában történik, akár azt, hogy rá merőleges síkban. Erre jött rá sokkal később Poincaré is, és igaz ez mai napig, hiába állítja Fröhlich az ellenkezőjét. Nem akarván később e kérdésre visszatérni, ide írom, hogy Fröhlich nagy kísérletsorozatát, amelyben dolgozatokkal kellett volna többet és kevesebbet is foglalkozni, a Wiedemann Annalenben való közleményemben leírt általános módszerrel tárgyaltam volt rögtön Fröhlich akadémiai felolvasása után, és az egészet tisztán leírva vele kö-



Réthy Mór az általa oly szeretett hójai kertjében Kolozsváron.

zöltem is. Fröhlich a dolgot kegyes volt (nevem kihasználásával) felvenni később írt nagy dolgozatába. Azt, hogy a dolgot vele közöltem volt, persze nem említette, de az érdem csűrése-csavarása nem maradt el. – Azóta egyszer voltam nála egy tudományos kérdéssel, miközben e manuscriptumból mutattam neki egy részletet; ekkor Fröhlich átlapozta az egészet és kérdezte: »ez a kézirat volt már egyszer nálam?« – »Persze ez«, volt a válaszom. – Részemről e kérdésről elméleti munkát írni nagy érdemnek tartanám, de csakis Poincaré módszere útján; ez úton azonban nem sikerült megoldanom a problémát.

Visszatérek a kolozsvári időbeli koromra. A diffractió problémájával egyidőben foglalkoztam a fénytöréssel és visszaveréssel. Erre vonatkozó eredményeimet közöltem akadémiai székfoglalóban.

Sok egyébvel is foglalkoztam és sokat tanultam. A tanítás különösen kedves volt nekem. Ekkoriban volt Vályi Gyula is tanítványom; vele sok időt töltöttem, szívesen: Jakobi »Dinamikáját« elejétől végéig és Monge másodrendű partiális differentiál egyenletének elméletét vele együtt olvastam. Ez utóbbi munka ismeretének köszönheti Vályi, hogy tőlem kapott problémája, mely doktori disszertációjának tárgya, megoldható. Nevemet a disszertációban nem említé, mert kértem, hogy ne tegye.

Az Akadémiai Értekezésekben és a Műegyetemi Lapokban sokat foglalkoztam a propellerek problémájával. A Vályi-nak adott problémát éppen e foglalkozásból vettem.

Irodalmi működésemben ezután nagy szünet állott be. Oka feleségem halála és ennek folyományaként a házi gondok voltak; gyermekeim nevelése, a háztartás vezetése és egyetemi előadásaim teljesen felemésztették munkaerőmet. Később a Bolyai Tentamennek kiadása és a vele kapcsolatos munkák vettek igénybe. A »végszerűen egyenlő területekkel« foglalkozó cikkeim természetesen a Tentamenből fakadnak.

Később a folyadéksugarakhoz tértem vissza (1897.) ekkor u.i. előadtam volt egy speciálkollégiumot (id., Szily Kálmánnak a Műegyetemről való távozása után), a hidrodinamikát. Ekkor történt meg velem, hogy König, látván, hogy a tanári szobámban a folyadék

<sup>1</sup> Réthy Oszkár: *Réthy Mór (1846–1925)*. (kézirat) Budapest (1940) 69–72.

sugarakkal foglalkozom, a problémától elrettentett: »Ő foglalkozott a kérdéssel, de még hyperelliptikus integrálokkal se lehet új sugáralakot kapni.« Csodálkozott, amikor nekem új alakok találása már trigonometrikus függvényekkel sikerült.

A Bolyaiak ünnepe, különösen János születésének 100-ik évfordulója visszavezetett az abszolút geometriához. Ekkor vettem észre, hogy az Appendix utolsó mondatába hiba csúszott be. Az Appendix új kiadásának erre vonatkozó megjegyzése tőlem ered.”

báró Eötvös Loránd levele Réthy Mórhoz:<sup>2</sup>

*Pest 1872. sept. 21.*

*Tisztelt tanár úr!*

*E percben jövök Treforttól. Ha a Borbás-féle pénzösszeg, mint ő gondolja, kegyednek kiküldetésre fordítható, úgy örömmel fogja kívánságát teljesíteni. Mindenesetre jó lenne, ha kegyed rövid indoklást tartalmazó folyamodását mennél előbb megírná, s azt általam neki megküldené.*

*Maradok igaz tisztelője*

*b. Eötvös Loránd*

báró Eötvös Loránd levele Réthy Mórhoz:<sup>3</sup>

*Tisztelt tanár úr!*

*Trefort miniszter holnapután csütörtökön déltájában a vallás közoktatásiügyi minisztériumban várja kegyedet. Igaz tiszteletem kifejezésével maradok őszinte híve,*

*b. Eötvös Loránd*

Réthy Mór levele báró Eötvös Lorándhoz:<sup>4</sup>

*„Göttinga, 1872. december.*

*Méltóságos báró Úr!*

Felbátorítva búcsú szavai által, hogy magamról néha-néha életjelt adnék, felhasználom az újév nyújtotta alkalmat, hogy egy részről Méltóságodnak boldog újévet kívánjak, másrészt pedig arra, hogy megírom, miként használom fel azon jótéteményt, melyben Méltóságod kegyes pártfogása által részesülök.

Méltóságod bizonyosan tudja, hogy engemet ki vonzott Göttingába 's nem szükséges azon veszteség nagyságát ecsetelnem, mely Clebsch halálával engemet is ért. A csapás sújtó volt 's első pillanatban az egész fél-évet rám nézve veszettnek hittem, miután más egyetemre való rögtöni eltávozásomat szűkös anyagi viszonyaim nem engedték. Azonban csakhamar visszanyertem bátorságomat 's kettőzött szorgalommal folytattam azon tanulmányaimat, melyeket már Clebsch életében megkezdtem 's melyekkel, ha Isten is úgy akarja, legalább is e félév végéig ernyedetlenül fogok foglalkozni. E tanulmányok pedig a következők:

Analytische Geometrie im Raume, a Clebsch-féle füzetek szerint, Dr. Neesen által előadva.

Funktionen-Theorie, Riemann'sche Methode. Prof. Schering.

Potenzial-Theorie. Anwendung auf elektische und magnetische Kräfte. Prof. Schering.

Theorie des Lichtes u. der Elasticität. Dr. Riecke.

Tartalomra nézve mind a négy előadás, amennyire megítélni képes vagyok, kitűnő: különösen a Clebsch-féle elemző mértan 's a potenciálmélet valóban elbájolólag hat rám.

Miután azonban Schering és Riecke tanár urak lassan haladnak, nem adnak elég dolgot, azért e szakmákba vágó más munkákban is gyönyörködöm. Mert valóban gyönyörűség Hesse térelemző mértana, vagy tanítványának Drachnak a köbös képzetekről írt munkája, vagy Durége-nek az elliptikus függvényekről írt műve nyomán előrehaladni.

Vége bátorlalom említést tenni a jövő hó elején a göttingai tudós társaság közlönyében megjelenő kis értekezésemről is, melyet – ha csakugyan megjelenik – Méltóságodnak megküldeni egyik legkedvesebb kötelességemnek tartandom.

Báró Úr! Hiszem, hogy Méltóságod 's Trefort Ö Nagyméltósága Isten segítségével sok embert tettek boldoggá, de engedje meg hinnem, hogy nálam boldogabbá senkit nem tettek. Mert hogy folytonosan tudományomzomjaim kielégítésén fáradozhatom 's hogy – ha Isten is úgy akarja, – biztos reményem lehet annyira juthatni, hogy tovább már a magam lábán haladhatok majd, oly gyönyörűséget okoz nekem, melyhez képest a boldogságomat zavaró, anyagi tekintetben is érezhető bajok mégis csak elenyészőek.

Azért áldom Teremtőmet, hogy magyarnak születtem 's hogy hazám közoktatási ügyének vezetése a páratlan Eötvös-család kezeibe lett letéve.

Isten éltesse Báró urat! Az ég áldja családját!

Mély hódolattal legalázatosabb szolgálja: Réthy Mór”

báró Eötvös Loránd levele Réthy Mórhoz:<sup>5</sup>

*Budapest 1882 October 5.*

*Igen tisztelt tanár úr!*

*Bocsásson meg, hogy „Doppler elve” stb. című értekezésének sorsáról csak most a szünidők után értesítem. Én ez értekezést a szünidők előtt utolsó akadémiai ülés után egy nappal kaptam, a mi azért történt, mert nem Pesten, hanem innét egy órányira Szent Lőrinczen laktam. A szünidők alatt folytonosan egyéb tárgyakkal foglalkoztam s a válaszolást napról napra halasztva így maradt az el a mai napra.*

*Értekezésének a hangadó és balló testek mozgására vonatkozó részét illetőleg nem értek egyet kegyeddel. Az eredmény miszerint „A hang intenzitása mindig a hangadó és hangfogó testek relatív sebességétől függ” nézetem szerint nem lehet helyes. Ez esetben a szélnek nem volna befolyása a hangerősségre. Magam néhány éve egy eszközt is készítettem e kérdés vizsgálatára s arról csak azért hallgattam, mert mérő kísérletek az intézésre viszonylag nem sikerültek. Két rezonátor egy forgó korongon egy gép (?) két ol-*

<sup>2</sup> Uo. 38.

<sup>3</sup> Uo. 38.

<sup>4</sup> Uo. 46–47.

<sup>5</sup> MS 5323/58



*dalán volt elhelyezve – az egyik előtte, a másik utána baladt. A rezonátorok által felfogott bangok interferenciája tüneményekre használtattak – s a mozgás befolyása észlelhető volt.*

*Különben én a kegyed okoskodását sem fogadhatom el. Kegyed a hangadó és hangfogó testek mozgását a közegben úgy teszi össze – hogy előbb a hangadót mozgatva keresi az intenzitást a hangfogóban – azután felveszi, hogy a hangadó saját relatív mozgásán kívül együtt balad a hangfogóval és a hangvivő folyadékkal. Azt mondja ez által minden változik a rezgésekben és ez teljesen igaz. De ha helyesen értem, akkor nem tette úgy össze a hangadó és hangfogó mozgást a hangvivő közegben – mert hiszen a hangfogadó test relatív sebessége a hangvivő közegben null maradt.*

*Kérem szíveskedjék az iránt nyilatkozni benyújtam-e értekezését a jövő ülésen és azt az Értekezések vagy az Értesítőbe adjam-e?*

*Igaz tisztelettel maradok  
bíve b. Eötvös Loránd*

báró Eötvös Loránd levele Réthy Mórhoz:<sup>6</sup>

*Budapest 1882 Oct. 20.*

*Igen tisztelt tanár úr!*

*Kíváncsára itt küldöm vissza „Doppler elv stb.” című értekezését. Igaza van, hogy a földolog pontos kísérletek eszközlése lenne. Én e pillanatban nem foglakozhatom behatóbban e tárggyal s a kegyed meg-*

*jegyzéseinek beható megfontolását is csak későbbre hagyhatom. Fogadja igaz tiszteletem kifejezését melylyel maradok bíve b. Eötvös Loránd*

báró Eötvös Loránd levele Réthy Mórhoz:<sup>7</sup>

*Mélyen tisztelt Colléga úr!*

*Átengedné nekem a Philosophical Trac. 1895 évi 186 A kötetét a mai napra? Ha igen úgy szépen kérem adja át e soraim vivőjének, holnap reggel vagy ha különösen megengedi délután visszaküldöm. Boldog ünnepeket kívánva maradok  
régí barátja tisztelője Eötvös Loránd  
1900. Dec. 25.*

## Köszönetnyilvánítás

Készült az MTA Határon Túli Magyar Tudományos Ösztöndíjprogram támogatásával.

Köszönetet mondok *Rupp Máriának*, és a többi Réthy dédunokának, akik rendelkezésemre bocsátották a családi fényképeket és iratokat, továbbá Réthy Oszkár kéziratáról díszkötéses másolatot készíttettek nekem.

## Irodalom

1. Réthy Oszkár: *Réthy Mór (1846–1925)*. (a Réthy-utódok számára készített kézirat) Budapest, 1940.
2. MTA Könyvtár Kézirattár: *Réthy Mór hagyatéka*.
3. Oláh-Gál Róbert: A Ferenc József Tudományegyetemen matematikából doktoráltak listája. *Műszaki Szemle* 2009., 46. szám (*Historia Scientiarum* Nr. 6), 28–33.

<sup>6</sup> MS 5323/59

<sup>7</sup> MS 5323/60

# MAGYARORSZÁGON TEMETTÉK EL HEVESY GYÖRGY LÁNYÁT

Saját végakarátának megfelelően 2009. június 30-án, Budapesten, a Kerepesi úti temetőben temették el *Jenny Hevesyt*, a Nobel-díjas magyar tudós, *Hevesy György* lányát. Családja az elhunyt hamvainak egy részét Budapestre hozta, és a tudósok parcellájában nyugvó édesapja síremlékében helyezte el. A bensőséges szertatáson megjelent *Pálinkás József*, a Magyar Tudományos Akadémia elnöke is. Búcsúszavakat mondott *Gustaf Arrhenius* professzor, az elhunyt férje és *Georg Hevesy*, Jenny Svédországban élő fivére. *Pálinkás József* délután az Akadémián látta vendégül a családtagokat. Este a család a Margitszigeti Nagyszállóban rendezett vacsorára hívta az MTA elnökét, amelyen jómagam is részt vehettem. Az éjszakába nyúló baráti beszélgetésen a fizika, és általában a tudomány, a 20. században született nagy tudományos áttörések és az előttünk álló 21. század lehetőségei kerültek szóba. Olyan témák, melyek Jenny életét is végigkísérték.

Jenny Hevesy 1926-ban született Koppenhágában, kevéssel azelőtt, hogy családja átköltözött Freiburgba,

ahol Jenny első éveit töltötte. Édesapja, már túl volt a radioaktív indikátormódszer, későbbi nyomjelzés kidolgozásán, sőt már világhírűvé vált a hafnium megtalálása miatt. Ez utóbbival megerősítette *Bohr* Aufbau princípjét és periódusos rendszer magyarázatát. A hafnium körül elkeseredett nemzetközi vita bontakozott ki, amelyben Hevesy kétségbevonhatatlan győzelmet aratott. Nyilván ennek is köszönhetette, hogy negyven éves korára német professzor lehetett. A kies városban Jennynek biztonságos, kellemes kisgyermekkor tudott biztosítani, nem kevésbé a már itt született *Ingridnek*. A náciizmus elől visszamenekültek Koppenhágába, ahol Jenny két testvérét kapott: *Georgot* és *Piát*. (Ők ketten, továbbá *Sabina*, Pia lánya szintén részt vettek a budapesti szertatáson.) Édesapjuk persze Koppenhágában is állandóan el volt foglalva, kivált a radioaktív izotóptechnika biokémiai, orvosi alkalmazásával, ma úgy mondjuk, a nukleáris medicina életre hívásával.

A családot az 1940-es években újra menekülésre késztette a terjeszkedő náciizmus. Hevesy intenzív

együttműködést folytatott svéd kollégáival, főként *von Eulerral*, aminek következtében szinte minden héten átutazott Stockholmba. Csupán annyi történt, hogy lassanként a családi otthon áthelyezte Svédországba, és onnan utazott Koppenhágába, nem pedig Koppenhágából Stockholmba csaknem heti gyakorisággal. Így vált Jenny testvéreivel együtt immár svéd-dé. Édesapja ebben az időben is el volt merülve az új tudományág, az izotóptechnika, az orvosi alkalmazások és a szerves kémiai felhasználás sűrűjében.

Jenny 1948-ban ment férjhez egy svéd fiatalemberhez, Gustaf Arrhenius-hoz. Gustaf szintén prominens tudóscsaládból származik. Nagyapja *Svante Arrhenius* a fizikai kémia, kivált elektrokémia egyik megalapozója volt a 20. század elején, Nobel-díjas, mi több a Nobel-díj korai időszakának legbefolyásosabb szervezője, a rendszer mentalitásának formálója, fontos véleményalkotó a díj odaítélésében. Rendkívül sokoldalú legendás tudós, a környezettudomány egyik alapítója. Gustaf édesapja vegyész volt, ő maga viszont fiatal korától vonzódott az óceánográfiahoz. Izgalmas expedíciókban vett részt, és persze tanulmányozta az ökoszisztémákat. Intellektuális pályafutása az óceánográfától a geokémia felé vezetett, majd a biogeokémiahoz, űrkémiahoz, végül mai fő témájához, az élet eredetének kutatásához.

Jenny és Gustaf 1952-ben költözött Kaliforniába. A San Diego melletti La Jollában telepedtek le, oda, ahol *Szilárd Leó* is élete utolsó éveit töltötte. Gustaf a Scripps Institution of Oceanography kutatója lett, különféle tisztségeket töltött be, jelentős kutatásokat vezetett, és persze számos helyről kapott visiting professzori meghívást. Kitüntetések és tudományos testületi tagságok jelzik sikeres pályafutását. Az 1922-ben született Gustaf ma is aktív kutató, Budapestre is egy Davosban tartott konferenciáról érkezett.

Jenny ebben a légkörben élte le egész életét. Felnevelte három gyereket, *Susanne-t*, *Thomast* és *Petert*. A tudósok nagy nemzetközi közösségében élt láthatóan kiegyensúlyozottan, megelégedetten, jókedvűen.

Magam talán 1984-ben vagy 85-ben találkoztam először a házaspárral. Hevesy György halálának centenáriumi ülést tartottuk az ELTE-n Nobel-díjas résztvevőkkel, *Mössbauerrel*, *Siegbahn*-nal, és hasonló kaliberű tudósokkal. A főszervező, talán mondani sem kell, *Marx György* volt, aki később számos impozáns tudományos ülést tudott létrehozni a legnagyobb élő magyar tudósok részvételével. A Hevesy családot mindig szívesen látta. A konferencián Gustaf érdekes előadást tartott Hevesy geokémiájáról – a szöveg megjelent a *Festschrift*-ben. Jennyt meghatotta az édesapja iránti tisztelet és büszkeség, amelyet lépten, nyomon érzett Magyarországon. Kávéztam velük a Gerbaud-ban, Hevesy György kedvenc helyén, közben bekapcsoltam a magnót, és a beszélgetést leírtam a *Fizikai Szemlé*-nek. Kedvesek voltak, vidámak és közlékenyek. Felfedezték Magyarországot, felfedezték a család számukra alig értett múltját, a szinte elfelejtett történeteket. Jenny megszerezte a magyar állampolgárságot is.

Néhány éve láttam utoljára, hogy, hogy nem Koppenhágában, Hevesy György egykori munkahelyén a Niels Bohr intézetben. Az intézet szűk körű ebédre hívott meg, hogy beszéljünk kicsit Hevesyről, az ott végzett kutatásairól és Bohrhoz fűződött legendás barátságáról. Legnagyobb meglepetésemre az Arrhenius házaspárral találtam magam egy asztalnál, csakúgy, mint most a Margitszigeten. Jenny szokatlanul viselkedett. Passzív volt és figyelmetlen. Nem lehetett nem észrevenni, hogy nincs jól. Csak most derült ki, mi volt az oka.

Jenny sorsa, személye, fájdalom, csak most tűnik föl, homályban maradt a nem nagyon közel állók számára, amilyen én is vagyok. Mintha a nagy tudósok árnyékában élte volna le az egész életet, elfogadva saját megfigyelői szerepét. Mintha beérte volna a jelenlét, megelégedett volna apja, férje és a körülöttek nyüzsgő jelentékeny tudományos férfiak közötti jövés-menéssel, rövid beszélgetésekkel. Ez volt természetes közege egész élete során.

*Palló Gábor*

MTA Filozófiai Kutatóintézet

## A FIZIKA TANÍTÁSA

# TEHETSÉGGONDOZÁS A VAJDASÁGBAN

Tanárélet a zentai Bolyai Tehetséggondozó Gimnázium és Kollégiumban

**Szórád Endre**

Bolyai Tehetséggondozó Gimnázium és Kollégium, Zenta, Szerbia

A zentai Bolyai Tehetséggondozó Gimnázium és Kollégium az első és egyetlen magyar tannyelvű, tehetséggondozó, természettudományi-matematikai szakirányultságú gimnázium a Vajdaság területén. Iskolánk eredetileg Természettudományi-matematikai Te-

hetséggondozó Gimnázium néven 2003. április 22-én jött létre. Alapítója a Vajdasági Autonóm Tartomány Képviselőháza. Az emelt szintű matematikai felvételin eredményesen szereplő 20 diák 2003 szeptemberében kezdte meg tanulmányait.

| 1. táblázat                                                                             |                                |     |     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|
| Természettudományi tantárgyak és a heti óraszámok a Bolyai Tehetséggondozó Gimnáziumban |                                |     |     |     |
| tantárgy neve                                                                           | heti óraszám<br>évfolyamonként |     |     |     |
|                                                                                         | 9.                             | 10. | 11. | 12. |
| analízis és algebra                                                                     | 4                              | 4   | 4   | 4   |
| geometria                                                                               | 4                              | 4   | –   | –   |
| lineáris algebra és analitikus geometria                                                | –                              | –   | 3   | –   |
| valószínűségszámítás és mat. statisztika                                                | –                              | –   | –   | 2   |
| numerikus matematika                                                                    | –                              | –   | –   | 2   |
| számítástechnika és informatika                                                         | 3                              | 3   | 2   | 2   |
| programozás és programozási nyelv                                                       | –                              | –   | 2   | 2   |
| fizika                                                                                  | 4                              | 3   | 4   | 4   |
| földrajz                                                                                | 2                              | 2   | –   | –   |
| csillagászat                                                                            | –                              | –   | –   | 1   |
| kémia                                                                                   | 2+1                            | 2+1 | 2   | 2   |
| biológia                                                                                | 2                              | 2   | –   | –   |
| természettudományok filozófiája                                                         | –                              | –   | 1   | –   |
| matematikai filozófia                                                                   | –                              | –   | –   | 1   |
| programozás előrehaladott technikája                                                    | –                              | –   | 1   | –   |

2004 februárjában egy tájékoztató-népszerűsítő körút során ellátogattunk a Vajdaság összes magyar általános iskolájába, és egy-egy előadás keretében bemutattuk intézményünket. Ezt azóta évente megismétljük. Minden tavasszal a gimnázium matematika tanárai felvételi előkészítőket tartanak a leendő elsősöknek.

2006-ban az intézmény teljessé vált, először voltak érettségizőink is. Ők ma már mindannyian valamelyik hazai vagy külföldi egyetem hallgatói.

Iskolánk tanulói 2008. szeptembertől a 4 évfolyamon összesen 119-en vannak, annak köszönhetően, hogy júniusban 29 diáknak sikerült eredményesen letennie az emelt szintű matematikai felvételi vizsgát és 31-en sikeres felvételt tettek az újonnan nyílt képzőművészeti szakon. Iskolánk tanulói a Vajdaság 30 településéről (Bácskertestől Tiszakálmánfalván át Magyarcsernyéig) valók, tehát szinte az egész tartomány területét felöleljük oktató-nevelő tevékenységünkkel.

Célunk a szakmailag jól felkészült, a közösségért tenni akaró magyar értelmiség létrehozása és megerősítése Szerbiában. Szívügyünk a szóránymagyarság tehetséges fiataljainak felkarolása. A délelőtti oktatás a hivatalos, az állam által a természettudományi-matematikai szakirányultságú tehetséggondozó gimnáziumoknak előírt program alapján zajlik. Ebben kiemelt órásszámmal szerepel a matematika, az informatika, a kémia, a fizika és a többi természettudomány. Természetesen a diákjaink humán tantárgyakat is hallgatnak. A természettudományi tantárgyak és a heti óraszámok az 1. táblázatban láthatók.



Az iskola épülete, Gajda Attila fotója.

Az iskola teljesen új, esztétikus és jól felszerelt tantermekkel rendelkezik. Kiemelten kezeljük a taneszközök beszerzését, így felszereltség terén már egy év után az iskolák élvonalába kerültünk.

Iskolánkat a többi iskolától tanáraink és az általuk alkalmazott oktatási módszer különbözteti meg. Válogatott tanári büszkélkedhetünk, hiszen tanáraink egy része egyetemen, főiskolán tanít, míg a többiek a környező középiskolák legjobbjai közül kerültek ki. Folyamatosan vesznek részt továbbképzéseken, ahol szakemberek segítségével sajátítják el a Magyarországon már több éve folyó tehetséggondozás módszertanát és gyakorlati alkalmazását.

Mostanra már a sikerek is mutatkoznak. Köszönhető ez a tanárok mellett a válogatott diákoknak is, akik már több nemzetközi és hazai versenyen indultak, és értek el kiemelkedő eredményeket. Diákjaink az elmúlt év során számos megmérettetésen vettek részt, ezeket felsorolni is nehéz lenne. Szintjük a községektől egészen a nemzetközi versenyekig terjed. Legtöbbször a matematika és a kémia területén próbálják ki magukat, de vannak diákok, akik más tantárgyakból is, mint például fizika, anyanyelv, informatika szerepelnek eredményesen. Mindezek mellett követik a pályázati kiírásokat, ahová pályamunkáikat el is küldik. Eredményeket tekintve tanulóink több első, második és harmadik helyeztet tudhatnak magukénak. Minden tanévben nagy várakozással tekintenek az elkövetkező versenyek elé, reménykedve abban is, hogy találkoznak régi ismerőseikkel, versenytársaikkal, hogy összemérhessék újonnan szerzett tudásukat.

Az elmúlt tanévben diákjaink főleg matematikából és kémiából, hazai (szerbiai) és nemzetközi versenyeken vettek részt, amelyeknek alapvetően két típusa van: feladat-megoldó és teszt típusú.

## Versenyeken való részvétel, eredmények

Nehéz lenne felsorolni diákjaink elért eredményeit, ezért a teljesség igénye nélkül néhány fontosabb versenyt és az ott elért eredményeket foglalom össze (2. táblázat).

2. táblázat

**Néhány fontosabb tanulmányi verseny és elért eredmények**

| verseny neve                                                                    | szintje             | eredmények                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Szerbiai országos matematika feladatmegoldó verseny                             | országos (Szerbia)  | 8 tanuló bejutott,<br>1 db III. helyezés<br>1 db dicséret                                                 |
| KENGURU határok nélkül Matematika tesztverseny                                  | nemzetközi          | 5 db I. díj<br>1 db dicséret                                                                              |
| Nemzetközi Magyar Matematika Verseny                                            | nemzetközi          | 1 db II. díj<br>1 db III. díj                                                                             |
| GORDIUSZ matematika tesztverseny                                                | nemzetközi          | 1 db II. díj (országos)<br>1 db I. díj (határon túliak)                                                   |
| TUDOK                                                                           | nemzetközi          | 3 fő bejutott a döntőbe<br>2 db dicséret a döntőn                                                         |
| II. KUTDIÁK                                                                     | nemzetközi          | 5 fő vett részt 4 poszterrel,<br>2 db I. díj (3 fő)<br>1 db dicséret                                      |
| VI. Nemzetközi Kémikus Diákszimpozium, Marosvásárhely                           | nemzetközi          | 7 fő vett részt<br>1 db I. díj + legjobb előadói díj,<br>3 db dicséret                                    |
| Curie Országos Kémia verseny, Szolnok                                           | nemzetközi          | 2 db I. hely (határon túli)                                                                               |
| Országos Kémiaverseny (feladatmegoldó és gyakorlat)                             | országos (Szerbia)  | 1 db III. helyezés<br>1 db V. helyezés                                                                    |
| TALENTUM-2 e-learning Temesvár                                                  | nemzetközi          | 6 fő nyert természettudományi táborban való részvételt                                                    |
| VII. GENIUS diáktverseny Újvidék                                                | országos            | 27 munkával nevezünk,<br>7 db kiemelkedő I. díj                                                           |
| Tantárgyháló                                                                    | vajdaság            | 2 db I. helyezés                                                                                          |
| 18. Ifjúsági Tudományos és Tehetségkutató Verseny (Magyar Innovációs Szövetség) | nemzetközi          | 4 beküldött munka<br>4 db dicséret<br>2 db külön elismerés                                                |
| Takács Csaba kémiaverseny (Marosvásárhely)                                      | nemzetközi          | 5 db dicséret és különdíj                                                                                 |
| XPERIMANIA                                                                      | nemzetközi (Európa) | 30 tanuló bekapcsolódott<br>40 pályamunkát küldtek be<br>(a legtöbb pályamunkát beküldő iskola Európában) |

A legnépszerűbbek ezek közül: testépítés, futball, úszás, aerobics, atlétika. Ezen kívül tanulóink létrehozta egy színjátszó csoportot; ők folyamatosan készülnek különféle színelőadásokkal.

Kiemelt szerepe van a kollégiumi diákélet megszervezésében és a problémák megoldásában a diákönkormányzatnak. Ezen keresztül a diákok aktívan tudják alakítani a gimnázium és a kollégium arculatát, programjait. A diákönkormányzat működteti a klubhelyiséget, és felelős a kollégiumon belüli tisztaságért. Emellett a következő szabadidős programokat szervezik a kollégium falain belül: társasjátékok, kézműves foglalkozások, vitatestek, filmvetítések, versenyek.

## Öregdiákok

Bizonyára meglepődik az olvasó, amikor ezt a címet olvassa, hiszen egy igen fiatal intézményről van szó! De hogyan lehetnek egy csupán hat éves iskolának öregdiákjai? Ez úgy történhetett, hogy 1953 és 56 között Zentán, a ma is létező zentai Gimnáziumot Bolyai Farkas Magyar Főgimnáziumnak hívták. Több mint 50 évvel ezelőtt az akkori Bolyai Gimnáziumban két tagozatnyi fiatal sikeresen leérettsgizett. Az egykori fiatalemberekből és leányokból mára már nagypapák és nagymamák lettek, s az újonnan alakult Bolyai Gimnázium a fiatalságukra emlékezteti őket.

Néhány évvel ezelőtt az akkori diákok és egykori igazgatójuk, *Szeli István*, valamint munkatársai megünnepelték 50 éves érettségi találkoójukat, s ebből az alkalomból ellátogattak intézményünkbe, a Bolyai Gimnáziumba. Ekkor az öregdiákok és tanáraik egy eszmei értékű tárgyat ajándékoztak iskolánknak. Az ajándék nem más, mint az 50 évvel ezelőtt készült tablójuk, amely ma már az új Bolyai Gimnázium falán van kifüggesztve. E tábló átadásával szívünkben újraéledt egykori iskolájuk emléke.

## Hogyan lehet valaki bolyais?

Intézményünkbe az általános iskola 8. osztályát befejező tanulók felvételizhetnek. A felvételi magyar nyelven folyik. A felvételin összesen 300 pontot lehet elérni a következők alapján:

## Kollégium

Az oktatói-nevelői munka hatékonyságát nagyban elősegíti a gimnázium épületének padlasterében kialakított 68 férőhelyes kollégium, amelyet 2004. március 15-én kaptunk meg. A lakószobák mellett étkező, számítógépekkel felszerelt klubhelyiség szolgálja a tanulók kényelmét, zökkenőmentes munkáját. A kollégiumi foglalkozásokat a délelőtti kötöttségével szemben a sokszínűség, a változatosság és a személyre szabottság jellemzi. Itt valósul meg az egyénre figyelő tehetséggondozás, s itt érvényesül igazán a kiscsoportos foglalkozások minden előnye. Előadónk az iskola tanárai mellett vajdasági és magyarországi elismert szakemberek. A tanulók délutánonként emelt szintű foglalkozásokra járnak. Emellett fontos szerep jut a választható fakultációknak is. Fiataljaink hetente több alkalommal részt vesznek valamilyen sportrendezvényen, foglalkozáson.

a) Speciális felvételi vizsga matematikából (összesen 120 pont érhető el). Emeltszintű matematikai feladatok kitöltésével zajlik. Csak írásbeli, egyfordulós rendszerű. Oktatási intézményünkben kerül megrendezésre, s összesítve a felvételizőnek minimálisan 50%-ban teljesítenie kell a felvételi feladatokat (legalább 60 pontot el kell érnie, s aki ezt nem teljesíti, az automatikusan kiesik az iskolába bekerülhető diákok közül).

b) Általános iskolai eredmény (összesen 60 pont érhető el). Az általános iskolai eredmények közül a 6., 7. és 8. osztály év végi átlageredményeit vesszük figyelembe. A három esztendő év végi eredményeit összeadjuk, s a kapott eredményt megszorozzuk 4-gyel.

c) Versenyen elért eredmény (összesen 120 pont érhető el). Kizárólag a 8. osztályban, matematika versenyen nemzetközi, szövetségi vagy köztársasági szinten elért 1., 2. vagy 3. helyezéseért egyformán 120 pont jár.

Évente csak 20 új tanulót tudunk fogadni, ezért a legtöbb pontot szerző első 20 diák nyer felvételt.

## Bolyai Farkas Alapítvány a magyarul tanuló tehetségeikért

Az egykori bolyais diákok 2005-ben egy érzelmekkel és emlékekkel teli 50 éves érettségi találkozó után úgy vélték, hogy valamit tenni kívánnak a magyarul tanuló tehetséges fiatalokért. Ehhez egy alapítvány létrehozása tűnt a legalkalmasabbnak.

Segítségre, támogatásra szüksége is van a Bolyai Tehetséggondozó Gimnázium és Kollégiumnak a magas szintű oktatás tárgyi és személyi feltételeinek biztosításában. Legfőképpen azoknak a fiataloknak, akik rendelkeznek azzal a szorgalommal és tehetség-

gel, amely szükséges ahhoz, hogy a kellő tudást megszerelve képesek legyenek megtalálni a társadalmilag hasznos jövőbe vezető ösvényeket és továbbfejleszteni tudományos és kulturális ismereteiket.

Alapítványunkat 2005. szeptember 11-én 58 természetes és 7 jogi személy összefogásával hívtuk életre, és célul az alapító okirattal összhangban a következőket tűztük ki:

- sokoldalú segélynyújtás biztosítása a zentai Bolyai Tehetséggondozó Gimnázium és Kollégium céljainak eléréséhez;
- az alkotótevékenység elősegítése, valamint más szociális és hasznos célok megvalósítása;
- anyagi és humanitárius segélynyújtás a tehetséges tanulóknak és egyetemi hallgatóknak, akik magyar nyelven folytatják tanulmányaikat;
- Bolyai Farkas és fia, János szellemi hagyatékának őrzése, és ennek a szellemiségnek továbbvitele a tudományos kutatás, valamint a kulturális tevékenység területén.

A zentai Bolyai Tehetséggondozó Gimnázium és Kollégium azzal a céllal alakult meg, hogy a vajdasági magyar természettudományi és műszaki értelmiséget erősítse, amelyet a 90-es évek háborús időszaka igen csak megtépázott. Az alapítás úttörő jelentőségű volt a régióban, különösen pedig a kisebbségi oktatásban. Túl azon, hogy intézményünk a komplex tehetséggondozás mellett kötelezte el magát, az oktatás magyar nyelven zajlik. Legalább ilyen egyedülálló, hogy iskolánk saját kollégiummal rendelkezik, amely biztosítja a nevelés, a tehetség- és személyiségfejlesztés kereteit is. Iskolánk 2008-tól regisztrált tehetségpontként is működik, illeszkedve a Kárpát-medencei Tehetségpontok hálózatába.

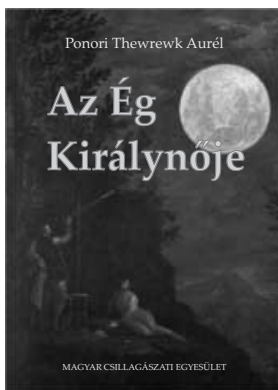
## KÖNYVESPOLC

# Ponori Thewrewk Aurél: AZ ÉG KIRÁLYNŐJE

Magyar Csillagászati Egyesület, Budapest, 2009, 172 oldal

*Az Ég Királynője* egy karcsú kötet, ami-ben minden benne van, amit a Holdról tudnunk érdemes. Persze ilyesmi az interneten is megtalálható, de távolról sem egy karcsú kötetben, és elég sok fáradságba kerülne valami megközelítő színvonalú anyag összegyűjtése.

Az első fejezet összefoglalja a tudás-minimumot, amit mindenképp illik tudni. Hogy mekkora, milyen messze van, mekkora a hőmérséklete, hogyan keletkezett, felszínének hány százalékát lát-hatjuk a kötött forgású égitestnek.



Háromszor ekkora terjedelemben esik szó a naptárakról. Az évet a Nap körüli pályamozgás periodikussága adja, a hold-pálya körbefutásához egy hónap (hold-nap) szükséges, a hét mint az átlagos kifáradás mértéke kerül a naptárba, hiszen a hetedik napon a Teremtő is megpihent.

Tizenkét naptárrendszerrel esik szó az ősi Európától az Újvilágig, köztük a magyar Hold-tisztelet több verses változatával is megismerkedhetünk. Fogfájás esetén az újhoid felé kell lehelni ezt a mondatot:



*Új Hód: új kiráj!  
Köszöntelek téged  
Ezen üdvözléssel  
Hogy a fogfájást  
Háricsd el tülem!*

A magyarokról szóló fejezet ad alkalmat a 19-es szám szerepének megvizsgálására. 19 napév kerek 235 holdhónapot tartalmaz, tehát ennyi idő után a napévben ugyanazokra a napokra esnek a holdfázisok, mint 19 évvel ezelőtt. Minthogy egyes mítoszok szent királyai 19 évig uralkodhattak (meton ciklus), áttekinthetjük a szerzővel az Árpád ház eseményeit 1000 és 1266 között.

A könyv terjedelmének hatodrészt szánja a szerző a fogyatkozások bemutatására. Minthogy Hold nélkül napfogyatkozás sincs, ezért mindkét fogyatkozásra egyenlő figyelem fordul. Mindkét esetben nagy élmény a jelenség leírása, a részletek elmagyarázása a megértetés hatalmas rutinjának diadala. „Ha teljes holdfogyatkozás idején egy úrhajós a Holdon a Föld felé nézne, amely épp elfedi a Napot, a Föld körül égővörös karikát látna, amely gyengén megvilágítja a sötét holdtájat. (Ilyenkor van a Holdon Napfogyatkozás.)” Megismerjük a könyvből a nevezetes napfogyatkozások szerepét a történetírásban, ugyanis a csillagászok napra képesek utána számolni egyes nevezetes fogyatkozásoknak. A *Thalész* által megjósolt napfogyatkozásról tudni lehet, hogy az i.e. 585. május 28-án a Halüsz folyó vidékén teljes volt. „Nos, ha a 48. olimpiai játékok 4. éve 585-re esett, akkor az 1. olimpia 1. éve az i.e. 776-ra volt tehető. És ezzel valamennyi, az olimpiád-érában megadott dátumot át lehetett számítani a mi naptárunk éveire.”

Ezután következik a talán legérdekesebb fejezet a Hold földi hatásairól. Mindenekelőtt az árapályról, ahol a jelenséggel összemérhető érdekességű magyarázatának története. *Galilei* tévedésének ismertetése alapján fontos következtetések vonhatók le a korra, majd a gravitáción alapuló elmélet kifejlődése után az árapály segítségével több százmillió évvel ezelőtre is tehető észrevételek. Nevezetesen a Hold az árapályjelenségen keresztül fékezi a Föld forgását, aminek következtében 400 millió évvel ezelőtt 405 napos volt az év, és 21,5 órából állt egy nap. Erre lehet következtetni az ősi időkben élt korallak és kagylók mészvázának mikroszkópos vizsgálatából is. Az élet elterjedése a szárazföldön a Földhöz még sokkal közelebb keringő Hold kilométeres magasságú árapályhullámainak köszönhető. A földtengelynek a Nap körüli keringés síkjához mérhető 66,5°-os szöge csak kevéssé változik. „És a Hold továbbra is folyamatosan gondoskodik e tengelydőlési szög viszonylagos állandóságáról, és ennek folyományaként az élet fennmaradási és fejlődési lehetőségéről.”

Rövid fejezet foglalkozik a biológiai hatásokkal. Érthető, hiszen igen ritka a valószínűsíthető tényleges hatás a vélt hatások színes, de tudományos szempontból a néprajzra tartozó tömegében. „A régi görögök óvakodtak frigyre lépni fogyó Hold idején.” Az ázsiai bivaly nőtényének peteérése valóban újhold idejére esik. „Emiatt e bivalyok párzása mindig a sötétben történik, amikor legkisebb a veszély, hogy ragadozók támadják meg őket.”



Különféle népek elképzelései a Hold foltjaira.

A *Hold megismerése* című fejezetben az ősi megfigyelésektől a távcsöves méréseken át napjaink űrkutatásának Holdra vonatkozó eredményeiig terjed a skála. Külön alfejezet foglalkozik a holdutazásokkal, részletesen a valóságosakkal és szórakoztatóan a fantázia szülötteivel. *Rostand* *Cyranójának* hétféle űrutazási technikájából egy pontos recept:

*Végül felállok egy arasznnyi vásra  
S mágnest dobok föl, még pedig magasra,  
A mágnes röppen és mint egy bolond  
A vonzott vas rögtön utána ront.  
S addig vetem föl mágnes-darabom,  
Amíg elérem boldam vagy napom!*

Az utolsó fejezet: *Mítoszok, népmesék, mondák, legendák a Holdról*. A Hold foltjaihoz fűződő elképzelésekről van szó, aminek változatosságát szavatolja, hogy *ugyanaz a foltcsoport másnak látszik 90° vagy 180°-kal elfordított Hold-helyzetben – dél felé haladva*. Az öt kontinens mindegyike helyet kap néhány mondájának, amelyekből kiderül, mennyire hasonlóak a halandók a Hold alatt.

Függelékként szerepelnek a magyar holdkráternevek, a legvégén pedig három oldal a forrásmunkákról és az ajánlott irodalomról.

Lehet, ha nagyon figyelek, találhattam volna valami elírást, hiányzó vesszőt, azonban a jól megformált, lebilincselő tartalom követése megfosztott a szokásos trófeáktól. Egyetlen lehetőségem maradt, hogy ajánljam mindenkinek nemcsak olvasmányként, de könyvespolcára, bármikor elérhető kötetként *Az Ég Királynőjét*.

*Füstöss László*

## AZ AKADÉMIAI ÉLET HÍREI

### Egyetemi-akadémiai összefogás az eredményes fizikatanításért

Magyarországon óriási gondokkal küzd a természettudományos képzés, ezért kiemelten fontos, hogy vonzóbbá tegyük e tárgyak oktatását – hangsúlyozta *Pál linkás József*, a Magyar Tudományos Akadémia elnöke a *Fizikatanítás tartalmasan és érdekesen* szeminárium megnyitóján. A rendezvény résztvevői – fizika szakos általános és középiskolai tanárok, valamint egyetemi oktatók – a magyar nyelvű fizikatanítás helyzetét vitatták meg a magyarországi és határon túli magyar iskolákban, hiszen a Kárpát-medencében hasonló problémákkal küszködnek a természettudományokat oktatók.

A természettudományos oktatás világszerte válságban van, ám Magyarországon nemzetközi összehasonlításban is nehezebb a helyzet. Drámaian kevesen jelentkezték a természettudományos képzésekre – különösen igaz ez a fizika szakos tanárképzésre, ami később hátrányosan érinti majd a kutató- és mérnök-képzést is. A háromnapos szemináriumon a magyarországi helyzet mellett bemutatták a délvidéki, az erdélyi, a kárpátaljai és a felvidéki oktatásban kialakult nehézségeket is.

Magyarországon egytizedére csökkent a természettudományi karokra jelentkezők száma a korábbi évekhez képest. Országos vizsgálatok alapján a fizika megítélése a legrosszabb valamennyi tantárgy között.

Tanulmányok támasztják alá, hogy a diákok nem jutnak megfelelő természettudományos ismeretekhez, tudásuk egyre kifogásolhatóbb.

A természettudományi ismeretek elsajátításának alapja a minőségi szakemberképzés – hívta fel a figyelmet a Magyar Tudományos Akadémia elnöke. Pál linkás József elmondta: a természettudományi ismeretek minőségi oktatása azért fontos, hogy gondolkodni tanítson és segítsen megérteni a világot. Óriási szükség van az ilyen kezdeményezésekre, ezért az MTA örömmel vállalta a szeminárium támogatását. A Magyar Tudományos Akadémia – tette hozzá az elnök – szívügyének tekinti a tehetség-utánpótlás segítését. Ennek a támogatásnak egyik jele a *Lendület Fiatal Kutatói Program* létrehozása, amely kimagasló teljesítményű fiatal kutatók számára biztosít lehetőséget hazai körülmények között – hozzájárulva egyúttal ahhoz is, hogy a kutatói pálya vonzóvá váljon a fiatalok számára.

A háromnapos rendezvény – mely augusztus 27-én kezdődött – szervezője az Eötvös Loránd Tudományegyetem Fizika Doktori Iskolája volt, ahol két éve önálló PhD-program indult gyakorló tanárok számára a fizikatanítás szempontjából fontos kutató-fejlesztő munka támogatására.

(<http://www.mta.hu>)

## A TÁRSULATI ÉLET HÍREI

### Eötvös-verseny 2009

Az idei Eötvös-versenyt 2009. október 16-án, pénteken délután 15<sup>h</sup>-tól 20<sup>h</sup>-ig rendezi meg az Eötvös Loránd Fizikai Társulat.

Részt vehetnek rajta mindenekelőtt a 2009-ben középiskolát végzett diákok, valamint mindazok, akik jelenleg is középiskolai tanulók. Nemcsak magyar állampolgárságú versenyzők indulhatnak, hanem Magyarországon tanuló külföldi diákok, valamint külföldön tanuló, de magyarul értő és beszélő diákok is, ha 2009-ben érettségiztek, vagy jelenleg is középiskolai tanulók.

A megoldásokat magyar nyelven kell elkészíteni; a rendelkezésre álló idő 300 perc, minden segédeszköz használható, de mobiltelefont a versenyre bevinni tilos!

Előzetesen jelentkezni nem kell, elegendő egy személyazonosság igazolására szolgáló okmánnyal (személyi igazolvány, fényképes diákigazolvány vagy útleve) pontosan megjelenni az alábbi helyszínek valamelyikén:  
*Budapest:* Eötvös Egyetem Természettudományi Kar, XI. kerület Pázmány Péter sétány 1/A.

*Békéscsaba:* Belvárosi Általános Iskola és Gimnázium, Haán Lajos u. 2–4.

*Debrecen:* Fazekas Mihály Gimnázium, Hatvan u. 44.

*Eger:* Dobó István Gimnázium, Széchenyi út 19.

*Győr:* MTESZ Székház, Szent István u. 5.

*Kecskemét:* Katona József Gimnázium és Számítástechnikai Szakközépiskola, Dózsa György út 3.

*Miskolc:* Miskolci Egyetem, Egyetemváros, Fizika tanszék.

*Nagykanizsa:* Batthyány Lajos Gimnázium, Rozgonyi út 23.  
*Nyíregyháza:* Nyíregyházi Főiskola, Fizika Tanszék, Sóstói út 31/b, 309. sz. tanterem.  
*Pécs:* PTE Fizika Intézet, Ifjúság útja 6., A/408. tanterem.  
*Sopron:* Széchenyi István Gimnázium, Templom u. 26.  
*Szeged:* SZTE Elméleti Fizika Tanszék tanterme, Tisza Lajos krt. 84–86.

*Szekszárd:* Garay János Gimnázium, Szent István tér 7–9.  
*Szombathely:* Szent-Györgyi Albert Középiskola, Pázmány P. krt. 28/A.  
*Székesfehérvár:* Lánosz Kornél Gimnázium, Budai út 43.  
*Veszprém:* Pannon Egyetem, Wartha Vince u. 1., N 245-ös terem.

Versenybizottság

## HÍREK ITTHONRÓL

### Fizikai előadássorozat az ELTE TTK-n

Idén szeptembertől folytatódik, immár ötödik éve tartó *Az atomtól a csillagokig* címmel középiskolásoknak szóló ismeretterjesztő előadássorozat a fizika frontvonalába tartozó fizikai érdekességekről, újdonságokról az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kara Fizikai Intézetében. Az előadások délután 5 órakor kezdődnek az ELTE TTK látványosi északi tömbjének (1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A) Eötvös termében (földszint 0.83). Minden érdeklődőt szívesen látunk. Az előadások látogatása ingyenes.

2009. szeptember 24., *Jánosi Imre:* A klímakutatás modern eszközei: a villámok statisztikájától a szélenergia potenciál becsléséig.

Bevezetőt mond: *Kürti Jenő*, a Fizikai Intézet vezetője.

2009. október 8., *Bajnok Zoltán:* Részecske vagy hullám: térelmélet az asztalon.

2009. október 22., *Dávid Gyula:* Kvantumképek az alagútbán.

2009. november 12., *Takács Gábor:* Erő a vákuumból: a Casimir-effektus.

2009. november 26., *Kolláth Zoltán:* Az Univerzum hangjai.

2009. december 10., *Palla Gergely:* Csoportosulások komplex hálózatokban.

2010. január 14., *Gruiz Márton:* A káosz fizikája.

2010. január 28., *Glöckler Oszvald:* Biztonságos atomenergia és ami hozzá kell.

2010. február 11., *Derényi Imre:* Molekuláris motorok: hogyan működnek és mi a biológiai szerepük?

2010. február 25., *Csordás András:* Hideg atomok csapdában.

2010. március 11., *Timár Gábor:* A Föld alakja – és annak ismerettörténete a görögöktől Eötvös Lorándon át a műholdas gravimetriáig (ünnepi előadás).

2010. március 25., *Véninger Péter:* Az anyagok öregedéséről, ahogy a restaurátorok látják.

2010. április 8., *Radnóti Katalin:* Egy Nobel-díjas család.

2010. április 22., *Katz Sándor:* A látható Világegyetem tömege és a részecskefizika.

Honlapunkon (<http://www.atomcsill.elte.hu>) megtalálhatók az elhangzott és a közeljövőben tervezett előadások címei, előadói és rövid ismertetései, sőt minden, a sorozat kezdete óta elhangzott előadás anyaga, köztük a legtöbb előadás videofelvétele is letölthető.

*Cserti József*, a rendezvény szervezője

## HÍREK A NAGYVILÁGBÓL

### A CERN megerősítette, hogy az LHC 3,5 TeV energián fog működni

*Rolf Heuer*, az Európai Nukleáris Kutatóközpont, a CERN főigazgatója megerősítette, hogy a Nagy Hadronütköztető gyorsítóberendezés (Large Hadron Collider, LHC) 3,5 TeV energián fog működni novemberben, ami 7 TeV energiájú ütközéseket tesz lehetővé. „Azért választottuk kezdetnek a 3,5 TeV energiát” – mondta Heuer – „mert lehetővé teszi, hogy a kezelők gyakorlatot szerezzenek a biztonságos üzemeltetésben, amellett, hogy a kísérletekben új energiatartomány vizsgálata válik lehetővé.”

Az alacsonyabb energiát az is indokolja, hogy nem mindegyik mágnes dolgozik maximális teljesítménnyel, és a réz stabilizátorok magasabb energiákon nem működhetnek.

Az elmúlt évben a LHC működésében zavar keletkezett, amikor a 10 000 szupravezető mágnes egyike meghibásodott. A hiba kijavítására az összes mágnessektort meg kellett vizsgálni. Az utolsó két szektor vizsgálata befejeződött, és további nagyobb hibát nem találtak.

Az LHC 2009-es beindításakor először minden irányban megvizsgálják az injektált részecskék nyalábjának viselkedését, majd azután emelik az energiát. Az első kísérleti adatokat várhatóan decemberben gyűjtik be. Az LHC 3,5 TeV nyalábenergiával fog működni, amíg elegendő kísérleti adat gyűlik össze, vala-

mint a kezelők megfelelő gyakorlatot szereznek. Ezután a nyaláb energiáját fokozatosan emelik 5 TeV-re. Az LHC 2010 végén fog először ólom ionokat gyorsítani, majd a berendezést kikapcsolják, és megkezdődik a munka a 7 TeV energiájú nyalábbal.

(<http://www.aip.org/pt/>)

## Megújuló energia Ausztráliában

2009. augusztus 20-án az ausztrál parlament jóváhagyta azt a törvényjavaslatot, miszerint 2020-ra az ország energiaszükségletének 20%-át megújuló energiaforrásokból fogják nyerni a jelenlegi 8%-kal szemben. Ez a célkitűzés várhatóan sokmilliárd dolláros befektetést fog eredményezni a szél-, a nap- és vízi energia felhasználása terén, bár a törvényjavaslat a szénbányá-

zat melléktermékeként keletkező metángázt is megújuló energiaforrásnak minősítette. A javaslatot különválasztották egy korábbi, szélesebb körű csomagtól, amelyben az iparból származó, üvegházhatást okozó gázok kibocsátásának korlátozását javasolták, és amelyet augusztus 12-én a parlament leszavazott.

(<http://www.nature.com/>)

## Irán nukleáris programjának ellenőrzése

Irán 2009. augusztus végére hozzájárult ahhoz, hogy a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség ellenőrei meglátogassák az Arak városa közelében működő nehézvízes atomreaktorát, és beleegyezett azokba a változtatásokba, amelyek megkönnyítik majd a Natanzban működő urándúsító ellenőrzését. Az ország a tavalyi év folyamán visszavonta a 40 megawatt teljesítményű araki reaktor látogatásának engedélyezését. A reaktor építése folyamatban van és a tervek szerint 2014-ben fogják üzembe helyezni. Az új reaktor urán fűtőanyaggal működik, izotópok előállítására és elektromos energia termelésére fogják használni. Irán nyomatékosan tagadja, hogy a reaktort katonai célokra szándékoznak felhasználni.

(<http://www.nature.com/>)



Mahmúd Ahmadinezsád iráni elnök a natanzi urándúsító üzemben.

## Tudományos csalási ügy a bíróság előtt

Közel három és féleves jogi procedúra után a végéhez közeledik *Woo Suk Hwang* koreai sejtkutató csalási ügyének tárgyalása. 2009. augusztus 24-én a tanúkihallgatások befejezése után az államügyész négyéves börtönbüntetés kiszabását kérte Hwangra, akit csalással, közpénzek elsikkasztásával, valamint az ország

bioetikai törvényeinek megsértésével vádolnak. A kutató korábbi cikkeiben azt állította, hogy emberi embriók őssejtjeit sikerült klónoznia, de 2006-ban bebizonyították, hogy csalást követett el. A bíróság döntése idén október közepére várható.

(<http://www.nature.com/>)

## Musical a húrelméletről

Az utóbbi időben a fizika egyre inkább témája lesz a zenés műfajoknak. 2005-ben a San Francisco Opera bemutatta *John Adams* és *Peter Sellars Atomic Doctor* című operáját, amelynek témája az atombomba és *Robert Oppenheimer* volt.

2009. június 14-én a párizsi Pompidou központ is nem mindennapi zenei bemutatonak adott otthont: *Hèc-*

*tor Parra* és *Lisa Randall Hypermusic Prologue: A Projective Opera in Seven Planes* című zenés művének. Lisa Randall a Harvard Egyetem elméleti fizika professzora, *Hèctor Parra* pedig spanyol zeneszerző, akit Lisa Randall *Warped Passages: Unravelling the Universe's Hidden Dimensions* című, többek között a húrelméletről is foglalkozó, tudományt népszerűsítő műve ihletett meg.

A darab egy szerelmespárról szól, mindketten fizikusok. A párból a hölgy azonban zeneszerző is, akinek valami hiányzik az életéből. Mind a fizikai szakki-  
fejezésektől hemzsegő szöveg, mind pedig a modern  
eszközöket felvonultató zene meghökkentő. A zene-  
szerző digitális mintát vesz az énekesek hangjából,  
majd egy bonyolult digitális rendszeren keresztül ke-  
veri a hangszerek hangjával, az eredmény egy sok  
paramétertől függő szintetikus zene, amelynek jellem-  
zői a cselekmény kibontakozásával együtt változnak.  
„Átlagosan 70%-ban valódi zenészeket, 30%-ban  
elektronikus zenét hallunk” – mondja Parra. A nézőtér  
tele van hangszóróval, amelyek felváltva szólalnak

meg. A színpadkép egy nagyméretű képernyő, ame-  
lyen a két szereplő ellentmondó érzéseinek és nézeté-  
nek megfelelő képek villannak fel kaleidoszkópsze-  
rűen, szinte pszichedelikus hangulatot teremtve,  
amely a nézőnek az ötödik dimenzió élményét hiva-  
tott közvetíteni.

A nem mindennapi élmény iránt érdeklődők a kü-  
lönleges „zenélő húrelméletet” 2009. november 27–  
28-án Barcelonában, a Gran Teatre del Liceu színház-  
ban, valamint december 6-án Luxemburgban, a Grand  
Auditorium of the Philharmonie előadóteremben te-  
kinthetik meg.

(<http://www.nature.com>)

## Alan Guth nyerte el a Newton-érmet

Az amerikai Institute of Physics Isaac Newton érmét  
2009-ben *Alan Guth* kozmológusnak ítelték oda „a fel-  
fűvódó Univerzum-modell kidolgozásáért; azért a felis-  
merésért, hogy az infláció a nem-standard kozmológia  
előtt álló problémákra megoldást szolgáltat, valamint  
az Univerzum szerkezetét létrehozó anyag sűrűséginga-  
dozási spektrumának meghatározásáért”. Az Isaac New-  
ton éremhez 2000 font pénzjutalom is tartozik, amelyet

„a fizikában elért kiemelkedő teljesítményért” ítélnék  
oda. A díj ünnepélyes átadására 2009. október 15-én  
Londonban kerül majd sor, és Guth október 13-án tartja  
meg a 2009. évi Isaac Newton előadást.

Alan Guth 62 éves, New Jerseyben született és a  
Massachusetts Institute of Technology Victor F.  
Weisskopf fizikaprofesszora.

(<http://physicsworld.com/>)

## A legjobb egyetemek rangsora

Az *US News & World Reports* folyóirat közzétette a  
legjobb amerikai egyetemeknek, valamint a világ leg-  
jobb egyetemeinek a rangsorát.

A szakértők által megállapított rangsor szerint a  
legjobb tíz amerikai egyetem:

1–2. Harvard University, Princeton University; 3.  
Yale University; 4–7. California Institute of Techno-  
logy, Massachusetts Institute of Technology, Stanford  
University, University of Pennsylvania; 8–9. Colum-  
bia University, University of Chicago; 10. Duke Uni-  
versity.

A világ legjobb tíz egyeteme között már több brit  
egyetem is szerepel:

1. Harvard University, USA; 2. Yale University,  
USA; 3. University of Cambridge, Nagy-Britannia; 4.  
University of Oxford, Nagy-Britannia; 5. California  
Institute of Technology, USA; 6. Imperial College Lon-  
don, Nagy-Britannia; 7. University College London  
(UCL), Nagy-Britannia; 8. University of Chicago, USA;  
9. Massachusetts Institute of Technology, USA; 10.  
Columbia University, USA.

(<http://colleges.usnews.rankingsandreviews.com/>)

## HIREK AZ UNIVERZUMBÓL

### Kannibalizmus a lokális galaxishalmazban is

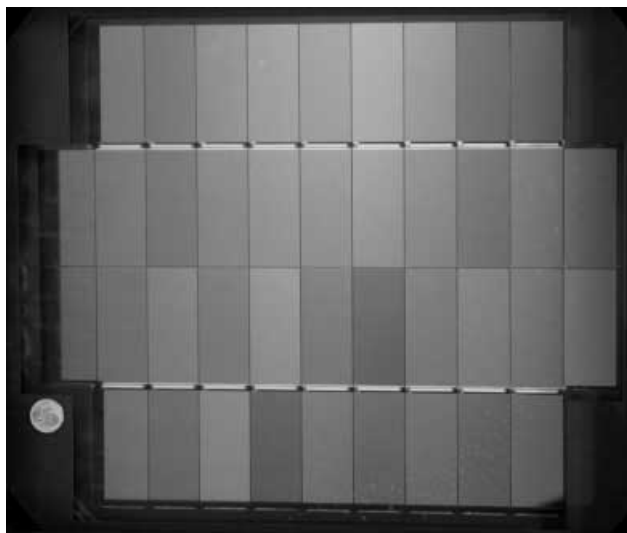
Egy új kutatás szerint a távoli galaxisok körében gyak-  
ran megfigyelt kölcsönhatási forma, a bekebelezés  
szűkebb környezetünkben, a Lokális csoportban is  
működik. A nagy falánk az Andromeda-köd.

Egy népes nemzetközi kutatócsoport a 2,5 millió  
fényévre található Andromeda-ködot (M31) vizsgálta  
a 3,6 méteres kanadai–francia–hawaii-i távcsövet (Ca-  
nada–France–Hawaii Telescope, CFHT) és annak Me-  
gaCam/MegaPrime elnevezésű digitális kameráját

használó program keretében. A felmérés egyedülálló  
a maga nemében, ugyanis egy körülbelül 1 millió  
fényév átmérőjű területnek megfelelő égboltrészt  
vizsgáltak át, amelynek eredményeként az egy égbolt-  
területről valaha is készült legszélesebb és „legmé-  
lyebb” áttekintő képet kapták.

A felmérés azt jelzi, hogy az M31 korábban már el-  
nyelte néhány közeli, kisebb társát. A galaxisok növe-  
kedésének elmélete szerint ez a folyamat valóban a

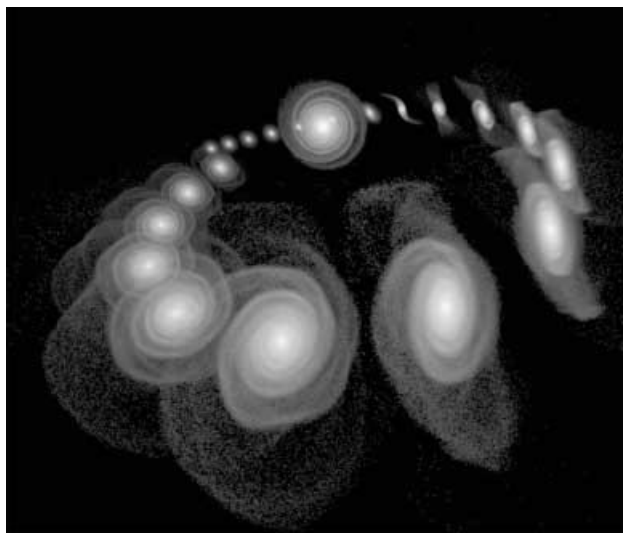




A 3,6 méteres CFHT-n üzemelő MegaCam kamera, amelynek 40 darab, egyenként 9,5 megapixeles CCD chipje összesen 377 millió pixelen detektálja a vizsgált objektumok fényét. (© Canada–France–Hawaii Telescope / 2003)

kisebb kísérők bekebelezésével zajlik. A galaktikus kannibalizmusra azonban rendkívül nehéz bizonyítékokat találni, ugyanis a vizsgálandó struktúrák gyakran nagyon halványak, detektálásukat pedig az is bonyolítja, hogy a bekebelező galaxis fényes korongjánál akár százszor nagyobb területet is át kell(ene) vizsgálni a nyomaik után kutatva. Az új vizsgálatok – amelyek során először sikerült ilyen mélységig feltérképezni egy galaxis külső területeinek struktúráit – azonban lehetővé teszik a növekedési elméletet alátámasztó bizonyítékok feltárását. Sőt, *Mike Irwin* (University of Cambridge) szerint az M31 külvárosának struktúrái azt is jelzik, hogy bekebelezési folyamatok ma is zajlanak.

A kutatók szerint az M31 galaxis legkülső részein található csillagok nem keletkezhetek magában az Androméda-ködben, ugyanis a középponttól ilyen távol a gáz sűrűsége nem elegendő a létrejöttükhöz.



A Triangulum-galaxis lehetséges pályája az Androméda-köd körül. Az M31 valószínűleg el fogja nyelni az M33 galaxist, így ez utóbbi hozzá fog járulni nagyobb társa növekedéséhez. (© University of Cambridge)

Ez pedig erősíti azt a feltételezést, hogy egy másik, kisebb galaxisból maradtak vissza, amit az M31 a nem is túl távoli múltban szakított részeire, illetve, hogy az Androméda-köd ma is az expanzió állapotában van.

További említésre méltó eredmény, hogy az M31 következő áldozata valószínűleg a Triangulum-galaxis (M33) lesz, sőt a két objektum közötti kölcsönhatás már zajlik is. *Scott Chapman* (University of Cambridge) szerint végül teljesen össze fognak olvadni. A dolog ironiája tehát, hogy a galaxisok szétesése és formálódása kéz a kézben zajlik, előbbi folyamat nélkül nincs az utóbbi sem.

Az eredményeket részletező szakcikk a *Nature* magazin 2009. szeptember 3-i számában jelent meg.

Forrás: Astronomy Now Online 2009.09.03.,  
arXiv:0909.0398v1 [astro-ph.CO]

*Kovács József*, <http://hirek.csillagaszat.hu>

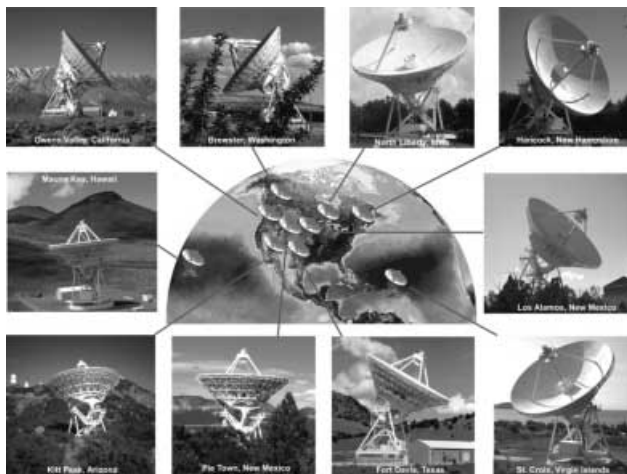
## Így görbül a tér a Nap körül

Rádiócsillagászati módszerekkel az egyik legpontosabb mérést végezték el a Nap tömege által a téridőben okozott görbület mértékére vonatkozóan, újabb igazolását adva *Einstein* vonatkozó jóslatának.

A National Science Foundation kontinensnél is nagyobb méretű VLBA (Very Long Baseline Array) rádióantenna-rendszerével *Sergei Kopeikin* (University of Missouri) és kollégái az eddigi egyik legpontosabb mérést végezték el a Nap tömege által a téridőben okozott görbület mértékére vonatkozóan. Kopeikin szerint a görbület minél pontosabb meghatározása az egyik legfontosabb lépés azon ismeretek megszerzése irányában, amelyek elvezethetnek a 20. századi fizika két pillérének, az általános relativitáselméletnek és a kvantummechanikának közös alapra helyezéséhez, a gravitáció kvantumelméletének kidolgozásához, ami

a 21. század fizikájának vélhetőleg a legnehezebb, de valószínűleg a legizgalmasabb problémája lesz.

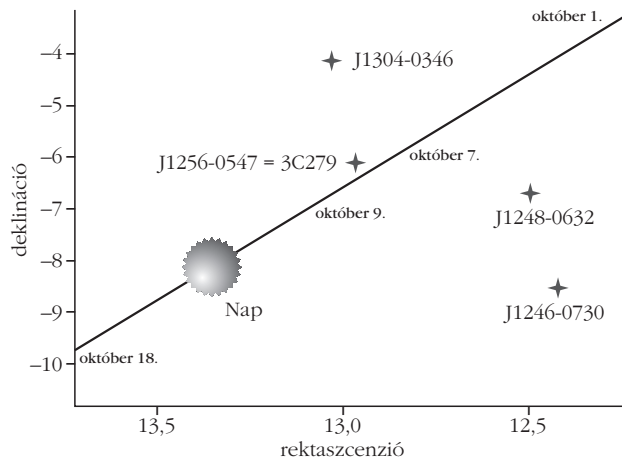
A Nap gravitációs terében történő fényelhajlást Albert Einstein jóslta meg, s azt végső formájában az 1916-ban közzétett általános relativitáselméletében publikálta. Az elmélet szerint nagy tömegű égitestek meggömbítik maguk körül a téridőt, s ebben a görbült metrikában a geodetikusok, amelyek mentén a fény (általában az elektromágneses sugárzás) terjed, már nem egyenesek, mint az általunk megszokott euklideszi térben. Ennek következménye, hogy a napkorong széle melletti égitestek nem pontosan ott látszanak, mint akkor, amikor csillagunk az égbolt más részén jár, hanem egy picit távolabb kerülnek a korongtól. Az elhajlás Einstein által jóslt mértéke kicsiny, mindössze 1,75 ívmásodperc. A kimérését célzó első kísér-



A VLBA antennarendszer elemei és azok földrajzi elhelyezkedése az észak-amerikai kontinensen, illetve Hawaii és a Virgin-szigeteken. (© National Radio Astronomy Observatory)

letre az 1919. május 29-i teljes napfogyatkozás során került sor. A *Frank Dyson* és *Arthur Eddington* által szervezett és vezetett expedíciók a braziliai Sobralból és a nyugat-afrikai partok előtt fekvő Príncipe szigetről követték nyomon az eseményt. A közben, illetve a néhány hónappal korábban és később készített lemezekon kiválasztott csillagok pozíciójának eltérését kimérve Eddington az Einstein által jósolt értékhez nagyon közeli eredményt kapott, így az effektust, s ezzel az egész elméletet bizonyítottnak tekintette. A fizikatankönyvek által az ebben a szellemben közölt szokásos egy mondat mögé tekintve, s a történetben jobban elmélyülve azonban már kétségeink is támadhatnak, hogy Eddingtonék a korabeli eszközökkel, kedvezőtlen időjárási körülmények között rögzített lemezek alapján kimérhették-e a rendkívül kicsiny effektust. Természetesen ez egyáltalában nem kisebbíti Eddingtonnak a relativitáselmélet lelkes propagálásával szerzett érdemeit.

A téridő görbületét egy úgynevezett  $\gamma$  paraméterrel jellemzik, amelynek értéke az Einstein-féle elmélet alapján egzaktul 1. Kopeikin szerint a várt értéktől való milliomodnyi eltérés is jelentős hatással lehet a



A Nap pályája a négy mért kvazár előtt 2005 októberében. (© National Radio Astronomy Observatory)

gravitáció és a kvantummechanika kidolgozandó egyesített elméletére, ezen keresztül pedig nagy tömegű objektumokhoz – például fekete lyukakhoz – közel bekövetkező események előrejelzésére. Rendkívül fontos tehát a  $\gamma$  értékének minél pontosabb meghatározása. Ennek érdekében a kutatók a VLBA antennáival négy távoli kvazár pozícióját mérték 2005 októberében, amikor a Nap a közelükben haladt el. A rádióhullámok elhajlása miatt a kvazárok helyzete kissé különbözött attól a pozíciótól, amit akkor mértek, amikor a Nap az adott égbolterülettől messze tartózkodott. A nagy pontosságú pozícióadatokat szolgáltató interferometrikus mérésekből származtatott eredmény igen jól egyezik a  $\gamma$  várt értékével:  $\gamma = 0,9998 \pm 0,0003$ . *Edward Fomalont* (NRAO) szerint még több hasonló megfigyeléssel, illetve az ezeket kiegészítő – például a Cassini szonda által elvégzett – mérések segítségével ez a pontosság még négy nagyságrenddel javítható, elérve ezzel a  $\gamma$  paraméter valaha mért legpontosabb értékét.

Az eredményeket részletező szakcikk az *Astrophysical Journal* című folyóiratban jelent meg.

Forrás: NRAO Press Release 2009.09.01.

arXiv:0904.3992v1 [astro-ph.CO]

Kovács József, <http://hirek.csillagaszat.hu>

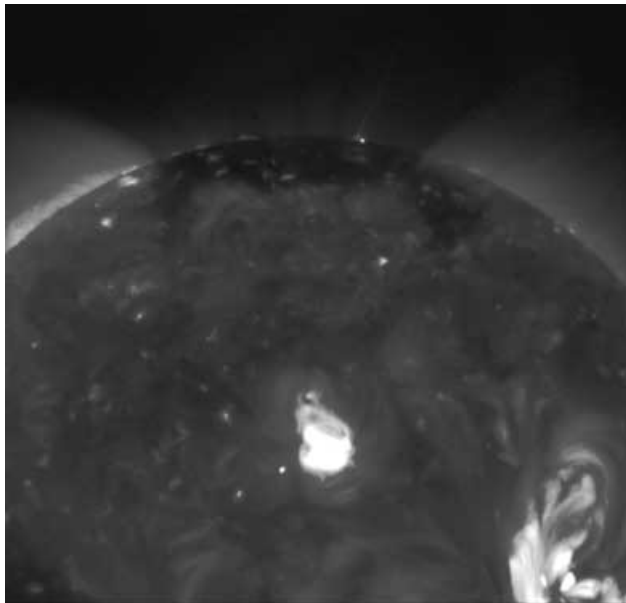
## Nanoflerek fűtik a napkoronát?

Az úgynevezett nanoflerek adhatnak választ a napfizika régóta megválaszolatlan kérdésére: milyen folyamat fűti a Nap koronáját több millió fokos hőmérsékletre?

A Nap atmoszférájának külső része, a napkorona a felszín felett nagy magasságban feszülő gázhurkok együttese. Ezek a hurkok kisebb, egyedi mágneses szálak kötegeiből állnak, s hőmérsékletük eléri a millió fokot, holott a felszín, a fotoszféra hőmérséklete mindössze 5700 K körüli. A jelentős eltérés magyarázata, a napkorona fűtési mechanizmusának feltárása régóta foglalkoztatja a napfizikusokat. Az egyik magyarázat az Alfven-hullámok általi energiatranszporton alapul, ezen a területen magyar kutatók is jelentős

eredményeket értek el. A japán Hinode mesterséges hold új észlelései alapján a mágneses erővonalkötegekben megjelenő kicsi, de gyorsan lezajló energiatörések, a nanoflerek lehetnek felelősek az alacsonyabban fekvő fotoszférához viszonyított óriási hőmérsékletért.

Az új eredményekről *James Klimchuk* (Goddard Space Flight Center's Solar Physics Laboratory, Greenbelt) számolt be az IAU (Nemzetközi Csillagászati Unió) 2009. augusztusi közgyűlésén Rio de Janeiróban. Klimchuk rámutatott arra, hogy a koronahurkok a napkorona alapvető építőelemei, amelyek alakját a mágneses tér határozza meg, ami egyben irányítja is a

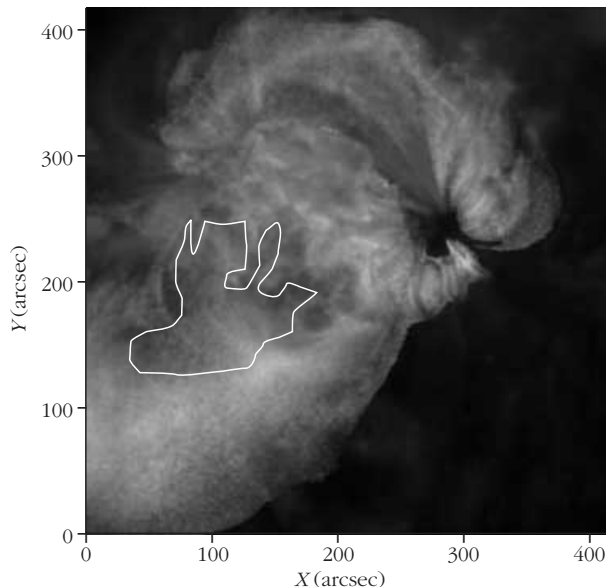


Egy aktív terület a Napon a Hinode műhold röntgenteleszkópjának felvételén. (© NASA)

forró plazmát. A nanoflerek energiájának is a mágneses tér a forrása. Az elképzelések szerint a mágneses térben felhalmozódott energia akkor szabadul fel, amikor a mozgó töltések által képviselt elektromos áramok ívei instabillá válnak.

A napfizikusok korábban úgy gondolták, hogy a napkorona magas hőmérsékletét valamilyen folyamatosan működő fűtési mechanizmus magyarázhatja. A koronahurkok hossza és hőmérséklete alapján azonban ehhez alacsonyabb sűrűség lenne szükséges, mint amit az új észlelések adnak ezen objektumokra. A nanoflerek mint alternatív magyarázat segítségével ugyanakkor az észlelt magasabb sűrűség is alátámasztható.

Az észlelési eredményeket elméleti modellek is alátámasztják. Klimchuk és munkatársai szimulálták az energiakitöréseket, illetve azt, hogy a hurkok különböző műszereken keresztül milyen képet mutatnának. Modelljük teszteléséhez a Hinode röntgenteleszkópját (XRT) és extrém ultraibolya képalkotó spektrométerét (EIS) használták, amelyek 10, illetve 5 millió fokos plazmahőmérsékletet jeleztek. Klimchuk szerint



A hamisszínes hőmérsékleti térkép az AR10923 jelű, a napkorong középpontjának közelében észlelt aktív területet mutatja. A kék szín 10 millió fokhoz közeli hőmérsékletű plazmát jelöl – a fekete-fehér képen egy ilyen tartományt körbekerítettünk. (© Reale és tsai.)

ilyen magas hőmérsékletet csak nagyon impulzív kitörések okozhatnak.

A rendkívül magas hőmérsékletű plazma azonban nagyon gyorsan hűl a hideg felszín felé áramló hő okozta energiavesztés miatt. Ez az alacsonyabban lévő gázt körülbelül 1 millió fokra fűti, s ez a felmelegedett, fölfelé táguló koronakomponens az, amit hosszú évek óta észlelünk. Klimchuk és munkatársai szerint tehát a napkorona magas hőmérsékletéért a Hinode észlelései által felfedett szuperforró, lefelé áramló plazmából származó energia felelős, amelyet viszont a nanoflerek fűtenek fel több millió fokos hőmérsékletre. A megfigyelések azt is megerősítik, hogy a nanofler-tevékenység a Nap aktív területein mindenhol gyakori. A jelenség további részleteit a NASA Solar Dynamics Observatory műholdja tárhatja fel, amelynek felbocsátását 2009 novemberére tervezik.

Forrás: Astronomy Now Online 2009.08.17.

arXiv:0904.0878v1 [astro-ph.SR]

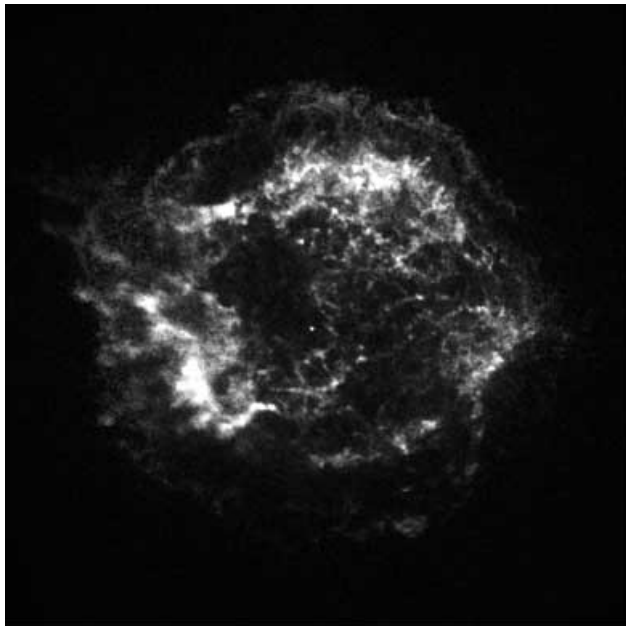
Kovács József, <http://hirek.csillagaszat.hu>

## Egy évtizede vizsgálódik a Chandra űrtávcső

*A távcső, amely feltárta előttünk a Világegyetem dinamikus, nagy energiájú oldalát – szemelgetés a NASA röntgenobszervatóriumának legszebb képeiből és legnagyobb felfedezéseiből.*

Tíz évvel ezelőtt, 1999. augusztus 19-én a NASA frissen felbocsátott röntgen-űrtávcsöve, a Chandra (amelyet a nagy indiai asztrofizikus, *Subrahmanyan Chandrasekhar* után neveztek el) elkészítette első hivatalos tesztképét, s ezzel megkezdődött egy évtizede tartó, sikeres karrierje, amelynek hatására rengeteg új dolgot tudtunk meg a Világegyetemről.

A Chandra a NASA négy nagy űrobszervatóriumának egyike (az 1990-ben felbocsátott Hubble, a már nem létező Compton gamma-űrtávcső, valamint a 2003 óta működő Spitzer infravörös-űrtéleszkóp mellett), amely – a szintén 1999-ben felküldött, európai XMM-Newton távcső mellett – az eddigi legjelentősebb csillagászati röntgeneszköz. A NASA emlékülésekkel és képösszeállításokkal ünnepli egyik legsikeresebb missziója indulásának kerek évfordulóját – utóbbiakból mutatunk be most mi is egy rövid válogatást.

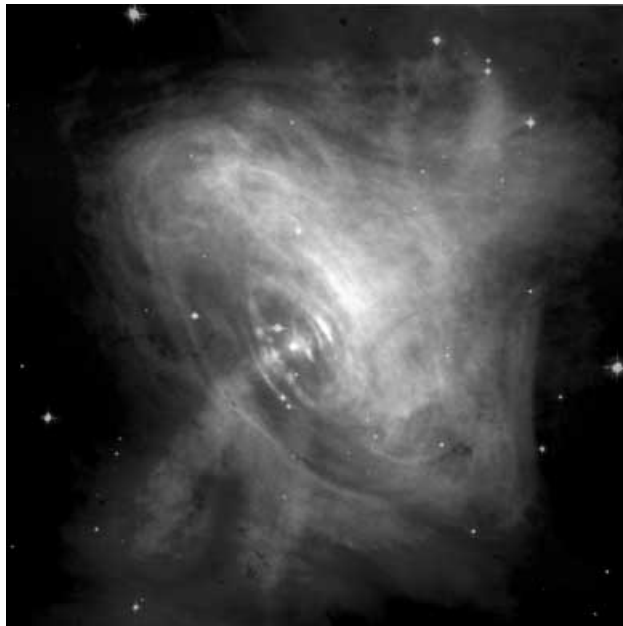


A Chandra első felvétele, rajta a Cas A jelű szupernóva-maradvány, amelynek közepén jól kivehető a csillagrobbanás után visszamaradt kompakt objektum (neutroncsillag vagy fekete lyuk) sugárzása (© NASA és Chandra Science Center)

A Chandra első publikus felvételét a Cas A jelű szupernóva-maradványról készítette – az ilyen típusú objektumok azóta is fontos részét képezik az űrtávcsővel végzett kutatási munkáknak. A Chandrával megdöbbentő részletességgel figyelhetők meg a csillagrobbanások által kiváltott események: a csillagról ledobódó, több ezer km/s sebességgel táguló gázanyag és a külső, csillagközi anyag ütközése révén rendkívül forró (több tízmillió fokal) gázbuborékok alakulnak ki, amelyek fényesen világítanak a röntgentartományban. Sőt, az egyes elemekre jellemző röntgenspektrumok felvételével és azonosításával a forró gázfelhők összetétele is meghatározható.

A különböző hullámhossztartományban működő távcsövek képeinek kombinálása újabb nagyszerű lehetőséget adott a csillagászok kezébe, hogy alaposabban feltárhassák az egyes égitestek titkait. Vegyük például az első ismert szupernóva-maradványt, a Rák-ködöt: a Hubble és a Chandra képeinek felhasználá-

A Tejútrendszer központi tartománya a Chandra „szemével” – a közepén lévő, fényes fehér folt helyén található Galaxisunk szupernehéz központi fekete lyuka (© NASA és Chandra Science Center)



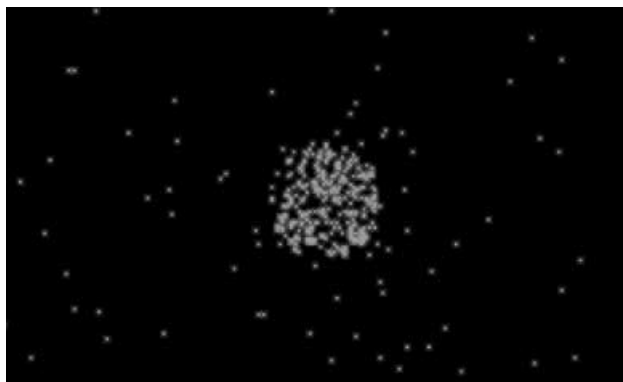
A Hubble-űrtávcső és a Chandra kompozit képe a Rák-ködről (© NASA és Chandra Science Center)

sával sikerült megfigyelni, hogyan hat kölcsön a központi pulzár és a gázanyag, s jól láthatóvá vált a nagyenergiájú részecskék gyűrűszerű eloszlása is.

A röntgen-űrtávcső számos egzotikus objektumot vizsgált a közeli kettőscsillagoktól a távoli aktív galaxismagokig, s olyan kérdések megválaszolásához vitt minket közelebb, mint az Univerzum fejlődése, vagy a sötét anyag jelenléte. A legnagyobb felfedezések azonban a fekete lyukak vizsgálatához köthetők – a fekete lyukak környezetében örvénylő, nagyenergiájú részecskék sugárzásának, valamint az erős mágneses mező miatt kialakuló anyagkilövellések megfigyelése egyrészt erős bizonyítékot szolgáltat az egzotikus objektumok létezésére, másrészt jó lehetőséget ad a fekete lyukak működésének megértéséhez.

A „normál” fekete lyukak mellett a Chandra révén a galaxisok gigantikus központi fekete lyukai (illetve ezek környezetei) is megfigyelhetővé váltak, mind Tejútrendszerünkben, mind a távoli csillagvárosokban. Az űrobszervatórium találta az első bizonyítékot arra is, hogy egy galaxis magjában akár két szuper-

Ismeretlen ismerős – a Mars a Chandra röntgenképén (© NASA és Chandra Science Center)



nagy tömegű fekete lyuk is létezhet (ami valószínűleg egy korábbi galaxisütközés eredménye).

A távoli Univerzum csodái mellett a Chandra közvetlen kozmikus környezetünkről is tudott új információkkal szolgálni. Segítségével például jól láthatóak a Nap irányából érkező, nagyenergiájú részecskék, amint becsapódnak az egyes bolygók légkörébe, s ezáltal a planéták atmoszférája és mágneses tere is jobban vizsgálhatóvá válik.

A röntgenszállagászat mintegy fél évszázados története során látványos műszaki és tudományos fejlődésnek le-

hettünk tanúi, s ennek remek példája a Chandra űrtávcső. Míg az első jelentősebb röntgentávcsővel, a hetvenes években működő Uhuruval néhány száz röntgenforrást sikerült azonosítani, addig a Chandra már mintegy 9500 megfigyelésénél jár – s teszi mindezt az említett elődjénél százezerszer jobb érzékenységgel. A NASA tervei alapján a Chandra űrteleszkóp még legalább tíz évig működni fog, s ezzel akár a jelenlegi csúcstartó, a Hubble teljesítményét is túlszárnyalhatja majd.

Forrás: NASA híroldal, 2009.08.19.

Szalai Tamás, <http://hirek.csillagaszat.hu>

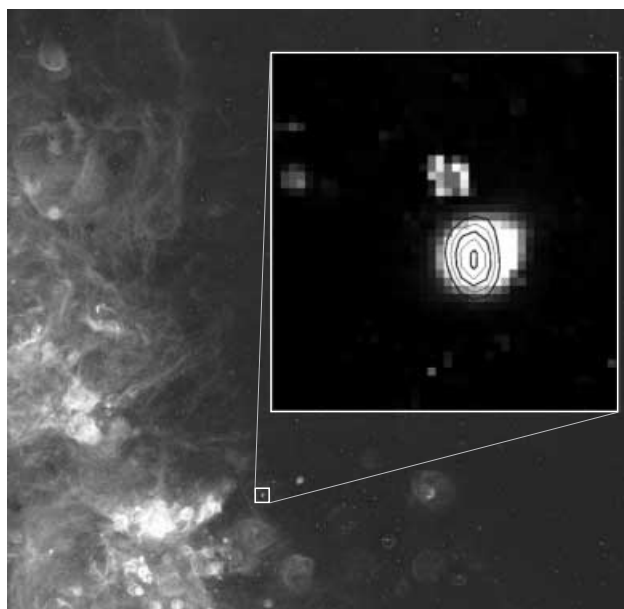
## Új típusú objektumok – szuper planetáris ködök

Ausztrál és amerikai kutatók 15 olyan erős rádióforrást találtak a Magellán-felhőkben, amelyek egybeesnek ismert planetáris ködökkel. A felfedezés teljesen váratlan.

A Miroslav Filipović (University of Western Sydney) által vezetett kutatócsoport a Tejútrendszer kísérőit, a Magellán-felhőket vizsgálta a CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) ausztrál rádióteleszkópjaival. A csoport eredményei szerint 15 rádióforrás pozíciója jó egyezést mutat optikai teleszkópokkal végzett korábbi észlelések alapján már jól ismert planetáris ködök helyzetével.

A planetáris ködök életük végéhez közeledő csillagok körüli por- és gázburkok, amelyek anyaga a csillagról távozott el korábban. Ezek tömege egyébként a Napéval összemérhető, de inkább annál kisebb, tipikusan 0,3 és 0,6 naptömeg közé esik. A Filipović és munkatársai által azonosított objektumok kivétel nélkül rendkívül erős rádióforrások (ezért is sikerült őket detektálni). Elképzelhető, hogy a normál planetáris ködök Napénál jóval nagyobb tömegű csillagok körüli, régen megjósolt és régóta keresett megfelelői, de mindenképpen segíthetnek a nagyobb, 1 és 8 naptömeg közötti csillagok körüli hiányzó planetáris ködök kérdésének tisztázásában. Mind a 15 detektált forrás esetében a központi csillag tömege ebbe a tartományba esik, míg a ködök tömege a 2,6 naptömeget is eléri.

Filipović szerint a források detektálása a rádióteleszkópok mai generációjával egyáltalában nem is volt várható, ezért a felfedezés őket is meglepetésként érte. Mintegy 3 évig nem is hozták nyilvánosságra eredményüket, amíg teljesen nem voltak biztosak abban, hogy valóban planetáris ködökről van szó. A 15 objektum közül néhánynak a luminozitása akár háromszorosan is meghaladja bármelyik tejútrendszerbeli planetáris köd intenzitását, így a kutatók szuper planetáris ködöknek nevezték el az égitesteket. A Ma-



A nagy képen a Kis Magellán-felhő egy része látható a 0,6 méteres Curtis Schmidt teleszkóp (University of Michigan/CTIO) felvételén. A négyzet a JD 04 katalógusjelű szuper planetáris ködöt jelöli, a kinagyított inzertben az Australia Telescope Compact Array mérései alapján a terület rádiókontúrjai is láthatók. (© Royal Astronomical Society)

gellán-felhők nagy távolsága miatt részletes tanulmányozásuk azonban csak a következő generációs rádióteleszkópokkal, illetve hálózatokkal – például a Nyugat-Ausztráliában tervezett SKA (Square Kilometre Array) hálózattal – lesz csak lehetséges.

Az eredményeket részletező szakcikk a *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* című folyóiratban fog megjelenni.

Forrás: ScienceDaily 2009.08.16.

arXiv:0906.4588v1 [astro-ph.CO]

Kovács József, <http://hirek.csillagaszat.hu>

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

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

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

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

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

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

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

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



# Pazar képek az ismét aktív Hubble-űrteleszkóptól

Néhány hónap szünet után, amelynek során elvégezték a szükséges javításokat és új műszereket üzemeltettek be, a Hubble-űrteleszkóp látványos képekkel bizonyította, hogy újra kész a folyamatos munkára.

A 2009. májusi, STS-125 jelzésű szervizküldetés során elvégzett munkák eredményeként a Hubble-űrteleszkóp újra kész a teljes értékű megfigyelések végzésére. A szervizelés során két korábbi műszert, az ACS-t (Advanced Camera for Surveys) és az STIS-t (Space Telescope Imaging Spectrograph) megjavították, illetve két vadonatúj berendezést is installáltak, ezek a COS (Cosmic Origins Spectrograph) és a WFC3



A főként tiltott színekpivonalakra érzékenyített szűrőkön keresztül rögzített felvételekből montírozott kép a 7500 fényévre lévő Carina-köd egy részletét, egy kilövellést mutat. (© NASA, ESA és a Hubble SM4 ERO Team)

(Wide Field Camera 3). Ez utóbbi elődje, a WFPC2 (Wide Field Planetary Camera 2) által készített képpel búcsúztak el a szervizelés idejére az űrteleszkóptól, az újraindulásról szóló bejelentést pedig a hat műszer közül négy új észlelési eredményeivel, például a WFC3 pazar képeivel fűszerezték a baltimore-iak. Közölték azt is, hogy a három hónapos kalibrációs és tesztidőszak után a NICMOS (Near Infrared Camera and Multi-Object Spectrometer) infravörös kamera és multiobjektum spektrométer is működésre kész.

Ed Weiter, a NASA egyik társigazgatója szerint a kijavított és új műszerek a Hubble már eddig is kivételes teljesítményét még tovább fokozzák, s az obszervatórium a spektrum széles tartományában, az ultraibolyától a közeli infravörösig képes részletesen tanulmányozni a Világegyetem legkülönbözőbb objektumait. Néhány terület, ahol az új lehetőségeket kihasználva lényeges előrelépés következhet be: a Kuiper-öv objektumainak vizsgálata, bolygók kialakulásának tanulmányozása más csillagok körül, exobolygók légköri ké-



Az NGC 6302 katalógusjelű, a Földtől 3800 fényévre található, s a Skorpió csillagképben megfigyelhető planetáris köd alakja egy kiterjesztett szárnyú lepkére emlékeztet, innen ered a Pillangó-köd elnevezés is. A felvétel hat, az ionizált oxigén, nitrogén és kén tiltott, illetve az ionizált hélium és a hidrogén színekpivonalaira érzékenyített szűrőkön keresztül rögzített képek hamisszínes számítógépes kombinációja. (© NASA, ESA és a Hubble SM4 ERO Team)

miai összetételének meghatározása, az Univerzum eddigi legrészletesebb és „legmélyebb” közeli-infravörös térképének előállítás, ami a Világegyetem 500 millió éves korában létező bégigalaxisokat is felfedhet, illetve a sötét energia tanulmányozása.

A következő képek mindegyike a WFC3 kamerával készült felvételek számítógépes feldolgozásának eredményeként jött létre, s különleges objektumokat bemutatva érzékelteti az új berendezés teljesítőképességét.

Forrás: STSci-2009-25

Kovács József, <http://hirek.csillagaszat.hu>

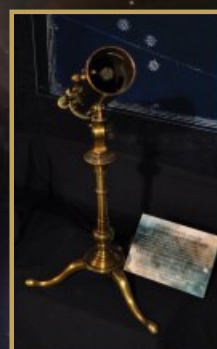
A Földtől 16 ezer fényévre található  $\omega$  Centauri gömbhalmaz hamisszínes képe U, B, V és I szűrőkön keresztül rögzített felvételekből összeállítva. (© NASA, ESA és a Hubble SM4 ERO Team)





# Galileitől az űrtávcsőig

2009. augusztus 25. – 2009. november 22.  
Magyar Műszaki és Közlekedési Múzeum



| Galilei elsőként használta a<br>televíziót csillagászati megfigyelésekre                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Kepler első<br>két tévedése                                                                                                                                            | Kepler<br>harmadik tévedése                                                                                                                                                | Hogyan készült<br>Szentmária Györgynek a térkép?                                                                                                                                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Galileo Galilei (1564-1642) 1609-ben készített elvontan a távcsővet, amelyet 1610-ben a csillagok megfigyelésére használt fel. Ezzel a távcsővel felfedezte a Jupiter holdjait, a Szaturnusz gyűrűit, és a Tejútrendszer csillagait. A távcsővel készített rajzok alapján készített térképeket, amelyek a csillagok elhelyezkedését és mozgását mutatták meg. | Kepler első tévedése: A Nap körül keringő bolygók pályáit köröknek tekintette. Ez a tévedés az 1609-es évi munkájában jelent meg, amikor a Jupiter holdjait vizsgálta. | Kepler harmadik tévedése: A Nap körül keringő bolygók pályáit köröknek tekintette. Ez a tévedés az 1609-es évi munkájában jelent meg, amikor a Jupiter holdjait vizsgálta. | Hogyan készült Szentmária Györgynek a térkép? A térkép a 1609-es évi munkájában jelent meg, amikor a Jupiter holdjait vizsgálta. A térkép a csillagok elhelyezkedését és mozgását mutatta meg. |
| 1609                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 1619                                                                                                                                                                   | 1656                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                |

