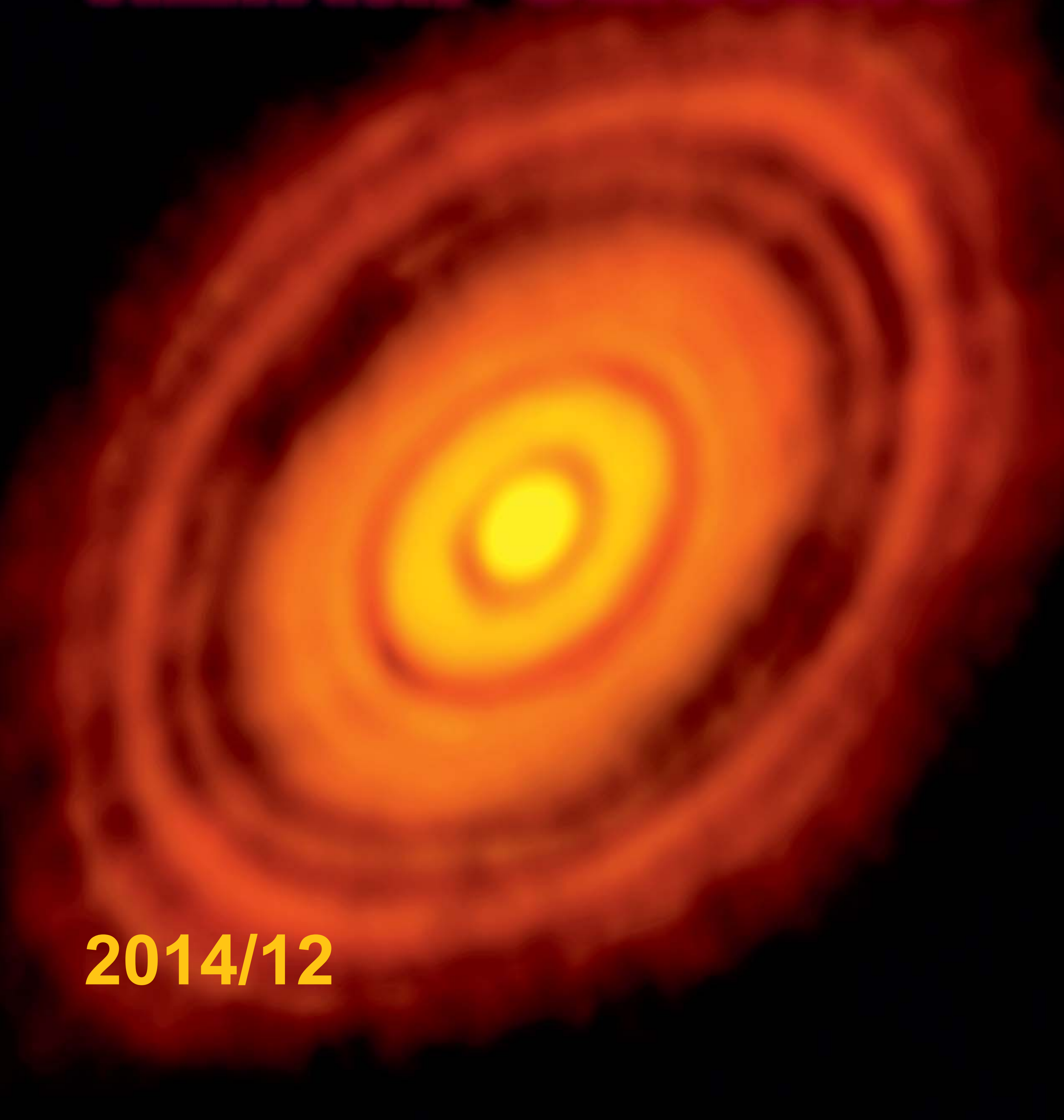
fizikai szemle



2014/12

Az Európai Fizikai Társulat (EPS) kezdeményezése elnyerte az UNESCO és rajta keresztül az ENSZ támogatását arra, hogy a **2015. év, a Fény Nemzetközi Éve** legyen. A világeseménnyé váló kezdeményezéshez Magyarország is örömmel csatlakozik.

A **Fizikai Szemle** a fény fizikájáról szóló érdekes és sokakhoz szóló kéziratok beküldésére kéri olvasóit. Témát nem nehéz találni, hiszen a magyar optika története változatos, kiemelkedő mozzanatokban gazdag:

- A Petzvál-lencse a 19. század közepén született.
- A Magyar Optikai Művek 1876-ban jött létre.
- Jánossy Lajos a múlt század közepén kezdeményezte a hamarosan nemzetközi figyelmet keltő optikai kutatásokat a KFKI-ban.
- 1971-ben Gábor Dénes kapta a fizikai Nobel-díjat a holográfiáért.
- A múlt században itthon fogalmazódott meg a szegedi attoszekundumos lézer (ELI-ALPS) első ötlete, megvalósítása századunk feladata.

És nem csak optikatörténet van.

A spektroszkópia, a poláros fény, a világítástechnika impozáns eredményei mind a fényről szólnak.

De van fényszennyezés is: a csillagos ég látványáért lassanként űrturistává kell lennünk.

A fénnyel kapcsolatos hazai események, programjavaslatok kidolgozója, szervezője és koordinátora, a Magyar Tudományos Akadémia elnöke, Lovász László akadémikus által felkért, tudósokból, kutatókból, művészekből és tanárokból álló 26 fős Programbizottság, amelynek elnöke Kroó Norbert akadémikus, az ELFT tiszteletbeli elnöke.

A Programbizottság, javaslatot tesz az egész országot érintő eseményekre, rendezvényekre, tevékenységekre. A javasolt programokról, ez év végétől az mta.hu honlapon tájékozódhatnak az érdeklődők.

A háttérben Bruce Munro „A fény mezeje” (Field of light) installációja, Waddesdon Manor, Egyesült Királyság, 2013 és Härtlein Károly villogó fénybot kísérlete.

Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

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

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat havonta megjelenő folyóirata.
Támogatók: a Magyar Tudományos Akadémia Fizikai Tudományok Osztálya, az Emberi Erőforrások Minisztériuma, a Magyar Biofizikai Társaság, a Magyar Nukleáris Társaság és a Magyar Fizikushallgatók Egyesülete

A folyóirat e-mail címe:
szerkesztok@fizikaiszemle.hu
A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:
http://www.fizikaiszemle.hu

A címlapon:
Bolygókeletkezés – meglepetéssel
A (szub)milliméteres hullámhosszakon működő ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) interferométerrel készített felvételen a bolygókeletkezés sosem látott részletei tűnnek elő. A HL Tauri nevű, tőlünk 450 fényévre levő fiatal változócsillag körüli koncentrikus körökben egy-egy leendő bolygó anyaga található. Az egymillió éves csillag körül keringő valamennyi gyűrűben a bolygókezdemények rövid időn belül egy-egy bolygóvá állnak össze. A részletgazdag képet meglátva a csillagászok azon is elámultak, hogy egy ennyire fiatal csillag körül már ilyen előrehaladott állapotú a bolygórendszer kialakulása. (Forrás: ALMA – ESO/NAOJ/NRAO)

TARTALOM

KVANTUMGRAVITÁCIÓ ÉS AZ ASZIMPTOTIKUS BIZTONSÁG ELVE

Nagy Sándor
Debreceni Egyetem, Elméleti Fizikai Tanszék

A fizikában négy alapvető kölcsönhatást ismerünk, az elektromágneses, a gyenge, az erős és a gravitációs kölcsönhatást. Az első 3 kölcsönhatás a Standard modell keretein belül egyesíthető, a gravitációs kölcsönhatást pedig az általános relativitáselmélet segítségével írhatjuk le. A Standard modellben az elemi részecskékhez (kvantum)teret rendelünk. A terek kölcsönhatását csatolási állandók jellemzik, ilyen például az α finomszerkezeti állandó, ami az elektromágneses kölcsönhatás erősségét határozza meg, vagy az erős kölcsönhatást jellemző kvark-gluon csatolás. A gravitációs kölcsönhatás erősségét a G Newton-állandó szabályozza.

A 20. századi fizika két legfontosabb vívmánya, a kvantumelmélet és a relativitáselmélet egyesítése a modern fizika megkerülhetetlen problémája. Az egyesítés egyik lehetséges modellje a kvantum Einstein-gravitáció (QEG), ahol a kvantumtér szerepét most nem az elemi részecskék, hanem maga a téridőmetrika játssza [1]. A modellben a metrika önmagával is kölcsönhat, ennek erősségét a valóssággal összhangba hozható legegyszerűbb modellekben a Newton- és a kozmológiai állandó írja le.

A csatolások értéke a kölcsönhatás energiájának függvényében változhat. Ezt a változást a funkcionális renormálási csoport (röviden RG) módszerrel követhetjük nyomon [2]. Az alább ismertetendő számítási eredmények keretei között az RG-módszer segítségével megmutatható, hogy nagy energián a Newton- és a kozmológiai állandó értéke nő, de van egy felső határ, amely fölé nem nőhetnek, ezt a viselkedést nevezzük *aszimptotikus biztonságnak*. Alacsony energián az állandók értékére szintén találhatunk korlátot. A továbbiakban azt is vizsgáljuk, hogy e tulajdonság megléte esetén milyen fizikai következmények jelentkeznek a mérésekkel megismerhető energiatartományokban.

A gravitációs kölcsönhatás

Klasszikus mechanikában az egymástól r távolságra lévő m és M tömegű testek közötti gravitációs kölcsönhatást a klasszikus fizika Newton-törvényei alapján a következő gravitációs potenciállal jellemezzük:

$$V = -G\frac{m\,M}{r}, \tag{1}$$

ahol G a Newton-állandó, $G = 6{,}67\cdot 10^{-11}$ m^3/kg s^2. A törvény a gravitációs kölcsönhatás makroszkopikus tartományában nagyon jól működik, például a bolygómozgást nagy pontossággal írja le. A klasszikus elektrodinamikában a töltött részecskék között ható Coulomb-kölcsönhatás hasonló alakú az általános tömegvonzás (1) törvényéhez, bár ezek más-más alapvető összefüggések (a Maxwell-egyenletek, illetve az Einstein-egyenletek) effektív megnyilvánulásai.

A newtoni mechanika a Merkur perihélium-vándorlását viszont már hibásan adja meg, amely az elmélet alkalmazhatóságának határát jelzi. Ennek pontos leírása az általános relativitáselmélettel lehetséges. Az Einstein-egyenlet alakja

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}\,g_{\mu\nu}\,R + \Lambda\,g_{\mu\nu} = 8\,\pi\,G\,T_{\mu\nu}, \tag{2}$$

ahol Λ a kozmológiai állandó, kis pozitív értéke van: $\Lambda \approx 10^{-35}$ s^2, $g_{\mu\nu}$ a metrikus tenzor (amelyre a $g_{00} < 0$ konvenciót használjuk), $R_{\mu\nu}$ és R a görbületet jellemző tenzori és skalár mennyiségek. A téridőgörbület forrása a $T_{\mu\nu}$ energia-impulzus tenzor, amely az elemi részecskékből és a köztük lévő kölcsönhatást leíró sugárzási térből felépülő anyag járuléka. Az Einstein-egyenlet anyagmentes esetben ($T_{\mu\nu} = 0$) a kozmológiai állandó nélkül táguló Világegyetemet ír le (*de Sitter* megoldása). *Einstein* a Λ-t éppen azért vezette be, hogy világnézeti várakozásainak megfelelően egyenlete állandósult állapotú (statikus) Világegyetemet adjon. Az Einstein-egyenlet bal oldalán lévő tagokhoz továbbiak adhatók, amelyek a görbület tetszőleges függvényei lehetnek, és erősségüket újabb csatolások jellemezhetik. Az energia-impulzus tenzorban szereplő kölcsönhatások szintén eredményezhetnek további csatolásokat. Megjegyezzük, hogy az általunk észlelt kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás és a nagyléptékű galaxiseloszlási térképek leírására a Newton- és a kozmológiai állandó figyelembe vétele elengedhetetlenül fontos, azonban további releváns csatolás szerepeltetése nem indokolt a makroszkopikus mérettartományban.

Az Einstein-egyenlet ugyan szélesebb körben alkalmazható, mint a newtoni gravitációs törvény, azonban ennek is vannak hiányosságai. Egyrészt a (2) egyenlet bal oldalán klasszikus mennyiségek szerepelnek, míg a jobb oldalon a $T_{\mu\nu}$ kvantált elemi részekből áll. Ez azt mutatja, hogy a gravitációs kölcsönhatást is kvantálni kell ahhoz, hogy az Einstein-egyenlet egységesen csak kvantált mennyiségeket tartalmazzon. Másrészt az egyenlet fekete lyukak vagy az Ősrobbanás leírásánál szingulárissá válhat, azaz fizikailag értelmezhetetlen végtelen tagok jelenhetnek meg benne. A gravitáció kvantálása megoldhatja ezeket a problémákat.

A kutatás a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 Nemzeti Kiválóság Program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

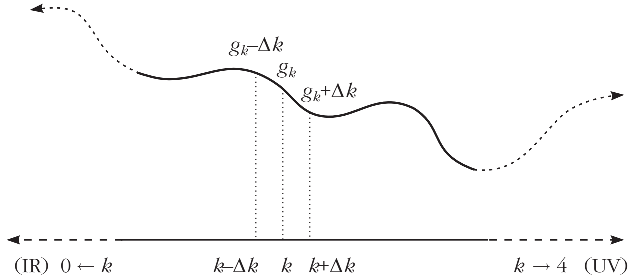
Szeretnék köszönetet mondani *Patkós Andrásnak* a kézirat elkészítésében nyújtott rendkívül értékes segítségéért és tanácsaiért.

A kvantum Einstein-gravitáció

A kvantum Einstein-gravitáció a gravitációs kölcsönhatás és a kvantumelmélet egyesítése. Egy klasszikus fizikai modellből konstruálunk kvantumfizikai modellt. Azt várjuk, hogy a gravitáció kvantumos jellege az úgynevezett Planck-hosszúság tartományában (ℓ_P = 1,62 · 10^{-35} m) jelentkezik, hasonlóan az elektrodinamikához, ahol az elektron Compton-hullámhosszának tartományában válik a klasszikus elektromágneses kölcsönhatás kvantumossá.

A klasszikus fizikában a részecske pályája a kezdeti feltételek ismeretében egyértelmű. Ez a kvantummechanikában úgy változik meg, hogy az átmeneti valószínűség meghatározásához az adott kezdeti és végállapot között minden lehetséges pályát figyelembe kell venni. Ezek egyforma súllyal, de különböző fázissal járulnak hozzá az átmenethez. Az egyes pályáknak a klasszikus trajektóriától való eltérései, mint kvantumingadozások (fluktuációk) vagy szabadsági fokok jelennek meg az elméletben, amelyeket figyelembe kell vennünk, ha valamilyen fizikai mennyiséget ki akarunk számolni. Hasonló történik a Young-féle kétréses kísérletben, ahol a forrásból kiinduló elektronok által az ernyőn alkotott interferenciaképet úgy kaphatjuk meg, ha feltesszük, hogy az elektronok a forrás és az ernyő közötti minden lehetséges pályát bejárnak. Valamilyen erőtér jelenlétében a különböző pályákat, amelyeket az elemi gerjesztések más-más sebességgel, azaz más-más hullámhosszal járnak be, osztályozhatjuk a k jellemző hullámszám szerint. A k skála neve a kvantumtérelméletben *renormalizációs skála*. A pályákat k csökkenő értéke szerinti sorba rendezhetjük. Keressük, hogy az egyes pályák miként járulnak hozzá az átmenetekhez! Ennek egyik lehetséges eszköze az RG-módszer, amely az elméletben megjelenő fluktuációk szisztematikus figyelembe vételére alkalmas. A módszerben a kölcsönhatást leíró csatolások skálafüggővé válnak, mert a nagy k értékkel jellemzett pályák figyelembe vétele hat a kis k-val jellemzett pályákon megvalósuló átmenetek erősségére. Az *1. ábrán* szemléltetjük, hogyan változik valamelyik g_k-val jelölt csatolás értéke a k skála csökkentésével. Ha a gravitációs kölcsönhatást kvantáljuk, akkor a fluktuációk szerepét a $g_{\mu\nu}$ metrikus tenzor helyről helyre változó értékeiből kialakuló térkonfigurációk adják, amelyeket a k energiaskála szerint csökkenő sorba rendeznek. A QEG-ben a csatolások szerepét a a Newton- és a kozmológiai állandó játssza. A

1. ábra. A csatolások skálázása.



klasszikus pálya egyenlete maga az Einstein-egyenlet, a kvantumfluktuációk pedig az Einstein-egyenlet megoldásához adhatnak korrekciót.

Az *1. ábra* alapján a csatolások a k skálától függnek. Pontosabb leírást akkor kapunk, ha minél több fluktuációt veszünk figyelembe. Realisztikus modellekben a csatolások értékét valamely $k = k_{\max}$ nagy (UV) energián kísérletileg meghatározzuk. Az UV-energia kis távolságoknak felel meg, az alacsony (IR) energia pedig nagy távolságoknak. Az RG-módszernél UV-ből indulunk és az IR felé haladva fokozatosan (infinitezimális Δk lépésekben haladva) számoljuk ki a fluktuációk hatására a G Newton-állandó és a Λ kozmológiai állandó skálafüggését.

A csatolások terében a k-függéssel kirajzolt trajektóriarendszer alkotja a fázisteret. A csatolások skálafüggetlenné válhatnak, a skála változtatására változatlan csatolási értékegyütteseket a fázistér fixpontjainak nevezzük. A fixpontok környezetében az evolúciós egyenletek skálafüggése gyenge, ezért ott lineáris közelítést használva analitikus megoldást kaphatunk. A fázistér origójában van a gaussi fixpont, ami szabad, tömegtelen elméletnek felel meg, hiszen minden csatolás értéke nulla.

A QEG csatolásait UV-ben nem ismerjük, mivel nincsenek a Planck-skálához közeli energiaszinten kísérleti eredményeink. Ellenben azt tudjuk, hogy a mi világunkban mekkora a Newton-állandó és a becsült kozmológiai állandó értéke. Ezek olyan trajektóriát követelnek a fázistéren, amely a gaussi fixponthoz nagyon közel halad el. Az evolúciós egyenletek megoldását a (E_P = 1,22 · 10^{19} GeV) Planck-skáláról olyan kezdeticsatolás-értékekkel kell indítanunk, amely a fázistér klasszikus világunknak megfelelő pontján halad át. Gondolkodhatunk fordítva is, indíthatjuk az evolúciót az UV-tartományok felé, hiszen az alábbi (4) RG-egyenleteket megoldhatjuk a k függvényében egyaránt az IR- vagy az UV-skálák felé. Azonban egyszerű dimenzióanalízisből tudjuk, hogy a makroszkopikus világunkban mért G és Λ értékek környezetében a skálafüggés alakja révén a következő dimenziótlan csatolások értelmezhetők:

$$\lambda = \Lambda\, k^{-2}, \qquad g = G\, k^{2}. \tag{3}$$

Eszerint az energia növelésével a kozmológiai állandó ugyan egyre kisebb, viszont a g Newton-állandó végtelenhez tart, tehát használhatatlannak tűnik az elmélet. Ezt a súlyos problémát próbálta orvosolni *Weinberg* sejtése [3], amely szerint elképzelhető egy olyan forgatókönyv is, hogy a gravitációs elméletben a Newton-állandó nem a végtelenbe, hanem egy új, UV fixpontba tart nagy energián, amelyen nem jut túl. A fixpontok a differenciálegyenlet statikus megoldásai, ahol nincs skálafüggés. Az elmélet $k \to \infty$ határesetben az UV fixpont miatt az elmélet végessé azaz szingularitásmentessé válik, miután g és minden más fizikai mennyiség értéke véges. Weinberg terminológiája szerint ez a modell *aszimptotikus biztonságos* [4].

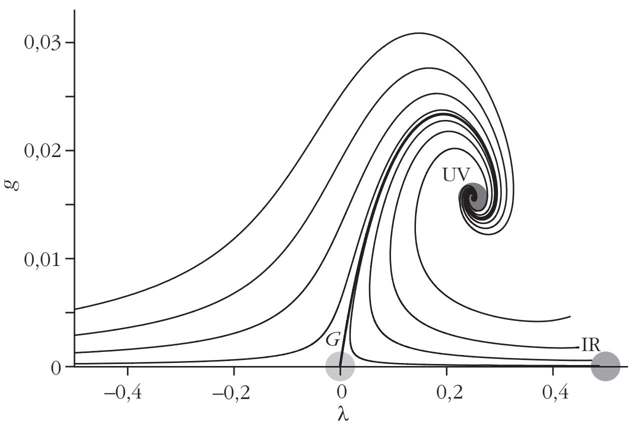
Az aszimptotikus biztonság az *aszimptotikus szabadság* általánosítása, amelynél az UV fixpont gaussi, azaz nagy energián az elmélet közeledik a kölcsönhatásmentes világhoz. Aszimptotikusan szabad elmélet a QCD, az erős kölcsönhatás elmélete, amelynek felismerését 2004-ben Nobel-díjjal jutalmazták. A gaussi fixpont körül a csatolás kicsi a nagy energiákon, ez lehetővé tette a QCD perturbatív vizsgálatát, és megalapozta a modell nagyenergiás ütközésekkel történő tesztelését. Az aszimptotikus biztonság nem-gaussi UV fixpontja körül ugyan szintén lehetséges a perturbatív vizsgálat, de a Planck-skálán nem állnak rendelkezésre mérési adatok, amelyekkel a kapott perturbatív eredmények összevethetők lennének. Az UV fixpont legfontosabb szerepe az, hogy a QEG-ből számolt fizikai mennyiségekhez a kvantumgravitációs ingadozások véges járulékot adnak. Az RG-módszer pedig lehetővé teszi, hogy kövessük a QEG-t és a benne szereplő csatolásokat a Planck-skálától a klasszikus gravitációt jellemző csatolásokon keresztül egészen az IR-skáláig.

Evolúciós egyenletek

Az RG-módszert alkalmazva a QEG-re, egy csatolt differenciálegyenlet-rendszert kapunk a Newton- és a kozmológiai állandók skálafüggésére. Az egyenletek alakja (d = 4 dimenzióban):

$$k\partial_k\lambda = \frac{2[-96g^2+\lambda+4\lambda^2(11+\lambda)+g(8\lambda(1-3\lambda)-6)]}{4g-(1-2\lambda)^2},$$
$$k\partial_k g = 2g+\frac{24g^2}{4g-(1-2\lambda)^2}. \qquad (4)$$

Az egyenletrendszer nemlineáris és nem oldható meg analitikusan, de a fixpontok meghatározhatók. Ehhez a (4) egyenletek megoldását keressük, ha a deriváltak nullák. Három fixpontunk van: az UV fixpont a λ^*_{UV} = 1/4, g^*_{UV} =1/64, a gaussi az origóban, és találunk egy IR fixpontot is a λ^*_{IR} =1/2, g^*_{IR} = 0. Ebben a pontban ugyan szingulárisak az RG-egyenletek, de a megoldás a $\lim_{k\to 0}\lambda = 1/2$ és $\lim_{k\to 0} g = 0$ határesetben létezik. A fixpont környéki analitikus megoldásból kiolvasható, hogy a trajektóriák hogyan viselkednek a fixpont közelében. A két csatolás fázisterét a *2. ábrán* mutatjuk be. Az UV fixpont k csökkenésére egy taszító (tehát UV vonzó) fixpont. Ez a Planck-skála tartománya, innen indulnak ki a trajektóriák. Az UV fixpont egy fókusz, mert spirális alakban távolodnak tőle a trajektóriák. Az evolúció során a k skála csökkenésével a trajektóriák továbbhaladnak a gaussi fixpont felé, amely az origóban található. A gaussi pont nyeregpont, ezért egyrészt vonzza a trajektóriákat, másrészt taszítja azokat a negatív és a pozitív értékű kozmológiai állandók felé, ezáltal jelenik meg a modellben két fázis. Ha λ < 0 alacsony energián, akkor a QEG erős csatolású fázisában vagyunk. Ekkor a téridőmetrika a Minkowski-sík metrikához tart, amikor $k \to 0$, a kozmológiai állandó pedig negatív. Ezzel szemben a



2. ábra. A QEG fázistere, a modellnek két fázisa és három fixpontja van.

gyenge csatolású fázisban a $k \to 0$-nál $\lambda > 0$. Itt a geometria degenerált, azaz $\langle g_{\mu\nu}\rangle = 0$. A gyenge csatolású fázis alacsony energiájú tartományában találjuk a vonzó IR fixpontot [5]. A klasszikus gravitációs elméletet jellemző kis pozitív kozmológiai állandónak és kis Newton-állandónak megfelelő fázistérbeli pont a gaussi fixponthoz nagyon közel, az origótól mindössze 10^{-70} távolságra van k^2 egységben. A pontot tartalmazó trajektória a gyenge csatolású fázishoz tartozik és még alacsonyabb energián, azaz a Világegyetem további tágulásakor tart az IR fixpont felé.

A vonzó IR fixpont a gyenge csatolású fázisban a (4) evolúciós egyenletek szingularitási pontja. A szingularitás azt jelzi, hogy a QEG-ben bevezetett szabadsági fokok már nem alkalmasak az elmélet leírására. Hasonló módon találhatunk szingularitást a kvantumszíndinamikában, ahol eredetileg a kvarkok és a gluonok kölcsönhatását vezetjük be, viszont alacsony energián a hadronok a megfelelő szabadsági fokok. A szingularitásnak nagyon fontos fizikai tartalma van, mert kijelöli, hogy milyen k_c energiaskálán jelenik meg új kölcsönhatás az elméletben. A gyenge csatolású fázis IR fixpontja mutatja a modell alkalmazhatóságának alacsony energiás alsó határát. Az IR szingularitás közelében a nagyon sok, gyakorlatilag nulla energiájú, lágy elemi gerjesztés egy makroszkopikus $1/k_c$ nagyságú graviton-kondenzátumot alkot. Az IR fixpont szingularitásánál bekövetkezik a kvantum-klasszikus átmenet, amely egy új, az Einstein-egyenletektől különböző, nagy távolságokon érvényes klasszikus gravitációs elméletet adhat.

Irodalom

1. M. Reuter, *Phys. Rev. D 57* (1998) 971; M. Reuter, F. Saueressig, *New J. Phys. 14* (2012) 055022.
2. K. G. Wilson, J. Kogut, *Phys. Rep. C. 12* (1974) 77; F. J. Wegner, A. Houghton, *Phys. Rev. A. 8* (1973) 401; J. Polchinski, *Nucl. Phys. B 231* (1984) 269; C. Wetterich, *Phys. Lett. B 301* (1993) 90; J. Berges, N. Tetradis, C. Wetterich, *Phys. Rept. 363* (2002) 223; J. Polonyi, *Central Eur. J. Phys. 1* (2004) 1; S. Nagy, *Annals of Physics 350* (2014) 310.
3. S. Weinberg, in *General Relativity, an Einstein Centenary Survey* (szerk. S. W. Hawking, W. Israel) Cambridge University Press, Cambridge, England, 1979.
4. M. Reuter, F. Saueressig, *Lect. Notes Phys. 863* (2013) 185.
5. S. Nagy, J. Krizsan, K. Sailer, *JHEP 7* (2012) 102.

ATOMI ÜTKÖZÉSEK KLASSZIKUS MEGKÖZELÍTÉSBEN
– út a Fermi molekuláris dinamikáig

Lohner Roland, Tőkési Károly
MTA Atommagkutató Intézet, Debrecen

A 19. század elején *John Dalton* munkásságával elindult az atomok világának újkori, természettudományos alapokon nyugvó feltérképezése. Az atomok ütközésének vizsgálata a 20. század elejétől kezdve került a tudományos érdeklődés fókuszába. Atomi szórási folyamat klasszikus hatáskeresztmetszetét elsőként *Thomson* határozta meg 1912-ben kísérleti úton, atomok elektronnal történő ionizálását vizsgálva. A klasszikus atommodellek fejlődése a Bohr-elméletben teljesedett ki. A kvantummechanika 1920-as évekbeli elterjedésével a klasszikus fizika módszerei háttérbe szorultak, számos klasszikus modell és eredmény túlhaladottá vált. Az atomok, ionok ütközésének legfontosabb elméleti vizsgálati eszköze a kvantummechanika lett. A hatvanas években azonban a részecskék klasszikus pályáinak meghatározására épülő módszerek reneszánsza kezdődött az atomfizikában. Az újjászületés legfontosabb alapját a számítógépek elterjedése képezte, ami részecskepályák tízezreinek kiszámítását tette lehetővé. A következő évtizedekben kidolgozott klasszikus és kvázi-klasszikus módszerek megkapó egyszerűségük ellenére figyelemre méltó sikereket értek el. Cikkünk e terület történetébe, fejlődésébe nyújt betekintést.

A kezdetek

Klasszikus pályaszámításon alapuló atomfizikai módszerek alatt olyan modelleket, számításokat értünk, amelyek a részecskék (molekulák, atomok, ionok, atommagok, elektronok) klasszikus pályájának meghatározásán alapulnak. A pályákat rendszerint a klasszikus mechanikai rendszer mozgásegyenleteinek numerikus integrálásával határozzák meg. A módszert leggyakrabban atomok, molekulák rugalmatlan ütközéseinek leírására, illetve kémiai reakciók hatáskeresztmetszetének kiszámítására használják.

A rugalmatlan atomi ütközések három típusa különböztethető meg. *Elektronbefogásnak* nevezzük azt a folyamatot, amikor az ütközés során a célatom (célion) és a lövedék atom (ion) között elektronátadás történik. *Ionizációnak* hívjuk azt az ütközési folyamatot, amelynek eredményeképpen szabad elektron jelenik meg. Ha az elektronok az ütközést követően is az eredeti magokhoz kötött állapotban maradnak, *direkt folyamatról* beszélünk. Többelektronos rendszerek ütközése esetén természetesen a reakciótípusok variációja is végbemehet, úgymint többszörös elektronbefogás, többszörös ionizáció, illetve befogás és ionizáció egyidejűleg.

A munka az Országos Tudományos Kutatási Alapprogram (OTKA) NN 103279 témaszámú kutatásának támogatásával készült.

Rugalmatlan atomi ütközések leírására elsőként *J. Hirschfelder* alkalmazott klasszikus pályaszámításon alapuló módszert 1936-ban. Az amerikai fizikus hidrogénatom és hidrogénmolekula reakcióját vizsgálta. Hirschfelder számításait – komputer híján – kézzel végezte el, így publikációjában – mai szemmel nézve meglepő módon – egyetlen ütközést, egyetlen klasszikus pályát elemzett.

A rugalmatlan atomi ütközések kvantummechanikai tárgyalását komoly problémák nehezítették az 50-es években. A gyakran sikeresen használt perturbációs elméletek, mint például a Born-közelítés erős kölcsönhatások és lassú ütközések esetében pontatlannak bizonyultak, így nem voltak alkalmazhatók. Ionizációval vagy elektronbefogással járó ütközési folyamatokat két esetben lehetett a kvantumelmélettel jól kezelni:

1. Aszimmetrikus esetben, amikor az elektronok kerületi sebességéhez képest nagyon gyors, könnyű lövedék tere a célatom szempontjából perturbációként kezelhető.
2. Szimmetrikus és nagyon lassú ütközés esetében, ahol a rendszer az ütközés időtartamára létrejövő molekulapályákkal reprezentálható.

Az ütközési energia fennmaradó tartományában alkalmazható kvantumelméleti módszerek túlságosan bonyolultak voltak.

Áttörést jelentett *Gryzinski* 1959-ben megjelent tanulmánya, amelyben megmutatta, hogy klasszikus modellfeltételekkel egyszerű és használható analitikus formulákat lehet adni az atomi ütközések széles spektrumának leírására. Ezzel új eszköz került a kutatók kezébe. A klasszikus pályamódszerek sikeresnek és hatékonynak bizonyultak a kémiai reakciók hatáskeresztmetszetének meghatározásában.

A klasszikus pályájú Monte-Carlo módszer

A Monte-Carlo módszer egy véletlen számok alkalmazásán alapuló, sztochasztikus szimulációs eljárás, amely számítástechnikai eszközök segítségével állítja elő egy adott kísérlet végeredményét, numerikus jellemzőit. A sokaságra jellemző tulajdonságokat a centrális határeloszlás tétele segítségével kapjuk. A véletlen számokat, amelyek a kísérletekben szereplő különböző eloszlású valószínűségi változók értékei, számítógép állítja elő. A módszer kezdetleges változatát már a 20. század elején is alkalmazta néhány statisztikus, azonban kiforrott formáját az atombomba megvalósításán, Los Alamosban dolgozó tudóscsapatnak (*Neumann, Ulman, Fermi* és *Metropolis*) tulajdonítják, akik atommag-reakciókra vonatkozó bonyolult matematikai problémák megoldásához használták.

A Monte-Carlo szimuláció segítségével nagy számú egyedi részecske kölcsönhatásait is vizsgálhatjuk, és olyan problémákat is kezelni tudunk, amelyek túl komplexek ahhoz, hogy zárt alakban felírható egyenletekkel tárgyalhassuk őket.

Az 1960-as évek elejétől sikeresen ötvözték a klasszikus pályameghatározás módszerét a Monte-Carlo szimulációval, és az így létrejött módszert számos atom és molekula ütközési hatáskeresztmetszetének kiszámítására használták. A klasszikus pályájú Monte-Carlo (Classical Trajectory Monte Carlo, CTMC) módszer lényege, hogy

1. a kvantummechanikai rendszert egy klasszikus makroszkopikus modellel reprezentálják, amelyben a részecskék a Newton-törvények szerint mozognak parányi naprendszerek módjára;
2. nagy számú egyedi pálya meghatározásával és kiértékelésével, statisztikai úton számítják ki a különféle fizikai tulajdonságokat és a reakciók jellemző paramétereit;
3. az egyedi pályákat véletlenszerűen megválasztott kezdőfeltételekből indítják.

A módszer kezdetben az egyes atomokat tömegpontoknak tekintette, amelyek a molekula kvantummechanikai potenciálterében mozognak a klasszikus fizika törvényei szerint. A CTMC-eljárás elterjedése a számítástechnika gyors fejlődésének volt köszönhető, hiszen nagy számú részecskepálya meghatározása és kiértékelése vált lehetővé, amely csökkentette az eredmények statisztikus hibáját, illetve igen kis valószínűségű folyamatok leírása is lehetségessé vált. A 90-es évektől kezdve figyelemre méltó hazai eredmények is születtek ezen a területen [1–3].

Abrines és Percival hidrogénmodellje

Abrines és *Percival* 1966-ban publikált munkája [4] fontos mérföldkő a klasszikus atomfizikai módszerek világában. A két kutató, akik proton és hidrogén atom ütközését vizsgálták CTMC-módszerrel, korszakalkotó volt abban a tekintetben, hogy a hidrogénatomot nem egyetlen részecskeként kezelte, hanem külön-külön határozta meg az atommag és az elektron pályáját. A tisztán klasszikus modell a hidrogénatomot – a Rutherford-modellhez hasonlóan – parányi naprendszerként reprezentálta, amelyben az elektron a Coulomberő hatására Kepler-pályán kering az atommag körül. Abrines és Percival a proton-hidrogén ütközési háromtestrendszerben kizárólag Coulomb-kölcsönhatásokkal számolt. A szórási kísérletek és a kvantummechanika tanulsága szerint is gömbszimmetrikus hidrogénatomot síkbeli elliptikus Kepler-pályák sokaságával reprezentálták. A pályák excentricitását és a Kepler-sík irányát a kezdeti feltételekben véletlen számok segítségével állították be úgy, hogy az elektron kötési energiája megegyezzen az irodalmi értékkel. A kezdeti feltételek véletlenszerű beállítása után a Hamilton-függvényből származtatott mozgásegyenleteket numerikusan integrálták, majd a rendszer végállapoti fázisában meghatározták, hogy az ütközés során milyen típusú reakció játszódott le elektronátmenet szempontjából. A proton-hidrogén ütközés esetén három reakciótípus lehetséges: direkt folyamat, egyszeres elektronbefogás és egyszeres ionizáció. A kutatók Monte-Carlo szimulációval meghatározták ezekhez a reakciótípusokhoz tartozó ütközési hatáskeresztmetszet-értékeket, amelyek igen jó egyezésben voltak a kísérleti megfigyelésekkel.

Abrines és Percival úgy vélték, hogy a korrespondencia-elvnek megfelelően klasszikus modelljük csak a jelentősen gerjesztett atomállapotokat fogja helyesen jellemezni. Nem így történt. Váratlan sikerként könyvelhették el, amikor kiderült, hogy módszerük meglepő pontossággal írja le az alapállapoti atomok ütközését is, ráadásul épp abban a sebességtartományban ($v_{lövedék}$ ~ 1 au) pontos ez a leírás, ahol a kvantummechanikai módszerek nehezen alkalmazhatók.

Abrines és Percival munkássága nagy lendületet adott a CTMC-módszerek fejlődésének. A következő évtizedekben számos kutató ért el sikereket ezen a területen. 1977-ben *Olson* és *Salop* hidrogénnel és teljesen ionizált lövedékekkel végzett számításokat a Kr^{+36} ionig bezárólag. Ionizáció és elektronbefogás hatáskeresztmetszetére vonatkozó eredményeik széles energiatartományban jól használhatónak bizonyultak. Számos próbálkozás történt Abrines és Percival modelljének általánosítására, többelektronos rendszerek leírására. *Pfeifer* és Olson számításaiban héliumatomot bombázott különböző ionokkal, *Becker* és *MacKellar* pedig hidrogénatom hidrogénatommal történő üközését vizsgálta. A többelektronos rendszerekre való kiterjesztés azonban számos nehézségbe ütközött, amelyeket nem tudtak áthidalni. Általános problémát jelentett, hogy a klasszikus modell keretein belül a többelektronos rendszerek hajlamosak az autoionizációra, amelynek során a semleges atomból külső hatás nélkül is kirepülhet elektron. A tapasztalattal összeegyeztethetetlen autoionizáció elkerülésének érdekében többféle megoldással próbálkoztak. Bevezették a függetlenelektron-közelítést, amely nem veszi figyelembe az elektronok közötti Coulomb-kölcsönhatást. Más módszerek a többelektronos atomokat egyelektronos rendszerként kezelték effektív töltés bevezetésével, illetve modellpotenciál alkalmazásával. *McKenzie* olyan speciális kezdőfeltételeket keresett, amelyekkel az autoionizáció késleltethető, így a gyors, rövid ideig tartó ütközési folyamatok leírhatóvá válnak. Ezekkel a közelítésekkel a klasszikus modell azonban veszített pontosságából, és csak bizonyos esetekben adott egyezést a kísérleti megfigyelésekkel.

A kvázi-klasszikus pályájú Monte-Carlo módszer

Az Abrines–Percival-modell hidrogénnél nehezebb atomokra való általánosítására 1980-ig kellett várni. Ebben az évben alkotta meg atommodelljét *Kirschbaum* és *Wilets* [5]. Két, kvantummechanikai hatásból származtatott extra potenciál bevezetésével sikerült stabilizálniuk a héliumatomot és a nehezebb atomokat. Módszerüket kvázi-klasszikus pályájú Monte-Carlo (QCTMC) módszernek nevezték el. A QCTMC-módszer megegyezik a CTMC-módszerrel abban a tekintetben, hogy a kvantumrendszert egy klasszikus makroszkopikus modellel állítja elénk, illetve hogy nagy számú, véletlenszerűen inicializált pálya meghatározásával, statisztikai úton számítja ki a struktúrák, folyamatok fizikai jellemzőit. A QCTMC-módszer újdonságát az jelentette, hogy klasszikus úton nem levezethető, kvantummechanikai hatásokat reprezentáló potenciálokat vezetett be.

Kirschbaum és Wilets atommodellje

Kirschbaum és Wilets az atomi dinamika leírására a atommag-elektron és az elektron-elektron Coulomb-kölcsönhatások mellé két, kvantumfizikailag is indokolt impulzusfüggő extra potenciál: a „Heisenberg-potenciál” és a „Pauli-potenciál” bevezetését javasolta. Többelektronos rendszerek (atomok, ionok, molekulák) esetében a mag körüli elektronpályák stabilitásának feltétele, hogy az elektronok ne kerülhessenek tetszőlegesen közel a maghoz. Ellenkező esetben ugyanis bizonyos elektronok túlságosan mélyen kötötté válhatnak, amelynek következtében más elektronok az ionizációhoz elegendő energiatöbblethez juthatnak. A Heisenberg-féle határozatlansági reláció kvantumrendszerek esetében pontosan betölti ezt a stabilitás által megkívánt funkciót. A határozatlansági reláció alapján ugyanis az elektron nem tartózkodhat a mag tetszőleges közelében. Kirschbaum és Wilets a Heisenberg-féle határozatlansági elvnek ezt, az – atomi alapállapotok kialakulásában is meghatározó – erős hatását az általuk bevezetett „Heisenberg-potenciál” segítségével jelenítették meg a klasszikus képben. Ez az elektronokat a magtól taszító, impulzusfüggő potenciál biztosítja a megfelelő alapállapoti energiát és az atom stabilitását. A potenciál alakjára heurisztikus módon a következő javaslatot tették:

$$V_H(r_i, p_i) = \frac{(\xi_H \hbar)^2}{4\,\alpha\,\mu\, r_i^2} \exp\left(\alpha\left[1-\left(\frac{r_i p_i}{\xi_H \hbar}\right)^4\right]\right). \quad (1)$$

Az (1) összefüggésben r_i és p_i az i-edik elektron maghoz viszonyított relatív helyét és impulzusát jelöli. ξ_H értékét úgy rögzítették, hogy a hidrogénatom alapállapoti energiája illeszkedjen a kvantumelméleti értékhez. μ a redukált elektrontömeg, α pedig az úgynevezett „keménység” paraméter, amely a potenciál meredekségét határozza meg.

Kirschbaum és Wilets az előzőhöz hasonló módon, a fermionokra vonatkozó Pauli-féle kizárási elv teljesülését a „Pauli-potenciál” bevezetésével biztosította a klasszikus reprezentációban. Az i-edik és j-edik elektron közti kizárást reprezentáló potenciál alakja a következő:

$$V_P(r_i, p_{ij}) = \frac{(\xi_P \hbar)^2}{4\,\alpha\, m_e\, r_{ij}^2} \exp\left(\alpha\left[1-\left(\frac{r_{ij} p_{ij}}{\xi_P \hbar}\right)^4\right]\right). \quad (2)$$

Az összefüggésben szereplő r_{ij}, illetve p_{ij} az elektronok relatív pozíciója, illetve impulzusa. ξ_P értékét ξ_H-hoz hasonlóan kötési energiához való illesztéssel rögzítették. m_e az elektrontömeget jelöli. A Pauli-potenciált csak az egyforma spinnel rendelkező elektronok között vesszük figyelembe. Ennek oka, hogy a különböző spinnel rendelkező elektronok eltérő kvantumállapotban vannak, így nem zárják ki egymást.

A fent bevezetett potenciálok segítségével az atom Hamilton-függvénye a következő alakban írható fel:

$$H_{KW} = H_0 + \sum_i \left[V_H(r_i, p_i) + \sum_{j>i} \delta_{s_i s_j} V_P(r_{ij}, p_{ij}) \right], \quad (3)$$

ahol

$$H_0 = T + V_{Coul} \quad (4)$$

a rendszer klasszikus Hamilton-függvénye, s_i és s_j pedig az elektronok spinkvantumszáma. Megfigyelhetjük, hogy a ξ_H, $\xi_P \to 0$ határesetben az extra potenciálok nullához tartanak, visszakapjuk a klasszikus mechanikai rendszert.

Az 1980-ban megszületett Kirschbaum–Wilets-modell fontos sikereket ért el. Az évtizedes problémát megszüntetve stabilizálta az összes atomot. A modell – amely csupán két paraméter értékét (ξ_H, ξ_P) kölcsönzi a kvantummechanikától – meglepően jól írja le az atomok alapállapotát, és jól becsüli az első ionizációsenergia-értékeket. Ezen felül számos molekula is stabilnak mutatkozott a modell keretein belül, igaz, már a legegyszerűbb molekulák (H_2 és H_2^+) is túlságosan kötöttnek bizonyultak. A 80-as években a módszer a „Fermi Molekuláris Dinamika” (FMD) nevet kapta és sok számítás alapjául szolgált. Ezek legtöbbje atomok rugalmatlan ütközését, atomok erős mezőkkel való kölcsönhatását és a fotoionizációt vizsgálta.

A periódusos rendszer meghódítása

J. S. Cohen 1995-ben energiaminimalizációs eljárásával a stronciumig bezárólag az összes kémiai elemre megadta a Kirschbaum–Wilets-modellben reprezentált atomok alapállapotát [6]. Az eljárás az elektronok atomon belüli pozícióját és impulzusát határozta meg a (3) Hamilton-függvény minimalizálásával. Ez a minimalizációs probléma meglehetősen bonyolult, egyrészt a változók magas száma miatt (stroncium esetén 222 független változó), másrészt a sokdimenziós energiafelület számos kiszűrendő lokális minimuma miatt. Cohen változó metrikájú módszereket használt a minimalizáláshoz – sikerrel. 1998-ban a tárgyalt elemek körét kiszélesítette a plutóniumig.

Kiszámította az atomok alapállapoti energiáit, illetve az első és második ionizációs energiákat, amelyek jó egyezést mutattak az irodalmi értékekkel. Cohen sikerei közé tartozik továbbá, hogy eredményeiben – meglepő módon – megjelentek az elemek periodikus tulajdonságai, és hogy az elektronrendszer egyfajta héjstruktúrát alkotott a mag körül. Ez a kvázi-klasszikusnak nevezett héjstruktúra nem azonos a kvantumelméletből megismert héjszerkezettel. A kvázi-klasszikus atomon belüli elektronok Cohen által kiszámított és leközölt pozíció- és impulzusértékeit számos kutató használta a későbbiekben FMD-szimulációkban.

Úton a molekulák felé

1997-ben Cohen a Kirschbaum–Wilets-modell módosítását javasolta. A Heisenberg- és Pauli-potenciálok alakjára új formulát dolgozott ki, amelyben a részecskék hely- és impulzusváltozói a tömegközéppontra vonatkoztatott mennyiségként szerepeltek. A módosított modell fontos eredménye, hogy képes az egyszerű molekulák leírására, és a kis molekulák kötési energiáját jól becsüli.

Összegzés

Cikkünkkel – reményünk szerint – sikerült rámutatni, hogy a részecskék klasszikus pályáinak meghatározásán alapuló módszerek eredményesen alkalmazhatók az atomfizikai folyamatok leírásában. E módszerek nagy utat jártak be a 60-as évektől napjainkig, a hidrogénatom első sikeres modelljétől a Fermi Molekuláris Dinamika kialakulásáig, amely a 90-es években meghódította a periódusos rendszert, majd megérkezett a molekulák világába. A számítástechnika fejlődésének köszönhetően egyre komplexebb rendszerek kezelhetők e klasszikus módszerrel. A terület egyik fejlődési útja pontosan a nagyobb atomok, molekulák leírásának irányába mutat. Napjainkban a klasszikus módszereket leginkább szórási kísérletek tervezésénél használják hatáskeresztmetszetek becslésére.

Irodalom

1. K. Tőkési, G. Hock, *Journal of Physics B 29* (1996) 119.
2. K. Tőkési, Á. Kövér, *Journal of Physics B 33* (2000) 3067.
3. B. Sulik, Cs. Koncz, K. Tőkési, A. Orbán, D. Berényi, *Phys. Rev. Letters 88* (2002) 073201.
4 R. Abrines, I. C. Percival, *Proc. Phys. Soc. London 88* (1966) 861.
5. C. L. Kirschbaum, L. Wilets, *Phys. Rev. A 21* (1980) 21.
6. J. S. Cohen, *Phys. Rev. A 51* (1995) 266.

A KÉMIAI ELEMEK MAGYAR NEVEINEK VÁLTOZÁSAI A PERIÓDUSOS RENDSZER MEGALKOTÁSÁIG, 1745–1869
2. rész

Gazda István
Magyar Tudománytörténeti Intézet, Piliscsaba

LANTÁN (La) a nyelvújítás idején *lapany* 1842 (Irinyi: Vegyelemek), *válany* 1844 (Schirkhuber: Természettan. 1. kiad.), Jedliknél *rejeny* 1850 (Jedlik: Természettan), a későbbi kémiákban (például Nendtvichnél): *latany*. Czuczor–Fogarasinál *rejeny,* utalva talán a rejtőzködő, lapuló, nehezen fellelhető voltára.

LÍTIUM (Li) 1817-ben ismerték fel, elektrolízissel a következő évben állították elő. A nyelvújítás idején *kövany* 1829 (Schuster: Gyógyszeres), *litany, lavany* 1842 (Irinyi: Vegyelemek), *köveny* 1844 (Schirkhuber: Természettan. 1. kiad.), *kövi* 1845/47 (Kováts: Háromnyelvű). Czuczor–Fogarasinál *lavany,* mert „lav gyöke helyesen felel meg a könnyűség fogalmának".

MAGNÉZIUM (Mg) a magnézium-oxid megjelölésére használták a *magnesia,* a *festősó,* a *festőföld,* a *keserüföld,* a *magnezia,* a *tajtékföld* megjelölést; magának a kémiai elemnek megnevezésére Pethe a *magnesium* elnevezést használta 1815 (Pethe: Kímia). A nyelvújítók először *keseranynak* 1829 (Schuster: Gyógyszeres), majd *kesrenynek* 1842 (Irinyi: Vegyelemek) és *keserenynek* 1844 (Schirkhuber: Természettan. 1. kiad.) nevezték. Jánosi fordításában *magnium* 1853 (Schoedler: Term. könyve). Czuczor–Fogarasinál *kesreny,* „nevét onnan vette, mivel számos vegyületei keserű ízűek".

MANGÁN (Mn) az 1770-es években ismerték fel, Kovátsnál *szegkő* 1807 (Kováts: Chémia). A nyelvújításban Schusternál *tselany* lett 1829 (Schuster: Gyógyszeres), Irinyinél *cseleny* 1842 (Irinyi: Vegyelemek), Kováts *bajérczként* is használja 1845/47 (Kováts: Háromnyelvű). Jánosi *mángánnak* írja 1853 (Schoedler: Term. könyve). Czuczor–Fogarasinál ismét *cseleny.*

MOLIBDÉN (Mo) a nyelvújítás előtti időszakban *lágy értz* 1784 (Benkő–Werner), *molybdén* 1791 (Zay: Mineralógia), *plébászérz* 1798 (Reuss: Lexicon), *molibdén* 1799 (Fábián: Term. hist. 1. kiad.), *molibdenértz* 1811 (Geley: Ásványok), *molybdaenium* 1815 (Pethe: Chémia). A nyelvújítás időszakában: *ólany* 1829 (Schuster: Gyógyszeres), *ólomi* vagy *óni* 1828 (Kováts: Med. forensis), *olany* 1842 (Irinyi: Vegyelemek), *irany* 1844 (Schirkhuber: Természettan. 1.

kiad.), *ónded* 1845/47 (Kováts: Háromnyelvű). Később évtizedeken át ismét *olany,* Czuczor–Fogarasinál is.

NÁTRIUM (Na) fém állapotban 1807-ben állították elő, korábbi elnevezései oxidjára vonatkoznak: *szék só, széksó, állhatatos lugsó.* A nyelvújításban Schusternél *szikany* 1829 (Schuster: Gyógyszeres), Irinyinél *szikeny* 1842 (Irinyi: Vegyelemek), Kovátsnál továbbra is egyik régi megnevezése szerepel: *sziksó-értz* 1845/47 (Kováts: Háromnyelvű). Czuczor–Fogarasinál *szikeny,* „nevét a sziksótól nyerte, melynek egyik alkatrésze. Halvanynyal (chlorral) egyesülve (szikhalvag) a közönséges konyhasót alkotja."

NIKKEL (Ni) tiszta állapotban 1751-ben állították elő, Benkő *fattyu réz*nek említi 1784 (Benkő–Werner), a későbbi szerzőknél *nikoly, nikol, nikol értz, nickel.* Kovátsnál 1822-ben *Miklós reze* (Kováts: Ásványnévtár), később *ércz-rosznika* 1845/47 (Kováts: Háromnyelvű). A nyelvújításban *ingerlany* vagy *lederany* 1829 (Schuster: Gyógyszeres), Irinyinél azonban *álany* vagy *alany* 1842 (Irinyi: Vegyelemek), s utóbbit fogadja el Schirkhuber is 1844 (Schirkhuber: Természettan. 1. kiad.). Jánosi *nikol*nak írja 1853 (Schoedler: Term. könyve). Czuczor–Fogarasinál *bókany:* „a német Nickel után (mintha a nicken-ből származnék) betű szerinti fordítás.

NIÓBIUM (Nb) ez a 41-es rendszámú kémiai elem, amelyet tiszta állapotban csak 1864-ben állítottak elő, korábban csak ércekben mutatták ki, s használták a *columbium* vagy *columbi ércz* megnevezést. Czuczor–Fogarasinál *imlany,* amely „minthogy az imenyt tartalmazó »tantalit« nevü ásványban jön elé, latinul a Tantalus leányától »Niobé«-től »niobium«-nak, magyarúl pedig »imlany«-nak, mintegy az imeny leányának neveztetett".

NITROGÉN (N) fojtószerként jegyzik: *fojtós matéria* 1798 (Derczeni: Tokaji), *azet* 1798 (Kováts: Hufeland 1. kiad.), *megfojtó levegő* 1799 (Kováts: Hufeland 2. kiad.), *azotum* 1800 (Nyulas: Vizek), *fojtó matéria* 1803 (Fábián: Term. tud.), *fullasztó* 1805 (Wolny: Természetrajz), *fojtótárgy* vagy *salétromlevegő* 1807 (Kováts: Chémia), *fojtó* vagy *fullasztó szer* 1808 (Varga: Term. tud.), *fojtószer* 1815 (Nagy L.: Levegő), *fojtószer* vagy *salétromitó* 1815 (Pethe: Kímia), *ölő* 1818 (Kováts: Állati mágn.). A nyelvújításban Irinyinél 1842 (Irinyi: Vegyelemek) és Schirkhubernél 1844 (Schirkhuber: Természettan. 1. kiad.) *légeny,* Kovátsnál továbbra is *fojtóanyag* 1845/47 (Kováts: Háromnyelvű), az ismert fordításban: *azót* 1853 (Schoedler: Term. könyve). Czuczor–Fogarasinál *légeny:* „mivel a légnek, levegőnek majdnem 4/5-öd részét képezi".

ÓLOM (Pb) a régebbi szakirodalomban az *ólom* és az *ón* elnevezés keveredett, a precízebb szerzők az ólomra a *fekete ón* elnevezést használták, például 1784 (Benkő–Werner). Varga *fekete ólom*nak nevezi 1808 (Varga: Term. tud.). A nyelvújítás idején *ólmany* 1829 (Schuster: Gyógyszeres), *ólomany* 1844 (Schirkhuber: Természettan. 1. kiad.). Irinyi ezt nem fogadta el, s ő továbbra is az *ólom* megnevezést ajánlotta 1842 (Irinyi: Vegyelemek), Kováts is ez utóbbit használta műveiben. Czuczor–Fogarasinál *ólmany,* de ajánlja az *ólom* megjelölést is, mert: „nevét olvadékony tulajdonságától vette, s gyöke azon ol megnyujtva, melyből olu, olvad, olvaszt, olvadék származnak".

ÓN (Sn) régóta ismert elem, sok helyen *tzin*ként emlegették, így Molnárnál is 1777 (Molnár: A természetiekről), Benkőnél *fejér ón* 1784 (Benkő–Werner), az utóbbi két kifejezést használták a későbbi kémiai munkákban. A nyelvújításban Schusternál 1829 (Schuster: Gyógyszeres) és Irinyinél 1842 (Irinyi: Vegyelemek) is *ónany.* Czuczor–Fogarasinál *ón.*

OXIGÉN (O) hosszú ideig a savanyítást előidéző elemként tisztelték: *savanyusági matéria* 1798 (Derczeni: Tokaji), *savanyitószesz* 1798 (Nagy S.: Természet. 2. kiad.), *életlevegő* vagy *savanyitó* 1799 (Kováts: Hufeland 2. kiad.), *éltető levegő* 1800 (Nyulas: Vizek), *savanyu matéria* 1803 (Fábián: Term. tud.), *savanyitó* 1805 (Wolny: Természetrajz), 1807 (Kováts: Chémia), 1815 (Pethe: Kímia) és 1845/47 (Kováts: Háromnyelvű), *savanyitószer* 1808 (Varga: Term. tud.), *éltető levegő* 1808 (Varga: Term. tud.), *életszesz* 1815 (Nagy L.: Levegő), *savanyuszesz* 1815 (Nagy L.: Levegő), *savanyszer* 1829 (Lánghy–Lencsés), *savitó* 1829 (Schuster: Gyógyszeres), *oxigenium* 1833 (Kerekes: Chemia). A nyelvújításnál: *éleny* 1842 (Irinyi: Vegyelemek). Czuczor–Fogarasinál is *éleny,* „mely ezen nevezetet azon sajátságánál fogva nyerte, hogy az az élet fenntartására múlhatatlanul megkívántatik … görög–latin neve: oxygenium, mely a többek közt savanyút jelent, ahonnan eleinte a magyar vegyészek savítónak nevezték".

OZMIUM (Os) 1804-ben fedezték fel, kezdetben a latin *osmium* megnevezéssel szerepel a magyar szakirodalomban, Schusterék *szagony*ra magyarítják 1829 (Schuster: Gyógyszeres). Czuczor–Fogarasinál *szagany:* „a levegőn hevítve a szagany savvá ég el, mely nagyon szállékony s gőzállapotban sajátságos átható szagú, és a légzési szerveket erősen megtámadja. Ezen sajátságánál fogva nyerte magyarul a szagany, valamint előbb az osmium nevezetet is a görög (= szag) szótól."

PALLÁDIUM (Pd) 1803-ban fedezték fel, a magyar kémiai nyelvújításban Schusternál *itelany* 1829 (Schuster: Gyógyszeres), Irinyinél *pallany* vagy *védeny* 1842 (Irinyi: Vegyelemek), Schirkhubernél *itélany* 1844 (Schirkhuber: Természettan. 1. kiad.), Kovátsnál *pallasércz* 1845/47 (Kováts: Háromnyelvű). Czuczor–Fogarasinál *pallany:* „a latin palladium név előrésze: pall vétetett a magyarban is törzsül, s az elemek any képzőjéből alkottatott a »pallany« nevezet".

PLATINA (Pt) a nyelvújítás előtti szakirodalomban többnyire *platina* vagy *fehér arany,* Zaynál *pintói ezüst* 1791 (Zay: Mineralógia), Kovátsnál *platai* 1822 (Kováts: Ásványnévtár), Schusternál először *nehézarany,* majd hamarosan nyelvújítva: *lomany* 1829 (Schuster: Gyógyszeres) és 1844 (Schirkhuber: Természettan. 1. kiad.). Irinyinél *ereny* 1842 (Irinyi: Vegyelemek). Kováts visszatér a régi kifejezésre: *fejér arany* 1845/47 (Kováts: Háromnyelvű), Jánosi fordításában *platin*nak írja 1853 (Schoedler: Term. könyve). Czuczor–Fogarasinál *ereny,* „nevét érintési erejétől (vis catalytica) vette, melynél fogva puszta érintkezése és jelenléte által eszközöl vegyüléseket és elbontásokat a nélkül, hogy maga vegyészeti változást szenvedne".

RÉZ (Cu) a nyelvújítás előtti időszakban *réz*ként szerepel, Fábián Raff-fordításában *veres réz* 1799 (Fábián: Term. hist. 1. kiad.), Kovátsnál *veresréz* 1807 (Kováts: Chémia). A nyelvújítás időszakában *rézany* 1829 (Schuster: Gyógyszeres), Schirkhubernél *rézeny* 1844 (Schirkhuber: Természettan. 1. kiad.). Kováts nem vette át, s 1845/47-es névtárában még mindig *veresréz* (Kováts: Háromnyelvű). Czuczor–Fogarasinál *réz.*

RÓDIUM (Rh) 1803-ban fedezték fel, Pethe a *rhodium* megnevezést használja 1815 (Pethe: Kímia), a nyelvújításban Schusternál *rózsany* 1829 (Schuster: Gyógyszeres), Schirkhuber is ezt használja 1844 (Schirkhuber: Természettan. 1. kiad.), Irinyinél *rőteny* 1842 (Irinyi: Vegyelemek), Kovátsnál *rózsaércz* 1845/47 (Kováts: Háromnyelvű). Czuczor–Fogarasinál *rőteny.*

RUTÉNIUM (Ru) elem voltát csak 1843-ban igazolták, a hazai kémiai tankönyvekben kevés helyen szerepel, Jedliknél *ruthenium* 1850 (Jedlik: Természettan), Nendtvichnél később *ruthen* névvel szerepel.

STRONCIUM (Sr) tiszta állapotban 1808-ban állították elő, a magyar szakirodalomban elsősorban a latin megnevezését használták. A nyelvújításban Schusternál *stronczany* 1829 (Schuster: Gyógyszeres), Irinyinél és Schirkhubernél *pirany* 1842 (Irinyi: Vegyelemek), 1844 (Schirkhuber: Természettan. 1. kiad.). Czuczor–Fogarasinál *pirany,* nevét „azon sajátságánál fogva nyerte, mely szerént némely vegyületei a láng színét bíborpirosra festik".

SZELÉN (Se) tiszta állapotban 1817-ben állították elő, Kováts Mihálynak a következő évben megjelent kötetében *selenium*ként szerepel 1818 (Kováts: Állati mágn.). A nyelvújításban *hódany* 1829 (Schuster: Gyógyszeres), Irinyinél *reteny* 1842 (Irinyi: Vegyelemek), Schirkhubernél *holdany* 1844 (Schirkhuber: Természettan. 1. kiad.). Czuczor–Fogarasinál *reteny:* „a levegőn meggyújtható, s égés alatt jellemző retekszagot terjeszt el; innen, kissé merészen (mert maga a retek szó sem magyar eredetű) magyar nevezete".

SZÉN (C) a régebbi szakirodalomban *széni matéria* 1798 (Derczeni: Tokaji), ehhez hasonló a Fábián által használt *szén matéria* 1803 (Fábián: Term. tud.), Wolnynál *szénanya* 1805 (Wolny: Természetrajz), Pethénél *szenitő* 1815 (Pethe: Kímia), Nyulasnál *szén* 1800 (Nyulas: Vizek), utána még számosan használták ugyanezt a kifejezést, például 1845/47 (Kováts: Háromnyelvű). Lánghy–Lencsés *szénszer*nek mondja, Schusternál *szénő* 1829 (Schuster: Gyógyszeres), Kerekes kéziratában *szénelak* 1833 (Kerekes: Chemia). A nyelvújításnál Irinyinél *széneny* 1842 (Irinyi: Vegyelemek). Czuczor–Fogarasinál *széneny* és *szeneny,* ez a „vegykémileg tiszta, vagyis semmi idegennemű anyagokat nem tartalmazó szén".

SZILÍCIUM (Si) tiszta állapotban csak 1823-ban állították elő, korábbi megnevezései oxidjára vonatkoznak: *kovás föld, kovaföld, kovats, kovakő, tüzkő föld, silicium, kavicsföld.* A nyelvújításban Schusternél 1829 (Schuster: Gyógyszeres) és Irinyinél 1842 (Irinyi: Vegyelemek) is *kovany.* Czuczor–Fogarasinál csak a *kova* (tűzkő) és *kovaföld* kerül részletes bemutatásra, magát a kémiai elemet viszont nem tárgyalja.

TANTÁL (Ta) 1802-ben ismerték fel, fém állapotban csak később állították elő, kémiai szakirodalmunkban elsősorban latin megnevezését használták. A nyelvújításnál Schusternál *nemitany* 1829 (Schuster: Gyógyszeres), Irinyinél *imany* vagy *imeny* 1842 (Irinyi: Vegyelemek). Czuczor–Fogarasinál *imeny:* „mivel nem nagy vegyülési erővel bír, s más testek, különösen a savak élege iránt közönbös, tehát mintegy ímmel-ámmal viseltetik irántuk".

TELLÚR (Te) ércekben való előfordulását ismerték, elem voltát az Erdélyben működő Franz Müller ismerte fel 1782-ben, de hasonló kutatásokat folytatott Kitaibel Pál is. Nem véletlen, hogy az 1805-ös természettudományi munkában még *titkos ércz*nek nevezik (Wolny: Természetrajz), Geley és Pethe a latin *tellurium* kifejezést használja 1811 (Geley: Ásványok), 1805 (Pethe: Pallérozott. 1. köt.), Kováts *földércz*nek mondja (tellus = a föld): 1822 (Kováts: Ásványnévtár), amelyet Schusterék *földeny*re magyarítanak 1829 (Schuster: Gyógyszeres), s ezt Schirkhuber is elfogadja 1844 (Schirkhuber: Természettan. 1. kiad.). Irinyinél *irany* 1842 (Irinyi: Vegyelemek). Czuczor–Fogarasinál továbbra is *irany,* s „neveztetett azon sajátságánál fogva, miszerint az úgynevezett irlában (Schrifterz) írott betűkhöz némileg hasonlító jegeczekben jön elé".

TERBIUM (Tb) 1843-ban ismerték fel, Jedliknél *terbium* 1850 (Jedlik: Természettan), a későbbiekben a *terbeny* nevet kapta.

TITÁN (Ti) régen ismert anyag, tiszta állapotban viszont csak 1910-ben tudták előállítani. Régi magyar elnevezései: *titanit, titán, titanium,* Kovátsnál *nap* 1822 (Kováts: Ásványnévtár), s ennek alapján készült a nyelvújításkor a *napany* megnevezés 1829 (Schuster: Gyógyszeres). Irinyi *kemeny*nek keresztelte el 1842 (Irinyi: Vegyelemek). Czuczor–Fogarasinál továbbra is *kemeny,* mert „jegedve az acélnál és kovánál keményebb, s ezért kapta a kem gyöktől nevét".

TÓRIUM (Th) 1828-ban fedezték fel, s a magyar kémiai nyelvújításban már a következő évben megkapta az *ármany* elnevezést 1829 (Schuster: Gyógyszeres), Irinyi azonban a *torány*t javasolta 1842 (Irinyi: Vegyelemek), Mannónál *tereny* 1842 (Mannó: Vegytan). Megjegyezzük, hogy Bugát 1843-ban a *tereny* kifejezést nem a tóriumra, hanem a volfrámra javasolta 1843 (Bugát: Szóhalmaz), ami nyilván tévedés, hiszen Jedlik is hét évvel később a tóriumra használja a *tereny* kifejezést 1850 (Jedlik: Természettan). Schirkhuber egyiket sem fogadta el, szerinte a helyes megnevezés: *szürkeny* 1844 (Schirkhuber: Természettan. 1. kiad.), Kovátsnál *megföld* 1845/47 (Kováts: Háromnyelvű). Czuczor–Fogarasinál visszatér a Jedlik által elfogadott és ajánlott *tereny.*

URÁN (U) 1789-ben találtak rá, fém állapotban 1842-ben állították elő, régi magyar elnevezései: *urankori* és *mennyei.* A nyelvújításkor Schusternél *menyany* 1829 (Schuster: Gyógyszeres), Irinyinél *sárgany* 1842 (Irinyi: Vegyelemek), továbbá *mennyeny* 1843 (Bugát: Szóhalmaz). Czuczor–Fogarasi nem tárgyalja.

VANÁDIUM (V) *vanadany* 1829 (Schuster: Gyógyszeres), *szineny* 1842 (Irinyi: Vegyelemek). Czuczor–Fogarasinál *színeny* vagy *szineny:* „nevezetét azon sajátságától kapta, mely szerint másodrendű vegyületei különböző, t. i. vörös, sárga és kék színűek, melyek éppen maguk a tulajdonképpeni alapszínek".

VAS (Fe) a nyelvújítást megelőző időszakban *vas*ként szerepel a szakkönyvekben és tankönyvekben, Schuster javaslatára lett *vasany* 1829 (Schuster: Gyógyszeres), amelyet Schirkhuber is átvett 1844 (Schirkhuber: Természettan. 1. kiad.). Irinyi nem fogadta el, tanulmányában a *vas* megjelölés szerepel 1842 (Irinyi: Vegyelemek). Czuczor–Fogarasinál *vasany* vagy *vas.*

VOLFRÁM (W) *farkasnyál* 1784 (Benkő–Werner), *tungértz* 1811 (Geley: Ásványok), *scheelium* 1815 (Pethe: Chémia), *farkasnyál, farkasfel* 1822 (Kováts: Ásványnévtár), *tereny* 1829 (Schuster: Gyógyszeres), *volfran* 1833 (Kerekes: Chemia), Mannó és Irinyi szerint is *seleny* 1842 (Mannó: Vegytan) és 1842 (Irinyi: Vegyelemek). Bugátnál *tereny* 1843 (Bugát: Szóhalmaz), Schirkhubernél *tereny* 1844 (Schirkhuber: Természettan. 1. kiad.), Kovátsnál *farkasnyál* vagy *nehézkő* 1845/47 (Kováts: Háromnyelvű). Jedliknél 1850 (Jedlik: Természettan) és a későbbi kémiákban *seleny.* Czuczor–Fogarasinál *farkasnyál.* A „tereny" kifejezés azért problematikus, mert a nyelvújítás idején mások ezt nem a volfrámra, hanem a tóriumra javasolták, köztük Mannó és Jedlik. Czuczor–Fogarasinál a tóriumra használják a „tereny" kifejezést.

Rövidítésjegyzék

Benkő: Minerologia = Benkő Ferentz: *Magyar minerologia* (1786)
Benkő–Werner = *A' bányász tudomány* (1784) – A. Werner művét ford.: Benkő Ferentz.
Bugát: Szóhalmaz = Bugát Pál: *Természettudományi szóhalmaz* (1843)
Czuczor–Fogarasi = *A magyar nyelv szótára.* Szerk.: Czuczor Gergely és Fogarasi János. 1–6 köt. (1862–1874)
Derczeni: Tokaji = Derczeni [Dercsényi] János: *A' tokaji bornak termesztéséről* (1798)
Fábián: Term. hist. = Fábián József: *Természeti história a' Gyermekeknek* (1799)
Fábián: Term. tud. = Fábián József: *Természeti tudomány a köznépnek* (1803)
Gáti: Természet = Gáti István: *A természet históriája* (1795, 1798)
Geley: Ásványok = Geley József: *Az ásványok országa* (1811)
Irinyi: Vegyelemek = Irinyi János: *Vegyelemek magyar neveiről.* (Orvosi Tár, 1842)
Jedlik: Természettan = Jedlik Ányos István: *Sulyos testek természettana* (1850)
Kerekes: Chemia = Kerekes Ferenc: *Chemia.* Lejegyezte: Onadi S. Sándor (1833, Kézirat)
Kováts: Állati mágn. = Kováts Mihály: *Állati mágnesség mérő serpenyüje* (1818)
Kováts: Ásványnévtár = Kováts Mihály: *Első szófejtő magyar latán* [latin] *ásványnévtár* (1822)
Kováts: Chémia = *Chémia vagy természettitka.* Gren … doktor szerint magyarúl legelőször írta: Kováts Mihály orvos. 1–4. (1807–1808)
Kováts: Háromnyelvű = Kováts Mihály: *Háromnyelvü fejtö – természethon, titoktan, orvostudomány – műszótára.* 1–8. (1845–47)
Kováts: Hufeland = Ch. Hufeland: *Az emberi élet meg-hoszszabbításának mestersége.* (Ford., néhol pedig meg-bövíttetett Kováts Mihály orvos doktor által.) 1–2. (1798)
Kováts: Med. forensis = Kováts Mihály: *Medicina forensis* (1828)
Kováts: Patika = Kováts Mihály: *Magyar patika.* 1–2. (1835)
Lánghy–Lencsés = *A természeti, gazdasági, és mesterségi esméretek tára.* Szerk.: Lencsés István, Lencsés Antal (1829)
Molnár: A természetiekröl = Molnár János: *A' természetiekröl, Nevvton tanitványainak nyomdoka szerént hat könyv.* 1–2. köt. (1777)
Nagy L.: Levegő = Nagy Leopold: *A levegőnek rövid ismertetése* (1815)
Nagy S.: Természet = Sander Henrik: *Az istennek jósága és bölcsessége a természetben.* (Ford.: Nagy Sámuel) (1794, 1798)
Nendtvich: A vegytan elemei = *A vegytan elemei.* Regnault Victor eredeti munkája nyomán írta Nendtvich Károly (1854, 1865)
Nyulas: Vizek = Nyulas Ferentz: *Az Erdély országi orvos vizeknek bontásáról közönségesen.* 1–3. (1800)
Pethe: Kímia = Sir Humphry Davy: *A' főldmivelési Kímia' gyökere.* (Ford., 's jegyzéssekkel bővítette: Kisszántói Pethe Ferentz) (1815)
Pethe: Pallérozott = Pethe Ferentz: *Pallérozott mezei gazdaság.* 1–3. (1805–1814)
Pethe: Term. hist. = Pethe Ferentz: *Természet-história és mesterségtudomány* (1815)
Reuss: Lexicon = Reuss, Franciscus Ambrosius: *Lexicon mineralogicum* (1798)
Schirkhuber: Természettan = Schirkhuber Móric: *Az elméleti s tapasztalati természettan alaprajza.* 1–2. (1844, 1851, 1852)
Schoedler: Term. könyve = Schoedler, F.: *A' természet könyve…* Magyarra tették: Jánosi Ferencz, Mentovich Ferencz és ifj. Szász Károly (1853)
Schuster: Gyógyszeres = *Gyógyszeres értekezések melyeket a' királyi magyar tudományos mindenességben tekintetes Schuster János királyi oktató vezérlése alatt a' magyar nevendék gyógyszeresek kiszabott készítménnyeik elő állításakor közönségesenn elmondottak* (1829, 1830)
Torkos: Taxa = Torkos, Justus Joannes: *Taxa pharmaceutica Posoniensis* (Posonii, 1745)
Varga: Term. tud. = Varga Márton: *A Gyönyörü Természet' Tudománya.* 1–2. (1808)
Wolny: Természetrajz = Wolny, Andreas: *Historiae naturalis elementa* (1805)
Zay: Mineralógia = Zay Sámuel: *Magyar mineralógia* (1791)

A TUDOMÁNY KÖRNYÉKÉN
– részletek Dér Zoltán visszaemlékezéséből

Pályaválasztásom

Említettem már, hogy a legtöbb középiskolai tantárgyat érdeklődéssel tanultam. Mégis középiskolai tanulmányaim vége felé egyéb hajlamaimnak fölébe kerekedett a matematika iránt való érdeklődés. Voltak többen, akik erről le akartak beszélni: legyek fogorvos („32 foga van mindegyik embernek”), legyek bányaigazgató, mert ott lehet ám igazán keresni stb. Én a matematika szaktárgyból a tanári pályát választottam a mennyiségtudomány iránti vonzódásból. Második szaktárgyként az ábrázoló geometriára gondoltam. De mert akkor a Műegyetemre is kellett volna járnom – az ábrázoló geometriát ugyanis ott adták elő – másrészt a sok rajzolástól is féltem, ezt a szaktárgyat elejtettem, és második szaktárgyul a fizikát választottam.

Zenei hajlamok is voltak bennem, de mert eléggé lámpalázas szereplő voltam, nem gondoltam, hogy zenésznek alkalmas lennék életpálya értelmében. Sőt a zeneiskolából a VIII. gimnazista koromban ki is maradtam, hogy az érettségire való felkészülésemet megkönnyítsem.

Színjeles érettségi bizonyítványom alapján megpályáztam a budapesti „báró Eötvös József Collegiumba” való felvételt. Pályázatom sikerrel járt. Felvettek félfizetéses helyre. A kollégiumot azért alapították, hogy jó tanuló bölcsészettan hallgatóknak otthont nyújtson, sőt különoktatókkal és jól felszerelt könyvtárral módot adjon nekik magasabb fokú önművelésre.

Az Eötvös Collegium

Amikor én a kollégiumba kerültem, *Eötvös Loránd,* a „legnagyobb magyar fizikus” volt a kollégium kurátora, vagyis gondnoka. A kollégium igazgatója pedig *Bartoniek Géza* volt, aki korábban báró Eötvös Loránd mellett tanársegédként működött.

A kollégium alapítása után kezdetben Pesten működött. Az én időmben már Budán volt, a Gellérthegy déli lejtőjén, a Ménesi út 11–13. szám alatti háromemeletes épületben, a különálló kertes villák sorában.

Az általában jeles, de legalább is jó előmenetelű, kollégiumba felvett egyetemi hallgatók száma 100 körül mozgott. Az én első két kollégiumi évem alatt azonban a háború miatt az egész épületben mindöszsze 20-an lehettünk növendékek, mert a hadbavonultak helyét fenntartották, nem töltötték be. Egyesek elestek, mint például az „Emil”, azaz Bartoniek igazgató fia is, vagy *Zemplén Győző* fiatal, de máris híres fizikus, műegyetemi tanár. Időnként visszatért sebesülten egy-egy tag (például felkötött karral ült az asztalnál), és amíg lábadozó volt, folytatta tanulmányait.

A kollégiumban hagyományos szokás volt a „gólyaavatás”: a gólyáknak, vagyis az (elsőéves) új tagoknak ünnepélyes felvétele a kollégium ifjúsága közé.

Az avatás így folyt le: A nagy társalgóterem – erre a célra előkészítve – a törvényszéki tárgyalóterem képét mutatta. A zöld posztóval letakart nagy asztal mellett ültek az idősebb évfolyamos tagokból kiszemelt „bírák”. Előttük az asztalon kitéve emberi koponya, keresztbetett lábszárcsontok, feszület. Felállt az „ügyész”, egy negyedéves – a mi esetünkben *Pukánszky Béla* – és előadta, hogy mint minden évben, úgy ez évben is ősz elején a hitvány gólyák piszkos csőreikkel verdesik a nemes kollégium tiszteletreméltó ablakait és bebocsátást kérnek. Vajon engedjünk-e tolakodásuknak? Ám legyen, de legalább vizsgáljuk meg tudásukat, hogy méltók-e erre a különleges helyre. Először írásbeli vizsgát tétetünk velük, majd szóbeli kérdésekre kell felelniük.

Mondanom sem kell, hogy az írásbeli tételek igen agyafúrtak voltak. Hadd izzadjon a nyomorult gólya. Például egyik matematikai példa az volt: egy gömb mellett áll egy végtelen csavarvonal. Ezt a csavarvonalat a gömb középpontjából a gömb felszínére vetítjük. Mi lesz a gömb felületén így előálló vetületvonal egyenlete?

Néhány szóbeli kérdés. Zenéből: „Melyek a kollégium alaphangjai?” Nem tudtam rá felelni. Az egyik vizsgáztatóm, *Ember Nándor,* a későbbi zongoraművész, végül is megmondta: „A kollégium alaphangjai: a „b” és a „g”, tudniillik Bartoniek Géza igazgató névbetűi. Más kérdés: „Mi volt az összetétele annak a

Az Eötvös Collegium 1911-ben átadott épülete.

Dér Zoltán (1897–1994) életének nagyobbik részét Sopronban élte le, a Széchenyi István Gimnáziumban lett legendás hírű matematika-fizika tanár. Tudós tanárként, polihisztorként őrzi őt az emlékezet. Visszaemlékezéseit nyugdíjas korában rögzítette. Halálának 20. évfordulóján emlékezünk rá.

Jakatics Árpád
nyugalmazott középiskolai tanár, Szolnok,
a kézirat szerkesztője

kősziklának, amelyre Krisztus az anyaszentegyházát alapította?" Vagy „Mi nincs a medvének?", válasz: „Nincs vakbele."

Végül az ügyész megállapította: „A gólyák, mint minden évben, igen gyenge felkészültséget mutattak. Csodálatos, hogy volt pofájuk kollégistának jelentkezni! … De legyünk irgalmasak, és jövőbeli szorgalmuk reményében ne akadályozzuk meg a további haladásukat."

Egyetemi tanáraim

A kísérleti fizikai előadásokat szerencsém volt báró Eötvös Lorándnál hallgatni. A középmagas termetű, akkor már ősz, felfelé kunkorított bajuszú, rövidre nyírtan körszakállas tudós, a „legnagyobb magyar fizikus" első előadása is megragadta figyelmemet. Kis távolságok méréséről volt szó. Bemutatta, hogyan lehet egy kötőtű felmelegítésekor a bekövetkező megnyúlást tükörről visszavert fény eltolódása alapján érzékenyen megmérni. A fényjel pár métert tolódott el a falon.

Most, amikor már tanári pályám végére jutottam, látom igazán, hogy milyen kitűnőek voltak az előadásai, mennyire világosak és szabatosak. Sőt, a jövő fejlődését is bizonyos fokig előre látta.

De Eötvös professzor 1916-ban már beteges volt. Közel állott élete végéhez.

Eötvös Loránd 1894-ben rövid ideig kultuszminiszter volt. Erre mindig sokat adott. Nem lehetett őt a más egyetemi tanároknál szokásosan „méltóságos uram"-nak szólítani, mert ő „kegyelmes úr" volt. Ha valaki tévedésből „méltóságos uram"-nak titulálta, annak azt válaszolta: „Miért nem mindjárt Loránd bátyám!"

Az első félév végén magánál Eötvös Lorándnál kollokváltam. „Hogyan lehet a föld szögsebességét és centrifugális erejét kiszámítani Budapestre vonatkozóan?" Ez volt a kérdés. Azután kezembe adott egy hosszú botot, hogy mutassam meg vele a helyszíni centrifugális erő irányát. Erre én azt feleltem: „A centrifugális erő a meridián síkban van, valamivel délebbre hajlik". Ilyen alakban feleletemet nem találta elég pontosnak. „Valamivel? Az nem beszéd" – mondta, mire én azt feleltem: „Körülbelül 45 fokkal." Így már elfogadta. Meg is mutattam az irányt. Beírta: „jelesen kollokvált". Két nap múlva Bartoniek igazgató úr magához hivatott és azt mondotta: „A kurátor úr nagyon megdicsérte."

Fejér Lipót matematikaprofesszor volt. Nagy hírnevét a Fourier-sorokra vonatkozóan felállított szummációs tételének köszönhette: „Fejér-tétel". E tételt Párizsban publikálta. Az addig ismeretlen Fejérre egyszeriben felfigyeltek a magyar matematikusok is. Mikor megjelent, egyszerűen belékaroltak.

Mint vizsgáztató közkedveltségnek örvendett. Volt vagy 10 vizsgatétele, többnyire ezeket kérdezte és nyugodtan, barátságosan vizsgáztatott. Inkább enyhe volt, mint szigorú. Sokan kéredzkedtek hozzá vizsgára, mert a vizsgára jelentkezéskor kéredzkedni is lehetett egy-egy professzorhoz.

Alapvizsgáim

Mint minden magyarországi tanárnak, bármilyen legyen is a szakja, nekem is először magyarból kellett alapvizsgát tennem. Írásbeli és szóbeli vizsgát.

Írásbeli tételem: Arany János *Buda halála* volt. Ezt a művet sohasem olvastam, éppen csak belenéztem valamikor. Az írásbeli 3 teremben folyt, egyetlen, ide-oda járkáló tanár felügyelete alatt. Ily körülmények mellett lehetőség volt a puskázásra. Minden vizsgázó zsebében ott volt a *Réger féle tartalmi kivonatok* négy kis könyvecskéje. Az enyémben is. Ebből elolvashattam a mű rövid tartalmát.

A szóbeli magyar vizsgám *Beöthy Zsolt*nál folyt le. Dolgozatomat nagyon megdicsérte. Csokonaiból feleltem, majd a főnévi igenévről, amelyet a latin gerundiumhoz és gerundivumhoz hasonlítottam. „Látszik, hogy tanult" – mondta Beöthy Zsolt.

Matematikából *Kürschák József* volt a vizsgáztatóm. Írásbelire 3 tételt is adott. Közülük szabadon választhattam. Én reggeltől ½3-ig mind a három tételt kidolgoztam. „Legalább jól kihasználta az idejét" volt a professzor véleménye. Arra már nem is emlékszem, hogy mit feleltem a szóbelin, csak arra, hogy valamit a parciális differenciálegyenletekről is.

A fizikából *Wittmann Ferenc* műegyetemi tanár vizsgáztatott. Az egyik írásbeli témám a Porro-féle messzelátó volt. A szóbelin éppen előttem vizsgázott egy harctérről hazajött katona. Ez azt sem tudta, hogy egy köbméterben hány köbdeciméter van, illetve, hány köbcentiméter. Wittmann erre azt felelte: „Meghajlok, meghajlok, harmadszor is meghajlok, de mégis megbuktatom."

E felelő után mindjárt én következtem. Miután megfeleltem a katonához intézett előbbi kérdésekre, feleltem a munkáról, a mozgási energiáról, a teljesítményről, a manométerekről, többek közt a McLeod-féle vacuumméterről, „Kegyed kitűnőt fog kapni" – mondta a professzor.

Nagy meglepetésemre és örömömre mind a három tárgyból (magyar, matematika, fizika) kitűnőt kaptam. Pedig komolyan féltem attól, hogy meg fogok bukni, mert sok mindent összetanultam a vizsga előtti három hónapban, azonban nem gondoltam arra, hogy ismételnem is kell. Vizsgám eredményének következménye volt, hogy Bartoniek igazgató magához hívatott és azt mondta: „A szép vizsga jutalmával ezentúl nem félfizetéses hallgató lesz, hanem teljesen ingyenes."

Kollégiumi élet

A kollégiumi tanárok közül a legmaradandóbb hatást *Eckhardt Sándor* gyakorolta reám. De hatása nem minden vonalon volt szerencsés. Például azt tanácsolta nekem, hogy inkább fizikával foglalkozzam, mint matematikával, mert Magyarországon sok matematikus van, de kevés a fizikának magyar művelője… Ez annyiban bizonyult helytelennek, hogy – mint utóbb kiderült – a kísérleti fizikához kevésbé szerencsések az érzékszervi és kézügyességi adottságaim. Jobb lett volna, ha inkább matematikai irányban orientálódom, ha kitartok a matematika mellett.

A kollégiumban zenetanárom volt *Waldbauer Károly* hegedűtanítási szakfelügyelő. A zenetanulásban nem voltam éppen szorgalmas, és az órákra jó néhányszor készületlenül mentem. Ilyenkor azzal mentegettem magam, hogy nagyon sok dolgom volt, mire tanárom többször megkérdezte: „Mondja csak, kényszerből tetszik hegedülni, vagy önként? … Mert ha önként, akkor szakítson rá időt. Mert mit ér az élet, ha az ember nem teheti azt, amihez kedve van?”[1]

Fröhlich Izidor egyetemi tanár a 2–4. egyetemi tanéveimben tanított elméleti fizikát: fény tana, hőtan, mágnesesség- és elektromágnesesség-tan. Klasszikus elméleti fizikát adott elő, valószínűleg *Neumann* német fizikus elméleti könyvei nyomán. Nem hallottam tőle olyan előadást, amelyiken újabb, még bizonytalan, csak kiforrásban lévő elméletekről (például relativitástan, kvantumelmélet) lett volna szó. Fröhlich nekem nyíltan megmondta, hogy a relativitástant nem képes igazán megérteni, annyira ellenkezik az ő megszokott gondolkodásmódjával.

Voltak, akik szerették Fröhlich előadásait. Köztük voltam én is. Ha már alapos tanulással átfogó képet kapott az ember az előadott anyagról: egyenesen szép volt. Hogy újabb anyagot nem adott? Meghallgatta ezt az ember másnál. Lassú volt az előadási módja? Nehéz anyagot nagy hiba gyorsan előadni. Fröhlich előadása amellett nagyon precíz volt.

Fröhlichnél a félév végi kollokválás, vagy a vizsga is egy-egy jelöltnél 3/4 óráig tartott. Sem több, sem kevesebb ideig. Kitette nagy óráját maga elé az asztalra. A hallgató a leglehetetlenebb időt is kitűzhette, hogy akkor akar felelni, Fröhlich erre pontosan megjelent. Azért kollokviumai napokon át tartottak reggeltől estig. A 3/4 óra elegendő volt neki, hogy a hallgatót alaposan kikérdezze az anyag sok részletéből.

Fröhlich, mint tudós is híres volt. Például fénypolarizációs-kísérlet sorozatairól, kinematikai és dinamikai könyvéről.

Epizódok a zavaros időkből

1919 tavaszán a kollégiumban lényegesen megváltozott viszonyokat találtam. A kollégista hadfiak leszereltek. A kollégiumban már nem húsz és néhányan voltunk, hanem több mint százan.

1919. március 21-e volt. Aznap este hangversenyt hallgattam a Zeneakadémián. Bach: *Máté passióját* adták elő. Amikor az épületből kijöttem, íme, a nagy újdonság: megkezdődött a proletárdiktatúra. Úgy rémlik, mintha még kivilágított ablakokat is láttam volna. Arra azonban határozottan emlékszem, hogy az utcán nagyon izgatott volt a hangulat, magyar és vörös zászlókat is láttam, és voltak, akik hangosan éljenezték a Magyar Tanácsköztársaságot.

Mi, akik el voltunk vágva szüleinktől,[2] államsegélyt kaptunk. Olyan papírpénzben fizették, amelynek csak az egyik oldalán volt nyomtatvány, hátsó oldala pedig üres, fehér lap volt. Éppen ezért „fehér pénznek” nevezték. Többnyire 25 koronás címletű volt. Vásárlóértéke igen csekély. Ellenben sok mindent lehetett kapni a régebbi, mindkét oldalán nyomtatott pénzért: a „kék pénzért”. De kék pénzhez csak nagy ritkán lehetett jutni, mert voltak, akik azt maguknak félretették és eldugták.

Mi, államsegélyes kollégisták március hónap végén testületileg beléptünk az ifjúmunkás szakszervezetbe. A vöröskatonai kötelező sorozáson is részt vettünk. A sorozás Budán, a Szentháromság téri iskolában volt. Én a szokásos: „katonai szolgálatra alkalmatlan” eredménnyel. Ilyenfajta rendelkezésekkel még azok sem mertek szembeszállni, akiknek elvi fenntartásai vagy aggályai lettek volna.

Nagy hiányok mutatkoztak technikai vonatkozásokban is. A kollégiumban a főbizalmi az inas volt. Maga Bartoniek igazgató úr is, ha például egy nadrágtartót akart vásárolni, az inastól tartozott engedélyt kérni. Mihamar kifogyott a cérna. Régi ruha szétfejtéséből kellett pótolni. Kifogyott a varrótű is. Nadrágom alul kirojtosodott, fenekén lyukak támadtak és nem volt mivel befoltozni. Szabó sem vállalta az anyaghiány miatt.

Gyakornok lettem

1920. nyár végéig három ajánlatot is kaptam, hogy legyek asszisztens: Fröhlich Izidorét, Wittmann Ferencét és Kürschák Józsefét. Az időrendben legelsőt: Fröhlich Izidorét fogadtam el. 1920. szeptember 1-jétől kezdve mint fizetéses egyetemi gyakornok kezdtem meg pályámat az elméleti fizikai szakos professzor mellett.

Itt feladatom kettős volt. Az elméleti fizikai intézet könyvtárának leltározása, továbbá Fröhlich professzor mérési eredményeinek feldolgozása és ennek alapján fénypolározási ellipszisek megrajzolása.

Fröhlich professzor pedáns ember volt. Minden könyvről külön cédulát kellett írni. Szerző neve, a mű címe, ki mikor és hol adta ki. A könyv méretei, a lapok száma, a könyv súlya és ábrák száma stb.

A téli időben – fűtés nem lévén – nem dolgoztam Fröhlichnek. Az emiatt télen elmaradt munkát nyáron pótoltam.

Fröhlich az őszi szüretekre is elengedett. Öt kilós postacsomagban válogatott minőségű szőlőt hoztam neki. Észrevette és nagyon megköszönte, hogy minden fürt más fajtájú volt.

1921 júniusában, befejezvén az egyetemi tanulmányaimhoz szükséges „félévszámot”, „abszolváltam”, azaz lezártam az indexemet, megváltam az egyetemtől. De a tanárok részére még egy „gyakorlati év”, mégpe-

[1] Dér Zoltán középiskolai tanárként évekig tanított éneket, vezette az iskola zenekarát és agg koráig hegedült a Soproni Szimfonikus Zenekarban.

[2] A család az ideiglenes fegyverszüneti vonalak mögött, Temesváron élt.

dig középiskolai tanításban volt előírva. Utána tehettem csak le a záróvizsgát filozófiából és pedagógiából.

Végül 5794/1922. április 24. számmal megkaptam a díszes kiállítású tanári oklevelemet. Mindkét szaktantárgyból: fizikából és matematikából kitűnő, a filozófiából és neveléstanból pedig dicséretes eredménnyel.

Tanársegéd leszek

A kultuszminiszter, *gróf Klebelsberg Kunó* szerint az „Egész-Magyarországon" való magyar uralom alapja és egyik jogcíme „a magyar kultúrfölény". Ebből nem szabad engedni, sőt azt fokozni kell. Pénzügyi zavarok ide vagy oda, az egyetemek számát nem szabad csökkenteni, sőt az egyetemek számát szaporítani kell. Így hozták létre ezekben az időkben a pécsi és a szegedi egyetemet. Pécsett már 1367-ben alapított egyetemet Nagy Lajos király. Az egyetem azonban hamarosan megszűnt. Ezt az egyetemet újította fel a magyar kultuszkormány 1922 őszén. Egyelőre, éspedig egy teljes tanévig ez az egyetem Budapesten működött az Állatorvosi Főiskolával együtt, és csak 1923 szeptemberében költözött, mint „Pécsi Erzsébet Tudományegyetem", Pécs városába. Tanárai közül többen a Budapesti Állatorvosi Főiskoláról kerültek ki, tudniillik akik vállalkoztak rá, hogy Budapestet elhagyva a Pécsi Erzsébet Tudományegyetemhez menjenek át.

Egyszer éppen Fröhlich professzorral bizonyos teendőket beszéltünk meg, amikor jött valaki hozzá, és én a látogatás idejére átmentem a szomszédos könyvtárszobába. A látogató távoztával Fröhlich azt mondta nekem: „Az imént dr. Rohrer László állatorvosi főiskolai tanár volt nálam. Ő a főiskoláról átmegy a pécsi egyetem orvosi karába fizikaprofesszornak. Asszisztenst, tanársegédet keres. Ha akarja ezt az állást, el is foglalhatja, de ebben az esetben Pécsre kell lemennie. Ott tanársegéd lehet, én nálam csak gyakornoki állás van rendszeresítve. Nem mondom, hogy vállalja el, azt sem, hogy ne vállalja. Tegyen teljesen belátása szerint."

Megtudtam, hogy *Rohrernek* a pécsi egyetemen a fizikai előadásokon kívül a Röntgen-intézetet is kell vezetnie. Énnekem pedig éppen a röntgensugarakkal voltak terveim: „A Faraday-effektus röntgensugarakkal". Ennél fogva Rohrer professzor ajánlatát elfogadtam.

A Pécsi Erzsébet Tudományegyetem főépülete.

A kollégiumi csoportkép hátsó sorában balról a harmadik Bay Zoltán, az ötödik Féja Géza író (mimdketten ki is emelve).

Utódom a szintén Eötvös-kollégista *Bay Zoltán* lett. Bay egy évvel fiatalabb évfolyamú volt. Középtermetű, hosszúkás arcú, fekete hajú, sovány fiatalember, akiben óriási volt az ambíció: egyetemi tanár akart lenni. Céltudatos, éjjel-nappal való munkával utóbb célját el is érte, a szegedi egyetemen 1930-ban egyetemi tanárnak nevezték ki. Jó barátságban voltunk, a gyulavári református pap fia később családunkat is meglátogatta. 1948-ban a radarcsillagászat atyja az Amerikai Egyesült Államikba emigrált.

Tanársegédi működésem az Állatorvosi Főiskola épületében

Rohrer László professzor emlékezetemben főként fehér munkaköpenyében jelenik meg. Többnyire jó kedélyű volt. Láttam ugyan haragos állapotban is, de ilyenkor is udvarias magatartást tanúsított.

Ívlámpát is bemutattunk működés közben. „Fenn" a próbateremben simán ment, „lenn" a földszinten, a tanteremben a hallgatók előtti bemutatáskor bekapcsoláskor az ívlámpa kigyulladt és nagy lánggal égni kezdett. De miért? Mert fent az emeleten a falba volt építve egy előtét-ellenállás, a tanteremben azonban nem, és így az utóbbi helyen, annak hiányában a kísérlethez túlságosan nagy volt az áramerősség. Okultam ebből is: nem elég valamit fenn az emeleten kipróbálni, de az előkészítés során a bemutatás helyén is lehetőleg próbát kell végezni.

Minthogy mindig attól féltem, hogy egyik vagy másik kényesebb kísérletem nem sikerül, az órák gyakran nagy idegfeszültséget okoztak nekem.

Pécs

Csaknem minden délelőtt, mihelyt az orvoskari fizikai óránk lezajlott, nyakamba vettem a várost *Bedő József* altiszt társaságában, aki egy fatálcát hozott magával. Végigjártunk több középiskolát (a cisztercita gimnáziumot, a pécsi főreáliskolát, a Rákóczi katonai főreáliskolát) és azok szertáraiban kerestünk eszközöket a másnapi fizikai előadásunkhoz. Ami a célnak megfelelt, azt a szaktanároktól kölcsönkértem. Szívesen adták. Volt úgy is, hogy a kölcsönkapott eszköz hibás volt. Bedő altiszt kijavította és így megjavítva kapták vissza.

Én voltam megbízva az egyetem meteorológiai állomásának naponta háromszor végzendő leolvasásával. Reggel 7, délután 2 és este 9 órakor az udvar közepén felállított időjárási házikóban elhelyezett eszközökről le kellett olvasnom a hőmérsékletet, a légnyomást és a levegő nedvességét, és a leolvasott adatokat egy papírlapra írva át kellett adnom naponta a professzornak, aki belőlük jelentést készített és felküldte a budapesti központnak.

Az intézet röntgenosztályán Rohrer professzor nap mint nap vizsgálta és sugarakkal kezelte a betegek nagy sokaságát. Szegény rákos nők százait. Többnyire idősebbek voltak, de volt közöttük például 29 éves is. „Mi lesz velük?” – kérdeztem. A válasz így hangzott: „Röntgenkezelés nélkül eléltek volna, mondjuk negyed évig. A besugárzás meghosszabbítja az életüket. Élélnek vagy két évig.”

A betegségek felismerése céljából mindennaposak voltak nálunk a mindkét oldalon érzékeny réteggel bevont filmekre történő röntgenfelvételek is.

Szívesen láttuk, ha meglátogatták intézetünket, és mutogattunk a tudni vágyóknak.

A sok röntgenezés a szervezetre veszélyes, rákot is okozhat. Rohrer professzor is használt ólomfalat, a kivágásban pedig ólom tartalmú üvegből ablakot. Az ólom ugyanis, mint nagy atomsúlyú anyag elnyeli a röntgensugarakat. Az asszisztensnőnk zsebében lévő, továbbá a harmadik helyiségbeni fotográfiai szoba asztalfiókjában lévő filmek is lassanként megfeketedtek a ruhán, a falakon, fán is átmenő röntgensugaraktól. Rohrer professzor végül valami altesti rákban halt meg 63 éves korában, és nem lehetetlen, hogy baját a sok röntgensugárzástól kapta.

Újra Budapesten – Tangl Károly professzor mellett

Tangl Károly valamikor báró Eötvös Loránd tanársegéde volt. Részt vett a Dobbiaco (Tirol, Dolomitok) közelében végzett ingás méréseken is. Idővel báró Eötvös Loránd utóda lett az I. számú fizikai intézetben.

1925. augusztus legvégén jelentkeztem szolgálattételre új főnökömnél. Ő egyfelől kísérleti fizikát adott elő évről évre az egyetem első éves bölcsészettan- és orvostanhallgatóinak, másfelől vezette, irányította az intézetben folyó tudományos munkát és a felsőbb éves bölcsészettan-hallgatók szakdolgozatához előírt laboratóriumi méréseket. A fizika tudományát több jelentős dolgozattal gazdagította saját tudományos munkálkodásainak eredményeként.

A zömök termetű, szélesded képű, mindig szemüveget viselő Tangl professzor közvetlen modorú, kedves ember volt. Ha nem forgott fenn ellenkező, alapos ok, mindenkihez szíves, jóakaratú, segíteni kész volt.

Maga az I. számú fizikai intézet egy külön álló, egyemeletes épület. Az emeleten lakott a professzor, egy másik szárnyon az Eötvös baronesszek: báró Eötvös Loránd két lánya. Mindketten edzett sportladyk, akik kirándulásképen például Tirolba mentek biciklitúrára. Az emeleten volt még egy nagy, jól elsötétíthető laboratóriumi helyiség. Azután még egy nagy előkészítő terem az előadások eszközeinek (egyúttal *Kurta Géza* műszerész műhelye).

Baintner Géza tanársegéd feladatköre volt az előadási kísérletek előkészítése. Az előadások alkalmával benn ült az előadóteremben és a professzor szavainak nyomában bemutogatta az esedékes kísérleteket.

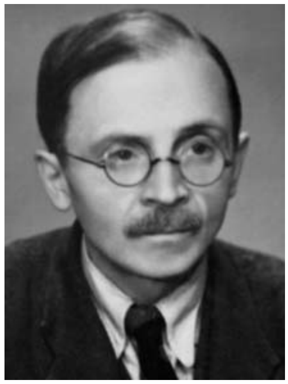
Én, mint tanársegéd, vezettem a felsőbb éves fizikaszakos bölcsészettan-hallgatók laboratóriumi méréseit. A szakdolgozat céljára szolgáló laboratóriumi méréseket a bölcsészettan-hallgatók a mi intézetünkben végezték el. Feladatköröm volt a hallgatóval megtárgyalni, hogy a választott dolgozattémához milyen mérőeszközök állnak a mi szertárunkban rendelkezésre, tehát milyen mérések eszközölhetők, megvitatni vele a követendő mérési eljárásokat, kiadni ahhoz az eszközöket, segíteni a mérőeszközök beállításában, elhárítani a mutatkozó nehézségeket és a mérések befejezése után leltár szerint visszavenni a használt eszközöket. Akadtak közben nagy nehézséggel megoldható problémák is. Ilyenkor a professzorhoz fordultam tanácsért, és anélkül, hogy a hallgatóra bíztam volna, magam vettem kezembe a dolgot, és csak miután kidolgoztam az eredményes mérés keresztülvihetőségének módját, mutattam be azt az érdekelt hallgatóknak. Akkor is ezt az utat követtem, amikor a mérés váratlan, szokatlan eredménye arra utalt, hogy valami zavaró körülmény működik közre. Az ok kiderítése nem egyszer hosszas találgatásokkal, különféle próbálgatásokkal járt, amíg végül is sikerült kiküszöbölni a zavaró okot és a mérés azután már zavartalanul ment tovább.

A személyzethez tartozott Kurta Géza műszerész is. Nélkülözhetetlen segéderő volt a professzor, a tanársegédek és a hallgatók méréséhez szükséges különféle fém- és segédalkatrészek előállításához. Legfőbb szerszámgépe egy jelentékeny méretű esztergapad volt. Jó szemű, ügyes kezű ember volt, értett mindenféle technikai dologhoz, például üvegfúváshoz is.

Saját tudományos kutató munkáim és próbálkozásaim

Egyetemi tanársegédként tudományos kutatómunkát is kellett végeznem. Még a pécsi Rohrer-féle intézetben megkezdett témám volt a röntgensugarak Faraday-effektusa. Pécsről azonban eljöttem még mielőtt érdemleges eredményt értem volna el e témával.

Megpróbálkoztam tehát másképpen. Egy kis gázionos röntgenlámpát működtettem szikrainduktorral. A keletkező röntgensugarak útjába egy, a mennyezeten megerősített fonálon lógattam le egy paraffingömböt, és egy elektroszkóppal két, egymásra merőleges irányban mértem a paraffingömbről visszaverődő röntgensugarak erősségét. Kiderült, hogy a szikrain-

A Soproni Széchenyi István Gimnázium és legendás tudóstanára, Dér Zoltán (1952).

duktor és a hozzávezető drótok kisugárzása is hat az elektroszkópra, nemcsak a röntgensugaraké. Mire az egész áramkört pléhbevonat és Bergmann-csöveken való drótátvezetés útján földeltem. Mindez azonban nem volt elég: a két egymásra merőleges „fő” irányban egymás után mérve a visszavert röntgensugarak erősségében semmiféle állandó különbséget nem tudtam kimutatni. Ennek oka csak az lehetett, hogy röntgenlámpám sugárzásának erőssége nem állandó, hanem folyton ingadozott.

Erre a professzor azt mondta: „Látjuk tehát, hogy itt jobb, tehát nem gázionos, hanem thermoionos röntgenlámpára lenne szükség. Ez azonban a mai árak mellett belekerülne 100 000 000 koronába is. Ennyi pénze az egyetemnek nincs. Halassza el ezt a kísérletet jobb időkre.”

Az új témám lett ilyenformán: „az alumínium felületi feszültségének meghatározása”, azaz annak a jelenségnek a kimutatása, illetve lemérése, hogy a vékony alumíniumszalag, ha száraz állapotból vízbe jut, megnyúlik. Az igen kismértékű változás annál jobban kimutatható, minél vékonyabb az alumíniumszalag.

Már a negyedik évemet töltöttem Tangl professzor intézetében, amikor a professzor közölte velem: a minisztériumban kifogásolták, hogy ő túlságosan sokáig tartja magánál asszisztenseit. Felhívott, hogy adjam be pályázatomat a minisztériumhoz középiskolai tanári állásra. Egy különlegesen dicsérő hangú ajánló levelet is írt számomra, amely többek között azt is tartalmazta, hogy én az ő tudományos intézetében kutató munkát végzek, és bíztató kilátás van arra, hogy ez a munka sikerrel fog járni. Ezért engem ne helyezzenek el akárhová, hanem csak olyan helyre, ahol fizikai laboratóriumok vannak, és ahol megvan a további tudományos búvárkodásra a lehetőségem. Engem pedig arra a bíztatott, hogy ha el is távozom az intézetéből, folytassam munkámat a leendő állomáshelyemen és szerezzek magamnak magántanárságot.

Mint tanársegédnek Rohrer professzor mellett 110 pengő havi fizetésem volt. Tanglnál is eleinte ennyi, később azonban Tangl kivívta, hogy havi fizetésemet 180 pengőre emelték. Holott, hogy ha egyetemi tanársegédeskedésem helyett az egyetemi tanulmányaim befejezése után mindjárt középiskolai tanárként helyezkedtem volna el, akkor ez idő tájt már körülbelül havi 240 pengő lett volna a fizetésem. A tanársegédeskedésre tehát abban az időben valójában ráfizetett az ember. Mégis, a professzorok mellett igen sokat lehetett tanulni – mondjuk – egy fényes, jobb jövő reményében. Ezért vállalta sok, ambiciózus fiatalember inkább a tanársegédi állást. A végeredmény azonban az volt, hogy csak egyes legalkalmasabb, legtehetségesebb, legügyesebb, legszerencsésebb és legkitartóbb asszisztensek lettek egyetemi tanárok vagy más tudományos kutatóintézetek tagjai. A többi, a zöm ellenben végül is a középosztály számára adatott pályán kötött ki. Ez utóbbi lett az én sorsom is. Nem fogadtam meg Tangl professzor tanácsát, hanem a középiskolához átkerülvén, lemondtam arról az álomról, hogy egyetemi tanár legyen belőlem.

Kudarcok és siker

Tangl Károly elküldte utánam az ő intézetében általam használt kísérleti eszközöket. Úgy a polarizált röntgensugarak vizsgálatára szolgáló berendezést, mint a fémszalagok felületi feszültségének vizsgálatára szolgáló Tangl-féle készüléket. Mindezeket gondosan becsomagolta Baintner Géza tanársegéd társam. Sértetlenül és hiánytalanul meg is érkeztek. De nem adták fel a leolvasó távcsövet, a tükörleolvasásra szolgáló skálát és megvilágító villanylámpákat.

Még 1929 őszén felkerestem a Soproni Erdészeti, Bányászati Főiskola több tudományos – mechanikai, fizikai, elektromosságtani témakörű – intézetét, hogy ezeket a kiegészítő eszközöket kölcsönkérjem. De ezekben az intézetekben nem találtam ilyeneket. Egyelőre tehát a további keresésről lemondtam, mert sok középiskolai feladat nehezült vállamra (heti 22 óra, fizikai gyakorlatok, a februári kabaréban zenekari szereplés).

A másik témám – a Tangl-adta téma: a szilárd testek, közelebbről a fémszalagok felületi feszültségének megváltozása a vízbe mártáskor – úgy élt emlékezetemben, hogy ez egy gyötrően kínos kézügyességi vergődés. Amikor az említett röntgenmérésem kudarccal végződött, akkor sem vettem elő a felületi feszültség témáját.

Így gondolkoztam: hét évi vergődés után nincs még doktorátusom. Ha újabb hét év alatt mégis megszerzem, akkor tizennégy évi vesződség megéri-e nekem? Mit nyerek vele? Egy üres címet? És csak ezután jön a magántanári fokozat. Valószínűleg az is elhúzódik. Jó, ha talán 50-60 éves koromban egyetemi tanár lehetnék. Ez azonban ebben az életkorban legfeljebb már csak a magasabb nyugdíj szempontjából számítana. És ezért áldozzam fel életem nyugalmát és minden szabad időmet? De hátha meg sem érem!? A „minap” is meghalt két magántanár, az egyik 39 éves korában. Mit nyertek a magántanársággal? Az orvosoknál más. Az orvos magántanárt több páciens keresi fel, és jobban megfizetik, de egy bölcsész magántanár – úgy képzeltem – nem nyer e címmel semmit. Abból az akkori szemléletemből kiviláglik, hogy nemcsak tiszta tudományos szellem, hanem „kalmár” szellem is élt bennem. A mai szemmel nézve most már hibáztatom akkori álláspontomat: a feszültségi mérést addig kellett volna erőltetnem vagy módosítanom, míg valami eredményre nem jutok. És azután az eredmény leközlésével ezt a témakört elhagynom. Szebb gesztus lett volna, mint lenyelni Tangl professzor szemrehányásait amiatt, hogy ezt a mérést abbahagytam. Mikor mentegetőztem, hogy milyen kínosnak találtam ezt a mérést, mert egy nap alatt csak egy szalagot tudtam készíteni, Tangl kinevetett és azt mondta: „Az semmi. Kínlódás. Valamikor én is foglalkoztam ezzel a méréssel. Nekem is nehezen ment, és az első eredmény leközlése után én is abbahagytam.”

Ám nem hagytam teljesen abba a tudományos munkálkodást. *Vendl Miklós* professzortól kértem és kaptam egy újabb témát…

A hosszú számítások végeredménye három lapon jelent meg Berlinben, a *Zeitschrift für Kristallographie* 103. számot viselő, 1941-ben megjelent kötetében, ennek 431–433. lapján. De ez a cikkem nem volt alkalmas doktorátusra, mert a felvételeket nem én készítettem, hanem Vendl professzor. Én csak a hosszadalmas számításokat végeztem. Ekkor már nem is a doktorátus megszerzése volt munkám célja, hanem csak az, hogy magasabb neveltetésemért mintegy tudományos eredménnyel fizessek.

Később azután fizetett is valamit az elért tudományos eredmény. Bizonyos jó hírnevet szereztem általa, és pár éven át akadémiai mellékfoglalkozáshoz jutottam.

Radnai Gyula Fizikusok és matematikusok az Eötvös Collegiumban 1895–1950. című, idén ősszel megjelent kötetének 139–142. oldalai mutatják be Dér Zoltánt, a polihisztor tanárt.

KÖNYVESPOLC

Radnai Gyula: FIZIKUSOK ÉS MATEMATIKUSOK AZ EÖTVÖS COLLEGIUMBAN 1895–1950

ELTE Eötvös József Collegium 2014, 339 oldal

Az Eötvös Collegiumról tanáromtól és későbbi kollégámtól, *Vermes Miklós* tanár úrtól hallottam először, aki a világot és az embereket nagyon kritikusan nézte, de az igazi érték előtt fejet hajtott. Így volt ez a Collegiummal is, amelynek 1923–28-ig tagja volt. Óráink után, a hagyományos kávézás közben nagyon szívesen és sokat mesélt az ott töltött éveiről. A „filoszokról” (azaz bölcsészekről), a természettudósokról, a nagykönyvtárról, ahová éjszaka is be lehetett menni. A számtalan vidám történeten túl mindig a legnagyobb elismeréssel beszélt a Collegium szellemi atmoszférájáról és lakóiról. Az elhangzottak alapján mi is tisztelői lettünk a Collegiumnak, csak azzal nem értettünk egyet, hogy a női nemet kihagyták e földi paradicsomból.

Ezek után nagy érdeklődéssel vártam *Radnai Gyula* új könyvének bemutatóját, amelyet 2014. szeptember 3-án az Eötvös Collegiumban rendezett ünnepség keretében *Keszthelyi Lajos* akadémikus, egykori collegista tartott.

A könyvbe belemerülve élvezetes időutazásba kezdhettem. Természetesen, először a számomra kedves ismerősökre voltam kíváncsi (*Bakos Tibor, Bayer István,* Vermes Miklós). Olvasni e történeteket olyan élmény volt, mintha újra vendégségben lettem volna náluk, és emlékeim mozaikja most egészült teljes képpé.

Az *Előszóban Horváth László,* a Collegium jelenlegi igazgatója méltatta a könyvet: monográfia ez, amely a huszadik századi magyar szellemtörténetbe is bepillantást adó, nagy ívű tudománytörténeti áttekintés, azon kívül az Eötvös József Collegium történetének kutatásában is egyedülálló, hiánypótló kiadvány.

A szerző a *Bevezetésben* ismerteti a könyv felépítését és forrásait. A Collegiumnak az 56 év alatt körülbelül 200 matematika-fizika szakos diákja volt. A Collegiumból sokkal több híres fizikus, mint matematikus került ki, ezért vannak a címben elől a fizikusok. A szerző a könyv felépítésében kronológiai sorrendet követ, néhány indokolt eset kivételével. A mű forrásai a Collegium levéltárában fellelhető dokumentumok, az interneten szerkesztett História – Tudósnaptár és a szerző előadásainak anyaga.

A könyv nem egyszerűen életrajzok összessége, hiszen a Collegium és a 20. század története lebilincselő olvasmány formájában nyomon követhető benne.

Radnai Gyula dedikál.

Mit tudhatunk meg a Collegiumról?

Az intézet célja minél kiválóbb tanárokat nevelni, és a megélhetés gondjaitól felmenteni az ifjakat, hogy teljesen tanulmányaiknak szentelhessék magukat.

Az első fejezet a Collegiumot megálmodó *Eötvös Lorándot* és *Bartoniek Gézát* mutatja be. Két, kiváló adottságokkal és jellemmel rendelkező ember, akik felismerve a kor igényeit, tudós tanárok képzését valósították meg.

Ketten alakították ki a Collegium sajátos szellemét, a szabadság és a fegyelem különleges egyensúlyát. Az első igazgató Eötvös munkatársa, Bartoniek Géza lett, aki nagy tekintélyű nevelő volt.

Nem volt könnyű bekerülni a Collegiumba, kezdetben miniszteri döntés, később alapos „fejkopogtatás", azaz felvételi vizsga előzte meg. De messzemenően támogatták a vidéki, szegény sorsú, tehetséges tanulókat, akik között szép számmal voltak pedagógus szülők gyermekei.

A Collegium egyaránt ösztönzött a tudomány művelésére és a tanári hivatásra, továbbá a széleskörű érdeklődést táplálta. A collegisták látogatták az egyetemi órákat, a Collegiumban pedig kiváló tanárok foglalkoztak velük. A tanári kar a hallgatókat öntevékeny munkára nevelte, hogy a tananyagot maguk dolgozzák fel és kutató munkát is végezzenek. Mindenki számára kötelező volt két nyelv tanulása, amely nagy segítséget jelentett később a külföldi tanulmányutakon. A collegisták többségének lehetősége nyílt híres külföldi egyetemeken, kiváló professzorok mellett tanulni (*Rutherford, Laue, Hilbert, …*).

A könyv fejezetcímeinek egy része (*A Collegium alapítása, Az új épület első lakói*) a Collegium történetének korszakait jelzi, más része a diákok valamilyen hasonló szempont szerinti csoportosítására utal (*Hárman a Debreceni Református Kollégiumból* stb.). Vannak címek, amelyek a hasonló tudományos pályafutásra céloznak (*Intézetvezető tudósok lettek*). A vezérfonal a kronológiai sorrend.

Ez a könyv olyan, mint egy érdekfeszítő történelmi olvasókönyv, lelkesítő sikertörténetekkel és helyenként tragikus végű életekkel (*Bartoniek Emil, Zemplén Győző, Veress Pál, Bölcsházy Árpád*). A különböző történelmi események, mint rendszerváltások, gazdasági válságok, háborúk a Collegium védőfalai mögé is behatoltak, erősen befolyásolva az egyes emberek (*Lipták Tamás, Károlyházy Frigyes*) és az intézmény életét is.

A könyv megismertet olyan kiváló emberekkel, akiknek legtöbben sajnos még a nevét sem hallottuk eddig (*Steiner Miklós, Jakucs István, Dér Zoltán,* Bartoniek Emil, *Grynaeus István …*). Bemutat alig ismert tudománytörténeti eseményeket. Több életrajz oszlat el téves ismereteket, hoz tisztánlátást. Csodálatos tanáregyéniségeket, példaképeket ismerhetünk meg (*Cornides István,* Grynaeus István, *Párkányi László, Szalay Sándor …*). Embereket, akik a hazai tudományos élet fejlesztésén munkálkodtak, kutatói közösségeket (*Fekete Jenő, Novobátzky Károly, Riesz Marcel*), intézményeket (*Visnya Aladár, Hosszú Miklós,* Szalay Sándor …), egyetemi tanszéket (*Bay Zoltán*) hoztak létre. Nevükhöz számtalan tanulmány, könyv fűződik. Világhírű tudósok egész sorát találjuk köztük (Bay Zoltán, *Faragó Péter,* Szalay Sándor, *Detre László, Izsák Imre Gyula,* Riesz Marcel).

És azok, akik „csak tanárok" lettek? Az ő érdemük sem kisebb, továbbvitték a Collegium szellemiségét a középiskolákba (*Dér Zoltán, Gelléri Emil,* Jakucs István, *Somogyi Gyula,* Vermes Miklós).

Nyomon követhető a Collegium szellemiségének generációkról generációkra történő maradéktalan, tudatos továbbadása. Hogy csak egy példát említsek: A II. fejezetben olvasható Steiner Miklós 1904-ben írt tanulmányának egy részlete a középiskolai fizika oktatásáról. Olvasása közben mintha Vermes Miklóst hallottam volna. Ő ugyanezeket az elveket vallotta 1970-ben is, akárcsak *Tarján Imre* 2000-ben.

Helyenként nyomon követhetők „szellemi családfák" (ki kinek volt tanára, kollégája) is, például a soproni lánc: *id. Renner János–Rátz László–Mikola Sándor*–Vermes Miklós–*Léviusz Ernő,* bár itt nem volt mindenki collegista. Vagy Jakucs István–Bay Zoltán, Novobátzky Károly–Károlyházy Frigyes.

Értesülünk a könyvből az Eötvös-verseny, a *Középiskolai Matematikai Lapok,* majd utódja, a *Középiskolai Matematikai és Fizikai Lapok* és a Bolyai Társulat születéséről.

Az életrajzokat kedves, vidám történetek teszik élményszerű olvasmánnyá. Hasonlóképpen színesítik a könyvet a kiválasztott tanulmányok (Eötvös Loránd: A torziós ingával végzett kutatásokról, Bartoniek Emil: A röntgensugarak természetéről, Sándor Endre: A 60 éves röntgensugárzás). Újra olvashatjuk *Staar Gyula* Bakos Tiborral, illetve Cornides Istvánnal készült interjújának kiválasztott részleteit és a megemlékezések sorát.

Gazdag a könyv képanyaga és kivitelezése is igényes.

A Collegium 1895–1948 között megvalósította eredeti célkitűzéseit: tudós tanárokat képzett, akik egyben kiváló emberek is voltak. 1950-ben szűnt meg, de szellemisége évekkel előbb megváltozott. Azokban az években nem tűrték a szabad és független szellemet. (A Collegium jelszava a: „Szabadon szolgál a szellem” volt.) 1956 után újjászervezték. Napjainkban komoly törekvések vannak a hagyományok felelevenítésére.

A könyv is elérte nemes célját. Emléket állított elfelejtett, nagyszerű embereknek. Lelkesítően hat az utódokra: így érdemes tanulni, tanítani, kutatni. Reflektorfénybe állítja a mindenkori oktatási vezetők felelősségét a tehetséggondozás, tudósképzés és a tanárképzés területén.

Elismerés és köszönet illeti a szerzőt, hogy ezzel a kiváló könyvvel ajándékozta meg a széles olvasóközönséget. A könyv élmény annak, aki ismerte a szereplőket, de élmény annak is, aki most ismerkedik velük. Különösen ajánlom tanároknak és diákoknak, mert tudásban, emberségben követendő és követhető példaképeket állít eléjük. Tanárok számára nagyon tanulságos, hogy a tanítványok mit tisztelnek tanáraikban, hogy a vallomások szerint mit ne tegyenek, s mitől jó egy iskola.

A szerző említi, hogy a könyv nincs befejezve, hiányoznak azon tanárok életművei, akik nem lettek országos hírűek, „csupán” egy iskolában nevelték az ifjúságot. Érdeklődve várjuk a folytatást!

A könyv kis példányszámban készült. Az iskolák egy-két példányért fordulhatnak a Collegium igazgatójához. A könyv elérhető az alábbi linken: http://honlap.eotvos.elte.hu/uploads/documents/kiadvanyok/fizikusok.pdf

Krassói Kornélia

Geszti Tamás: KVANTUMMECHANIKA

3. javított és bővített kiadás, Typotex, Budapest, 2014.

A *Fizikai Szemle* olvasói már bizonyára értesültek róla; az év elején megjelent *Geszti Tamás* professzor *Kvantummechanikájának* 3. kiadása. Ez igen örvendetes, mert egyértelműen bizonyítja a könyv sikerét és következtetni enged arra, hogy az elméleti fizika iránt érdeklődők körében számosan vannak, akik felismerték; a tudományos alapismeretek elsajátításának leghatásosabb eszköze ma is a tankönyv. Pontosabban: a jó tankönyv. Mi teszi ilyenné Geszti könyvét? Elsősorban természetesen a szerző szakmai kompetenciája. Továbbá a részletekre is kiterjedő, gondos didaktikai megformálás, igazodás a tanszak követelményeihez, és végül az olvasó elvezetése a kutatás aktuális területeiig.

Az első kiadást részletesen ismertettük (*Fizika Szemle 57/8* (2007) 279.). Lássuk most, miben különbözik ettől (és a másodiktól, ami az első változatlan utánnyomása) az idei harmadik kiadás. Ez kemény kötésű, mintegy 40 oldallal terjedelmesebb és (vélhetően ezért is ezer forinttal drágább). A törzsszöveg három új fejezettel bővült: *Kísérletek kétfoton-állapotokkal, Szintkeresztezés: amikor nincs és amikor van, Schrödinger macskája* (és a *Függelékből* idekerült, ahova való), a *Kölcsönhatási kép*. Három új témakörrel bővült a *Függelék* is: *A Planck-törvény előzményei, Második kvantálás* és *Kvantum-nanomechanika*.

Mind a hat téma jelentékenyen gazdagítja a könyv anyagát. A viszonylag szerény eszközöket igénylő *Hanbury Brown–Twiss* kétfotonkísérletet (1956), nagy jelentősége dacára, csak kevés tankönyv tárgyalja, magyar nyelvű tudomásom szerint egy sem. A szintkeresztezésre vonatkozó Neumann–Wigner-tétel talán a legszebb „magyar származású” kvantummechanikai felismerés, amely az utóbb évtizedekben a kvantum Hall-effektussal és a kvantumkáosszal kapcsolatban is fontos szerephez jutott. A második kvantálás kapcsolatot teremt a kvantummechanika és a kvantumtérelmélet között és lényegesen leegyszerűsíti az azonos részecskékből álló rendszerekben fellépő jelenségek tárgyalását (lásd szilárdtestfizika). A Schrödinger macskájáról szóló fejezet hidat ver a fizikatanárok és fizikushallgatók körében is népszerű ismeretterjesztő irodalom felé, lehetőséget nyújtva a formalizmust mellőző, leegyszerűsített tárgyalásmódból származó esetleges félreértések felismerésére. A sok kínálkozó téma közül igen szerencsés választásnak tűnik a kvantumnanomechanika.

Kirajzolódik, hogy ez a téma a jövőben egyre intenzívebb kísérleti és elméleti vizsgálódás tárgya lesz. Az aktualitásnál talán még fontosabb itt azonban a didaktikai szempont; a téma megköveteli ugyanis a dekoherencia fogalomkörének alapos megértését.

De miről is van itt szó tulajdonképpen? A puskából kilőtt sörét, (ha a nehézségi erőtől eltekintünk) a klasszikus kinematika törvényeinek megfelelően mozog, míg nagy molekulák (például a fullerén) szabad mozgása a de Broglie-féle anyaghullám-kinematikának tesz eleget. Mi szabja meg, hogy mikor melyik viselkedés lép fel? A szerző itt eltekint a kérdés megválaszolására irányuló, még folyamatban lévő (a dekoherencia és a hullámcsomag kollapszusa tárgykörökbe eső) elméleti próbálkozások ismertetésétől. Ehelyett inkább a kísérletek előfeltételét képező kvantumhűtés különböző módszereibe ad betekintést. A kvantummechanika egy szinte szemléletes oldalát ismerjük meg és egyszer csak elkezdünk a dolgon önállóan gondolkozni.

Heti négy órás kurzust és két óra gyakorlatot feltételezve a könyv anyagának nagy része előadható egy félév alatt. Ahol az egész elméleti fizikára csak két félév jut, ott talán meg lehetne kísérelni, a mechanikáról és elektrodinamikáról a kvantummechanika és a statisztikus fizika javára lemondani (az érdeklődés és a színvonal növekedésének reményében).

Geszti *Kvantummechanikája* egy gondosan kidolgozott tankönyv, amely kibontakoztatja a tárgy lebilincselő vonzerejét. A szerzőt megilleti a diákság, az egész hazai fizikustársadalom lelkes köszönete. Reméljük, sikeres példája követőkre talál.

Utóirat. Aki teheti, olvassa Geszti könyvét párhuzamosan *Patkós András Bevezetés a kvantummechanikába: 6 előadás Feynman modorában* című munkájával (Typotex, Budapest, 2012). Fizika ugyan csak egy van, de ezt az egyet a fizikusok (esetenként nagyon is) egyéni gondolkodás- és beszédmódja színes sokasággá képezi le. A két mű párhuzamos olvasása elősegíti mind a teljesebb tárgyismeret elsajátítását, mind az önálló gondolkodás kialakulását.

Hajdu János (Köln/Budapest)

A FIZIKA TANÍTÁSA

KÁOSZ EGY TÁLBAN

Tóthné Juhász Tünde – Karinthy Frigyes Gimnázium (Budapest)
Gócz Éva – Lónyai Utcai Református Gimnázium

„Ha valamit nem értesz, írj róla tanulmányt!”

(*Buza László*)

Még mielőtt az olvasó nagyon megijedne, szeretnénk leszögezni, hogy a fenti idézet nem a szerzők hozzáértését hivatott minősíteni, sokkal inkább egyfajta módszertani útmutatás kíván lenni.

Az ELTE Fizika Doktori Iskolájának előadásait látogatva meglepetten tapasztaltuk, hogy a kaotikus mechanika nevű tantárgy vizsgafeltételeként mindenkinek saját szimulációt kellett készítenie egy tetszőlegesen választott kaotikus példából. Eleinte hitetlenkedve fogadtuk, hogy mi erre valaha is képesek leszünk, azonban a szimuláció során szerzett tapasztalatok arra sarkalltak minket, hogy kollégáinknak is megmutassuk, a káosz megértéséhez egyetlen jó út vezet: a kísérletezés, a saját felfedezés élménye.

Mindehhez oktatási segédanyagot is készítettünk, amely egy nagyon hasznos, ingyenesen letölthető program – a Dynamic Solver – használatának segítségével bemutatja, hogy egyszerű szimulációval miként vizsgálhatjuk a bonyolult tálban mozgó golyó kaotikus mozgását. Az oktatási segédanyag – amely lényegében összefoglalja, hogyan írhatunk be különböző differencálegyenleteket a programba, valamint milyen grafikus beállításokra van szükség a szimuláció futtatásához – letölthető az ELTE Fizika Tanítása Doktori Iskola honlapjáról [1].

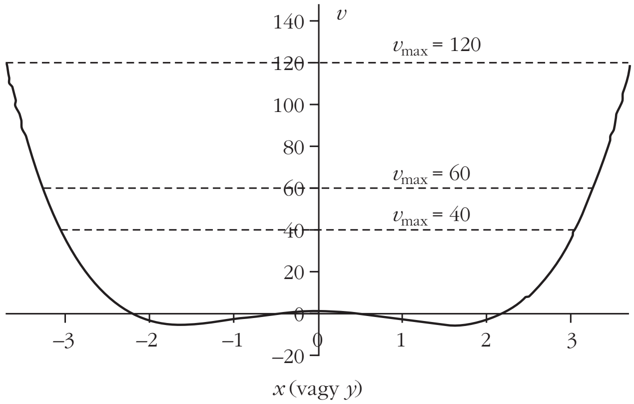
A kaotikus mozgások elméleti hátterét természetesen nem kívánjuk részletesen tárgyalni, erre jó szakirodalom áll rendelkezésre [2] és számos cikk foglalkozik a téma középiskolai tanításával is, azonban a legfontosabb vonásokat bemutatjuk egy konkrét példán, a bonyolult tálban mozgó golyó esetén.

Milyen a bonyolult tál?

Kaotikus mozgás vizsgálatához szabálytalan mozgásra van szükségünk. Szabálytalanságon itt azt értjük, hogy a vizsgált mozgás tetszőlegesen hosszú ideig sem ismétli önmagát.

Matematikailag nézve minden, legalább három elsőrendű, nemlineáris, közönséges differenciálegyenlettel leírható rendszer viselkedése általában kaotikus [3]. Ez a megfogalmazás persze nagyon messze áll attól, amit középiskolás diákoknak akár szakkör keretein belül meg lehet tanítani, de ezt leegyszerűsíthetjük számukra úgy, hogy például az egydimenziós gerjesztett és a kétdimenziós súrlódásmentes mozgások döntő többsége kaotikus. Az általunk bemutatott példa ez utóbbi osztályba tartozik, itt azonban figyelni kell arra, hogy ha az energián kívül létezik még egy megmaradó mennyiség, akkor az megakadályozza a kaotikus mozgás kialakulását.

Tálban mozgó golyó esetén (súrlódásmentes esetben) – ahol maga a tál alakja határozza meg a potenciált – tehát azt kell megkövetelnünk, hogy a tál legyen „bonyolult”, azaz ne legyen forgásszimmetrikus (*1.* és *2. ábra*). Ilyenkor ugyanis a tál alakja centrális



1. ábra. A tál x-tengely (vagy szimmetria miatt y-tengely) menti metszete. A vízszintes segédvonalak a $V_{\max} = 40$, $V_{\max} = 60$ és $V_{\max} = 120$ esetekben mutatják a tál peremét.

potenciálnak felelne meg, ahol a perdület megmaradása miatt a pályák egyszerűek lennének éppen úgy, ahogy a centrális erőtérben mozgó bolygó példájában is, így nem alakulhatna ki szabálytalan mozgás [4].

Az általunk vizsgált (nem forgásszimmetrikus) potenciálfüggvény a következő:

$$V(x, y) = x^4 + y^4 + x^2 y^2 - 5 x^2 - 5 y^2 - x y.$$

Alkalmasan megválasztott (dimenziótlan) egységekben a V = konstans görbe egyben a tál alakja is.

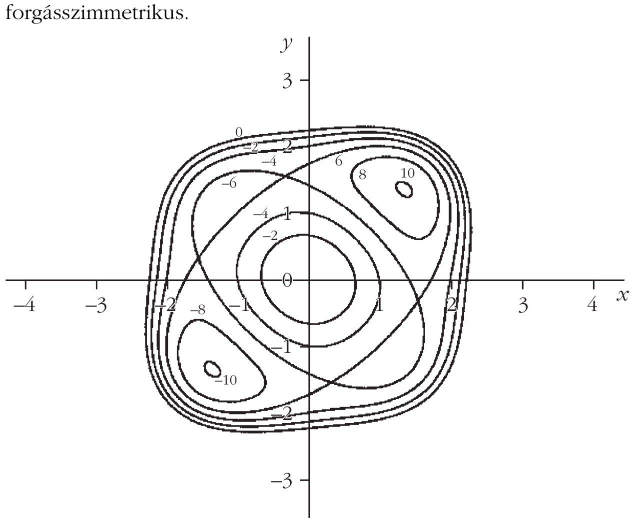
A golyó mozgásegyenletei

A golyó mozgását leíró differenciálegyenletek – abban az esetben, ha a tál nem túl meredek – egyszerűek:

$$\ddot{x} = -\frac{\partial V}{\partial x}, \text{ valamint } \ddot{y} = -\frac{\partial V}{\partial y}.$$

Súrlódásmentes esetben – az energiamegmaradás miatt – a golyó potenciális és mozgási energiájának összege állandó. Ezt a szimuláció programozása során paraméterként kezeljük (E-vel jelöljük, ami a dimenziótlan összenergia), így vizsgálható például az is, hogy különböző energiák esetén miként változik a mozgás jellege (ezt egy későbbi pontban részletesen bemutatjuk).

2. ábra. A tál közepének szintvonalai (ekvipotenciális görbéi). A szintvonalakat csak a [−10; 0] intervallumon rajzoltuk meg, mert ezen a részen (a tál belsejében) látszik legjobban, hogy a tál nem forgásszimmetrikus.



Most pedig nézzük meg, hogyan mutatható be a kaotikus mozgás három fő jellemzője (szabálytalanság, előrejelezhetetlenség, fraktálszerkezet a fázistérben) ezen az egyszerű példán.

A kaotikus mozgás első jellemzője: szabálytalan mozgás

A golyó mozgásegyenleteit az $\dot{x} = u$ és $\dot{y} = v$ jelölések bevezetésével könnyen átalakíthatjuk úgy, hogy négy nemlineáris, elsőrendű differenciálegyenletet kapjunk. A korábban említett matematikai definíció szerint így azt várjuk, hogy a kaotikus mozgás megjelenik a rendszerben.

Vizsgáljuk a mozgás pályáját különböző kezdőfeltételekből kiindulva! Ha azt akarjuk, hogy az E összenergia a különböző kezdőfeltételek esetén ugyanaz legyen, indíthatjuk a golyót úgy, hogy mindig egy adott magasságból, de különböző helyekről engedjük el nulla kezdősebességgel. A $V(x,y) = E$ egyenlet határozza meg az edény alakját az E-nek megfelelő magasságban. Egy másik módszer az E összenergia állandó értéken tartására különböző kezdőfeltételek esetén az, hogy tetszőleges pontból indítjuk a golyót úgy, hogy az y irányú sebessége nulla, azaz $v_0 = 0$, az x irányú u_0 kezdősebességet viszont a program segítségével számoltatjuk ki úgy, hogy az összenergia mindig az adott E érték maradjon. Ilyenkor tehát a dimenziótlan energia képletéből kiindulva:

$$E = \frac{1}{2} v^2 + \frac{1}{2} u^2 + V,$$

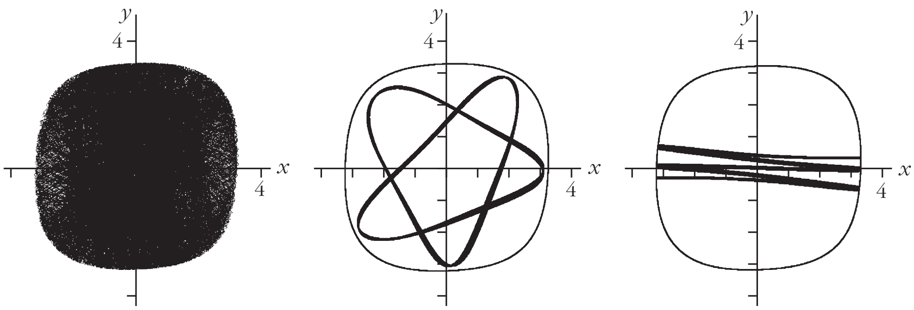
az x irányú sebességre azt kapjuk, hogy:

$$u_0 = \sqrt{2 E - v_0^2 - 2 V(x_0, y_0)} .$$

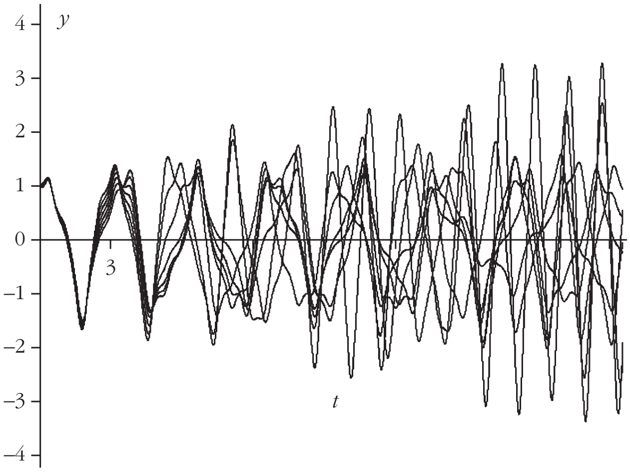
Ha a programba ezt a kifejezést írjuk be u_0 értékére, elérhetjük, hogy az összenergia tetszőleges kezdőfeltétel kiválasztása esetén ugyanaz maradjon.

Ha a golyót tehát különböző kezdőfeltételekkel indítjuk, azt találjuk, hogy – a fenti elvárásnak megfelelően – az esetek döntő többségében annak mozgása kaotikus, a tál minden pontját bejárja úgy, hogy közben a mozgása teljesen szabálytalan.

Akadnak azonban olyan jól megválasztott kezdőfeltételek is, amelyekből indulva a mozgás kvázi-periodikus lesz. Ez azt jelenti, hogy a mozgás közel önmagába visszatérő periodikus mozgás. Mivel a visszatérés nem tökéletes, a pályák nem vékony vonalként, hanem fekete „sávokként” jelennek meg. Az ilyen mozgásokat szabályosaknak tekintjük. A *3. ábrán* láthatjuk a mozgást az x–y síkon egy kaotikus, valamint két kvázi-periodikus esetben.



3. ábra. Bonyolult tálban mozgó golyó mozgása az x–y síkban. Mindhárom esetben E = 60 és v_0 = 0, a további kezdőfeltételek pedig a három különböző esetben: a) x_0 = −1, y_0 = 1,3; b) x_0 = −2,1, y_0 = −2,3; c) x_0 = −2,4, y_0 = −0,3. Az a) eset kaotikus, a golyó bejárja az egész tálat, a fekete tartomány – a golyó mozgásának nyoma – így a tál pereméig terjed az adott összenergia esetén. A b), c) eset kvázi-periodikus, a tál peremét az összehasonlíthatóság kedvéért jelöltük.



4. ábra. Bonyolult tálban, kaotikusan mozgó golyó fáklyadiagramja. A paraméter: E = 60, a kezdőfeltételek: x_0 = 0, y_0 ∈ {0,97; 0,98; 0,99; 1; 1,01; 1,02; 1,03}, v_0 = 0.

A kaotikus mozgás második jellemzője: előrejelezhetetlenség

A kaotikus mozgás egy másik fontos tulajdonsága, hogy a kezdőfeltételekre nagyon érzékeny. Ennek következménye az a – középiskolai diákoknak meglepő – tény, hogy két, egymáshoz nagyon közel indított golyó pályája gyorsan szétválik, azaz kis kezdeti eltérés nagyon nagy későbbi különbséghez vezet. Ez azt is jelenti, hogy a golyó mozgása hosszú távon előrejelezhetetlen, leírása csak valószínűségi fogalmakkal lehetséges.

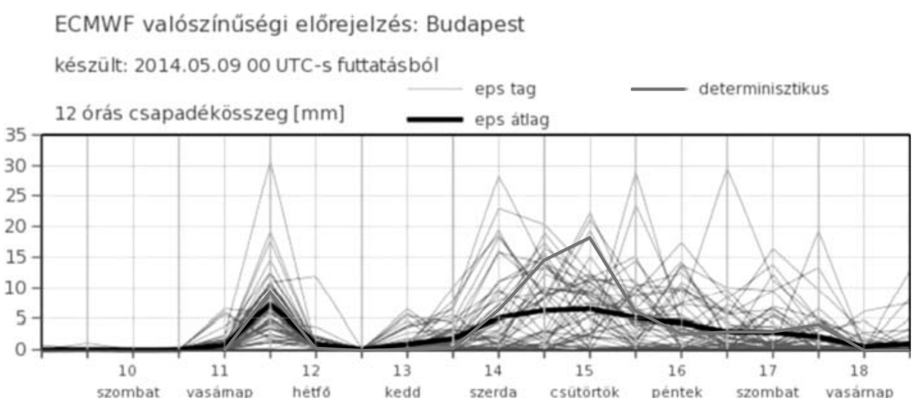
Mindez persze azért olyan meglepő a középiskolában, mert ott gyakorlatilag csak olyan mozgásokat tárgyalunk, amelyek túl egyszerűek ahhoz, hogy kaotikussá váljanak. Azaz csak a „kivételt” tanítjuk, a bonyolultabb fizikai rendszerekre jellemző általános mozgásformát nem. Pedig az egyszerű kaotikus rendszerek vizsgálatával könnyedén rámutathatnánk arra, hogy a valószínűségi leírás nem csak a kvantummechanika jellemzője (ott persze más okból), hanem a mindenki által jóval egyszerűbbnek vélt mechanika sajátja is.

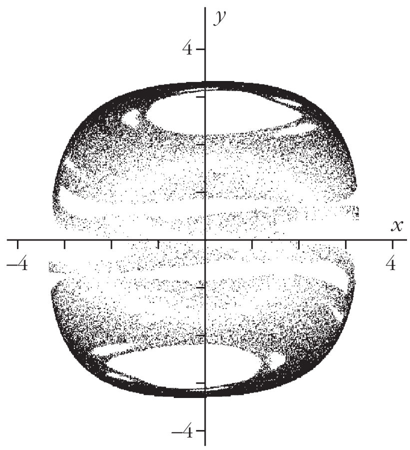
A kezdőfeltételekre való érzékenységet legjobban az úgynevezett fáklyadiagramon szemléltethetjük. Ezen különböző, de egymáshoz nagyon közeli kezdőfeltételekből indított mozgások valamilyen jellemzőjét (például a helykoordináta egyik komponensét) ábrázoljuk az idő függvényében. A tipikus fáklyadiagram valóban a fáklya alakjára emlékeztet: egy bizonyos ideig a különböző mozgások együtt haladnak, később azonban drasztikusan szétválnak, és egy idő után jól látszik, hogy teljesen lehetetlen előrejelezni a golyó mozgását.

A mozgás y–t grafikonját 7 különböző, de egymáshoz nagyon közel eső kezdőfeltétellel indítva ábrázoltuk (*4. ábra*). Látszik, hogy t = 2 időpontig a grafikonok együtt mozognak, utána viszont szétválnak. A mozgás tehát csak körülbelül 2 időegységig jelezhető előre. Ennél hosszabb időkre az adható meg, hogy milyen valószínűséggel kerül a mozgó test egy adott állapot környezetébe. Mivel a bonyolult tálban mozgó golyó konzervatív rendszer, ezért y értéke csak az E paraméter által meghatározott értékeken belül mozoghat, így a fáklya nem nyílik teljesen szét (az edény y irányú mérete az E = 60 magasságban körülbelül 3,26 egység, *1. ábra*).

A diákok számára érdekes lehet, hogy a meteorológiai előrejelzésben is teljesen hasonló fáklyadiagramokat használnak: az adott időpontban mért légköri adatokból, valamint több, nagyon közeli adatból kiindulva párhuzamosan több szimulációt futtatnak egyszerre, és vizsgálják, hogy a különböző adatokból indult előrejelzések meddig maradnak nagyjából együtt. Az Országos Meteorológiai Szolgálat honlapján is találhatók ilyen valószínűségi fáklyadiagramok; az *5. ábra* szemléltetésképpen mutatja a 2014. május 9-én készült előrejelzés egy grafikonját.

5. ábra. Az Országos Meteorológiai Szolgálat honlapján található, a 12 órás csapadékösszegre vonatkozó valószínűségi előrejelzés 2014. május 9-én [5]. A grafikonok itt másfél napig futnak együtt, az előrejelzési idő körülbelül 1,5 nap.





6. ábra. A golyó kaotikus mozgásának Poincaré-metszete az x–y síkon (v = 0, valamint E = 60). A kaotikusság ebben az ábrázolásban onnét látszik, hogy a pontok beszórnak egy kiterjedt tartományt, összhangban az előrejelezhetetlenséggel. Kezdőfeltétel: x_0 = 0, y_0 = −1, v_0 = 0. (Az a tény, hogy ez jelentősen eltér a *3.* és a *4. ábrák* kezdőfeltételeitől, mutatja, hogy a rendszerben nagyon könnyű kaotikus mozgást találni.)

A kaotikus mozgás harmadik jellemzője: fraktálszerkezet a fázistérben

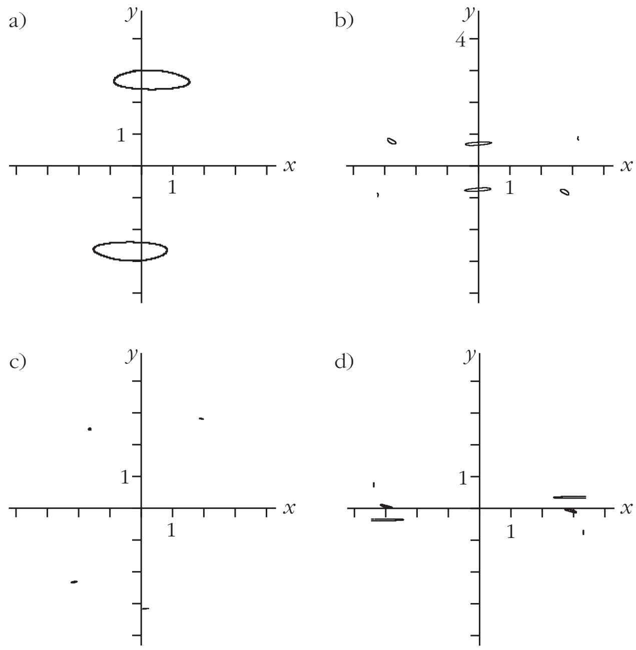
Mindeddig arról volt szó, hogy a kaotikus mozgás szabálytalan, előrejelezhetetlen, így gyakorlatilag derült égből villámcsapásként ér minket a harmadik tulajdonság: a rendezettség.

Ehhez persze megfelelő módon kell vizsgálnunk a mozgást. A módszer lényege, hogy például a bonyolult tálban mozgó golyó esetében az x–y síkot nézve csak bizonyos pillanatokban ábrázoljuk a golyó helyét. Ez az úgynevezett Poincaré-leképezés.

Azt, hogy milyen pillanatokban ábrázoljuk a golyó pozícióját, többféleképpen is megválaszthatjuk, azonban talán a legegyszerűbb eset az, amikor a v = 0 feltételt választjuk. Ez azt jelenti, hogy azokban a pillanatokban „fényképezzük le” a golyó helyzetét, amikor az y irányú sebessége éppen 0 lesz, és balról jobbra halad az x irányban.

A programban beállítjuk, hogy a mozgás Poincaré-leképezését szeretnénk ábrázolni az imént említett feltétellel. (Ennek részletes leírását lásd a letölthető oktatási segédanyagban [1].) Ezek után, ha egy véletlenszerűen választott kezdőfeltétellel elindítjuk a mozgást, rendszerint a kaotikus eset Poincaré-metszetét kapjuk, ami a *6. ábrán* látható módon néz ki.

A grafikont nézve mindjárt szembetűnik, hogy a pontokkal beszórt kaotikus tartományban vannak „lyukak”, azaz fehér foltok. Állítsuk be most úgy a kezdőfeltételeket, hogy a lyukakban lévő mozgásokat vizsgáljuk. A következő, *7. ábra* négy olyan, különböző kezdőfeltétellel elindított mozgás Poincaré-metszetét mutatja, amelyek a lyukakba esnek. Ezek az esetek az úgynevezett kvázi-periodikus esetek, amelyekhez hasonlóakat már korábban bemutattunk. A *7. ábra* c) és d) része a *3. ábra* b) és c) részében ábrázolt kvázi-periodikus mozgások Poincaré-metszete. A kvázi-periodikus mozgások képe ebben az ábrázolásban tehát zárt görbe, ami arra is utal, hogy az ilyen mozgások pontosan előrejelezhetők, ezért őket egyszerűeknek tekinthetjük.

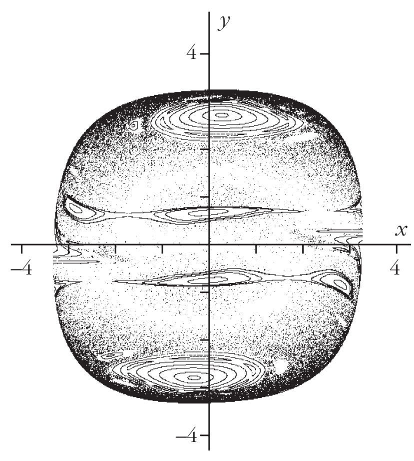


7. ábra. A golyó néhány kvázi-periodikus mozgásának Poincaré-metszete (v = 0, valamint E = 60) kvázi-periodikus részekkel. Kezdőfeltételek: a) x_0 = −0,8, y_0 = 2,6 és v_0 = 0; b) x_0 = 2,7, y_0 = −0,7 és v_0 = 0; c) x_0 = −2,1, y_0 = −2,3 és v_0 = 0; d) x_0 = −2,4, y_0 = −0,3 és v_0 = 0.

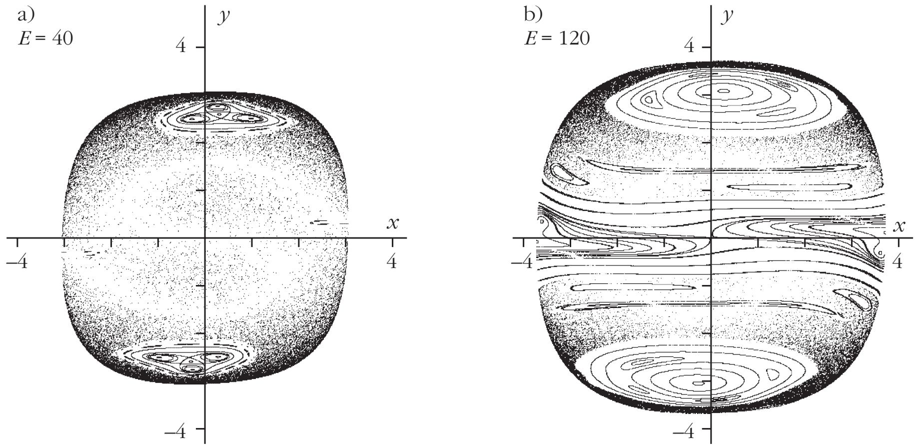
Ezek után nem marad más hátra, mint a grafikonok egyesítése, azaz a Poincaré-metszetek több, különböző kezdőfeltétellel való megrajzolása, ami kiadja a mozgás teljes Poincaré-térképét (*8. ábra*).

Ha valami meglepő és izgalmas a káoszban a diákok számára, akkor ez biztosan az. Egy ilyen Poincaré-térkép megrajzolása (a szimuláció beprogramozása után) egyáltalán nem bonyolult, viszont benne rejlik a saját felfedezés élményének lehetősége, a kísérletezés szépsége. Ráadásul ez az, ami segít megértetni a diákokkal, hogy a káosz nem teljes rendezetlenség (véletlenszerűség), hanem szabályos struktúrával rendelkező rendszer.

8. ábra. A golyó mozgásának teljes Poincaré-térképe (E = 60). A *6.* és *7. ábra* görbéit közös koordinátarendszerben rajzoltuk fel, néhány további kezdőfeltételhez tartozó görbével kiegészítve.



A *8. ábrán* látható Poincaré-metszet fraktálszerkezetű. Korábban is olvashattunk a *Fizikai Szemlében* a fraktálokról, így most – a teljesség igénye nélkül – csak annyit jegyzünk meg, hogy az itt látható fraktálszerkezet az úgynevezett kövér fraktál, ami a konzervatív rendszerek sajátossága. Egy hasonlóan kövérfraktál-típusú kaotikus jelenség, a rugalmas inga tárgyalását egy korábbi cikkben olvashatjuk [6].



9. ábra. A *8. ábrához* hasonlóan megrajzolt Poincaré-térképek E = 40 és E = 120 esetekben.

Érdekes megfigyelni azt is – akár házi feladatként is kiadható a diákoknak –, hogy miként változik a Poincaré-metszet fraktálszerkezete, ha a golyó teljes energiáját, mint paramétert változtatjuk. Ezt mutatja be a *9. ábra*. A kaotikus (pontozott) tartomány mindkét esetben nagy kiterjedésű. Ezeken belül a mozgás előrejelezhetetlen, hosszú távon valószínűségi szemléletben értelmezhető. (A zárt görbék előrejelezhető, kvázi-periodikus mozgásokhoz tartoznak.)

Miért érdemes tanítani a káoszt?

Amint azt a most bemutatott példából is látja a tisztelt olvasó, a káosz megértéséhez nem kellenek bonyolult fogalmak, középiskolában (sajnos a szűkös kerettantervi számok miatt inkább csak szakkörön) tanítható. Segít a valószínűségi szemlélet elfogadásában azáltal, hogy megmutathatjuk, ez nem csak a kvantummechanika sajátja. Ráadásul megajándékozza a diákokat a felfedezés örömével, és teret ad nekik a kísérletezésre, az önálló munkára, saját eredmények elérésére.

Irodalom

1. http://fiztan.phd.elte.hu/nyilt/publokt/tjtunde.zip vagy http://www.karinthy.hu/home/tjtunde/~
2. Tél T., Gruiz M.: *Kaotikus Dinamika*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2002.
3. Gruiz M., Tél T.: A káoszról, kicsit bővebben. *Fizikai Szemle 55* (2005) 218–221.
4. Gruiz M., Tél T.: A káosz. *Fizikai Szemle 55* (2005) 191–193.
5. http://www.met.hu/idojaras/elorejelzes/valoszinusegi/ – a letöltés időpontja: 2014. május 9.
6. Gruiz M., Radnai Gy., Tél T.: A rugalmas fonalú ingáról – mai szemmel. *Fizikai Szemle 56* (2006) 337.

XVII. SZILÁRD LEÓ NUKLEÁRIS TANULMÁNYI VERSENY

Beszámoló, III. rész

Sükösd Csaba
BME Nukleáris Technika Tanszék

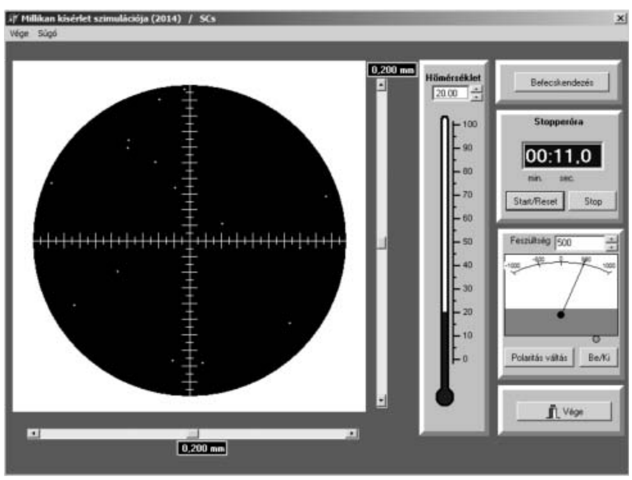
Számítógépes feladat

A számítógépes feladatban egy idegen, távoli világból érkezett Millikan-kísérlet szimulációjával kellett meghatározni az elemi töltés ottani értékét.

A kiosztott feladatlap szerint: Egy távoli világból érkezett hozzánk a mellékelt kísérlet (*1. ábra*). A szükséges adatokat a kísérlet leírásában elküldték (nagyon sokban hasonlítanak a földi adatokra).

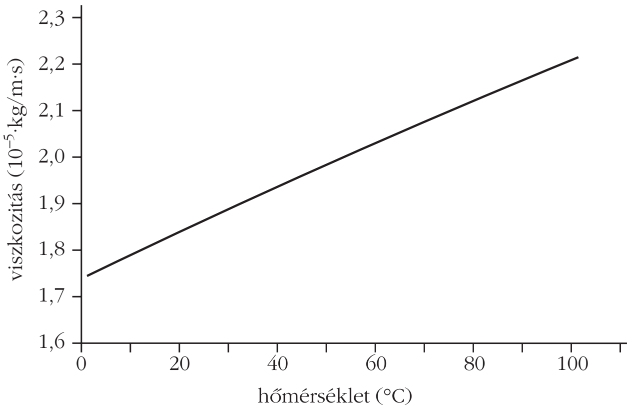
Az elemi töltés értéke azonban valószínűleg más. Határozzuk meg az ottani elemi töltés értékét a hozzánk eljutott „ottani” Millikan-kísérlet segítségével!

1. ábra. A Millikan-kísérlet szimulációjának képernyője.



Általános leírás

Millikan kondenzátorlemezek közé porlasztott olajcseppek elektromos töltését mérte meg, és ebből a kísérletből határozta meg az elemi töltést.



2. ábra. A levegő viszkozitása a hőmérséklet függvényében.

Elmélet

Az R sugarú, q töltésű cseppekre a súlyerő, a levegő felhajtóereje, a közegellenállási erő és a Coulomb-erő hat. A közegellenállási erő függ a csepp sebességétől, ezért rövid idő alatt a részecske olyan sebességre gyorsul fel, amelyben a rá ható erők eredője nulla lesz. Ettől kezdve a részecske egyenletes sebességgel süllyed, vagy emelkedik. Különböző feszültségek mellett (például a feszültséget kikapcsolva, illetve ráadva) az egyensúlyi sebesség is különböző lesz. E sebességek méréséből a két ismeretlen mennyiség – a csepp R sugara és q töltése – meghatározható.

A szimulációban szereplő berendezés leírása

Ez a szimuláció Millikan kísérletét modellezi (*1. ábra*). A képernyő nagyobbik (sötét) részét az olajcseppek megfigyelésére szolgáló mikroszkóp látótere foglalja el. A mikroszkópot a mellette lévő mozgatóelemekkel vízszintes és függőleges irányban lehet mozgatni.

Az olajcseppeket egy, a mikroszkóp mellett lévő porlasztóberendezés *fecskendezi be* a kondenzátorlemezek közé. A cseppek a befecskendezés során *kisebb-nagyobb* (nem feltétlenül azonos) elektromos töltést kapnak. Ha egyáltalán kap töltést egy csepp, akkor a kapott töltés mindig az elemi töltés egész számú többszöröse.

A kondenzátorra a jobb oldalon lévő kezelőszervekkel lehet *feszültséget* adni. A műszer a lemezekre adott feszültség aktuális értékét mutatja. A feszültséget egyetlen gomb megnyomásával ki vagy be lehet kapcsolni, illetve polaritását ellenkezőre változtatni.

Az olajcseppek sebességének méréséhez *stopperre* is szükség van. A modell olyan stopperórát mutat, amely a „modellidő” múlását méri. (Ez nem azonos a „valódi” idővel, hiszen bizonyos beavatkozásokkor – például a mikroszkóp mozgatásakor – a modellidő „megáll”. A modellidő sebességét a processzor sebessége is befolyásolhatja.)

Millikan kísérletében fontos szerepe volt a hőmérséklet állandó értéken tartásának is. A kísérleti cella hőmérsékletét hőmérséklet-szabályozó tartja állandó értéken. Figyelni kell azonban arra, hogy a hőmérséklet megváltoztatását követően az új hőmérséklet nem azonnal áll be.

Képletek, adatok

A mérés sikeres végrehajtásához segítségképpen röviden összefoglaljuk a bevezetőben említett erőket, valamint a kísérleti berendezés néhány adatát.

Súlyerő – felhajtóerő

$$\frac{4\pi}{3} R^3 \left(\rho_c - \rho_0\right) g,$$

ahol g a nehézségi gyorsulás (9,81 m/s^2), ρ_c, illetve ρ_0 a csepp, illetve a levegő sűrűsége (értékeiket lásd alább).

Közegellenállási erő

$$-6\,\pi\,\eta\,R\,v \text{ (Stokes-törvény)},$$

ahol η a levegő viszkozitása (értékét lásd alább), v pedig a részecske sebessége; a negatív előjel azt mutatja, hogy az erő a sebességgel ellentétes irányú.

Coulomb-erő

$$q\,E = q\frac{U}{d},$$

ahol q a csepp töltése, U a kondenzátorlemezekre kapcsolt feszültség, d pedig a lemezek távolsága (E a térerősség).

(A számításhoz további segítség a későbbiekben még található.)

A berendezés néhány paramétere

A kondenzátorlemezek távolsága: 1 cm (= 0,01 m). Az olaj(cseppek) sűrűsége: ρ_c = 870 kg/m^3 (a hőmérséklettől függetlennek tekinthető). A levegő sűrűsége 0 °C-on: ρ_0 = 1,293 kg/m^3 (a hőmérséklettől is függ: $\rho = \rho_0\, T_0/T$). A hőmérséklet-értékeket itt kelvin-skálában kell megadni.

A levegő viszkozitásának hőmérsékletfüggését a *2. ábra* mutatja.

Tanácsok

1) Mivel *sebességet kell mérni,* először határozzuk meg, hogy a mikroszkóp látómezejében lévő szálkereszt beosztásai a valóságban milyen távolságnak felelnek meg. A mozgatók mutatják, hogy mennyivel mozdítottuk el a mikroszkópot (mint egy mikrométercsavar a mikroszkóp tárgyasztalának elmozdulását).

2) A beporlasztott olajcseppek sugara véletlenszerűen változik egy bizonyos tartományban. A mikroszkóp felbontása azonban nem elegendően nagy ahhoz, hogy az olajcseppek sugarát közvetlenül látni lehessen. Ezért a cseppek sugarát más módon kell meghatározni (ahogyan Millikan is tette). A cseppek töltése sem azonos. A mérés szempontjából olyan csepp(ke)t kell kiválasztani, amely(ek)nek egyáltalán van valamilyen töltése. Ezért célszerű már a befecskendezés előtt megfelelő polaritású *feszültséget adni* a kondenzátorlemezekre, hogy ki lehessen választani a vizsgálni kívánt cseppet. Ezen a kiválasztott cseppen kell azután végrehajtani a mérést.

3) A sebességméréshez feltétlenül a programban szereplő *stopperórát* használjuk, mert a cseppecskék a „modellidő” szerint mozognak, és ez a stopper méri a modellidőt!

4) Célszerű több cseppet megmérni (amennyit az idő enged). Ne elégedjünk meg tehát egyetlen csepp töltésének megmérésével, hiszen *a különböző cseppeknek különböző töltése lehet,* és ha éppen nem olyan cseppet mérünk, amelynek egységnyi a töltése, akkor eredményünk hibás lesz!

Viszont *minden cseppnél a számítást is fejezzük be,* mielőtt egy új csepp mérésébe fognánk. A zsűri csak teljesen végigszámolt cseppeket tud figyelembe venni.

5) A mérésekről készítsünk (olvasható írással) jegyzőkönyvet! A jegyzőkönyvben tüntessünk fel minden lényeges adatot, valamint a számítási módszert és a végeredményt. Adjunk becslést az eredmény hibájára is.

További segítség a számításhoz

1. Amikor nincs elektromos mező, és a részecske már egyenletes v_1 sebességgel süllyed, akkor

$$\frac{4\pi}{3} R^3 (\rho_c - \rho_0)\, g = 6\pi\eta R v_1,$$

és ebből a csepp méretére kapjuk:

$$R = \sqrt{\frac{9\eta v_1}{2g(\rho_c - \rho_0)}}\,. \tag{1}$$

2. Amikor az elektromos mező olyan, hogy a csepp nem süllyed, hanem v_2 sebességgel emelkedik, akkor az erők egyensúlya:

$$\frac{4\pi}{3} R^3 (\rho_c - \rho_0)\, g + 6\pi\eta R v_2 - q\frac{U}{d} = 0,$$

és ebből (R ismeretében) q kifejezhető:

$$q = \frac{\frac{4\pi}{3} R^3 (\rho_c - \rho_0)\, g + 6\pi\eta R v_2}{\frac{U}{d}}. \tag{2}$$

3. Amikor az elektromos mező olyan, hogy a töltött csepp v_3 sebességgel süllyed, akkor az erők egyensúlya:

$$\frac{4\pi}{3} R^3 (\rho_c - \rho_0)\, g - 6\pi\eta R v_3 \pm q\frac{U}{d} = 0,$$

és ebből (R ismeretében) q kifejezhető:

$$q = \mp \frac{\frac{4\pi}{3} R^3 (\rho_c - \rho_0)\, g - 6\pi\eta R v_3}{\frac{U}{d}}. \tag{3}$$

Itt az előjel attól függ, hogy az elektromos mező segíti-e a csepp süllyedését, vagy gátolja.

Kísérleti feladat

A Planck- és a Boltzmann-állandók hányadosának mérése

A hőmérsékleti sugárzás a 19–20. század fordulóján egyike volt a természettudomány nagy nyitott kérdéseinek. A hőmérsékleti sugárzás elméleti leírásához *Plancknak* fel kellett tennie, hogy az energia diszkrét kvantumokban terjed. Ez a később helyesnek bizonyuló feltételezés lett a kvantummechanika alapja.

A mérés során alkalmazzuk a hőmérsékleti sugárzás törvényeit, megvizsgáljuk egy izzólámpa sugárzásának adott hullámhosszon mért intenzitását a hőmérséklet függvényében, és ennek segítségével megállapítjuk a Planck- és Boltzmann-állandók hányadosát.

A mérés elve

Planck törvénye alapján egy ideális fekete test egységnyi felülete által a felületre merőleges irányban, egységnyi térszögben és [λ, λ+dλ] hullámhossz-intervallumban kisugárzott teljesítmény:

$$\Delta P(\lambda) = 2hc^2 \frac{\lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{ch}{\lambda k T}\right) - 1} \Delta\lambda,$$

ahol c a fény sebessége, λ a hullámhossza, k a Boltzmann-állandó, h a Planck-állandó és T a sugárzó test abszolút (kelvin) hőmérséklete.

A mérésen szóba jöhető hőmérsékleti sávban (~300 K szobahőmérséklettől legfeljebb a wolfram ~3700 K olvadáspontjáig) a Planck-féle sugárzási törvény nevezőjében az exponenciális tag mellett a „–1” elhanyagolható. A wolfram sugárzóból a detektorra érkező $\lambda \pm d\lambda/2$ hullámhossz-tartományba eső $I_\lambda(T)$ intenzitás tehát jó közelítéssel:

$$I_\lambda(T) \sim 2hc^2\lambda^{-5} \exp\left(-\frac{ch}{\lambda k T}\right).$$

Az összefüggés mindkét oldalának természetes alapú logaritmusát véve:

$$\ln\left(I_\lambda(T)\right) = A - \frac{M}{T},$$

ahol

$$A \sim \ln\left(\frac{2hc^2}{\lambda^5}\right) \quad \text{és} \quad M = \frac{ch}{k\lambda}.$$

Tehát a wolframizzó fényéből kiszűrt, adott színű fény intenzitását és a szál hőmérsékletét mérve, a kapott adatokból az

$$\ln\left(I_\lambda(T)\right) = f\left(\frac{1}{T}\right)$$

egyenes M meredekségét meghatározva, λ és a c fénysebesség ismeretében h/k értéke kiszámítható.

A h/k meghatározásához szükséges mennyiségek mérése

Az izzószál T hőmérsékletét a rajta átfolyó áram és a rajta eső feszültség mérésével, majd az alábbi közelítésből számítással kapjuk meg:

$$R = R_0\left[1 + \alpha\left(T - T_0\right)\right]$$

$$\Downarrow$$

$$T = T_0 + \frac{\dfrac{R}{R_0} - 1}{\alpha}.$$

Itt R_0 és R az izzó T_0 és T hőmérsékleten vett ellenállása, $\alpha \approx 4{,}5 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{K}^{-1}$. A szobahőmérsékletet tekintsük ~20 °C-nak.

A megvilágítás *intenzitását* egy fotodióda méri. A fotodióda áramerősségét vegyük arányosnak a ráeső fény intenzitásával.

A méréshez használt eszközök

- vörös színszűrő, λ = 620±15 nm
- állítható tápegység
- 12 V-os izzó
- fotodióda
- huzalok
- optikai árnyékoló elemek
- két digitális multiméter

Mérési feladatok

1) Gondosan olvassuk végig a teljes mérésleírást!

2) „Szereljük össze az összeállítást!”

3) Az izzóra eső feszültség folyamatos változtatása mellett mérjünk le *legalább* 8-10 pontot! Jegyezzük fel az izzóra eső feszültség, az izzón folyó áram és a diódaáram értékeit!

4) Ábrázoljuk az $\ln(I) - 1/T$ egyenest milliméterpapíron (vagy Excelben)!

5) Állapítsuk meg az egyenes meredekségét: illesszünk egyenest (vonalzóval vagy számítógéppel) a kapott pontokra!

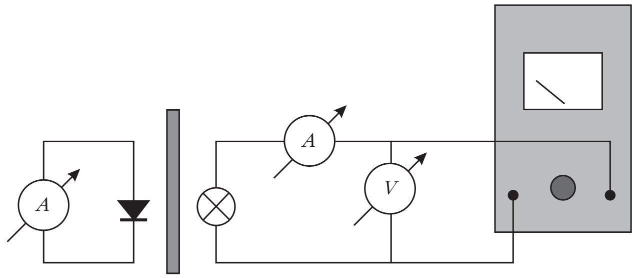
6) A kiszámított h/k arányt adjuk meg az irodalmi érték százalékában *IS!*

7) Milyen szisztematikus hibákkal és mérési bizonytalanságokkal terhelt a mérés? Mekkora ezek nagyságrendje, és mekkora lehet a mérés teljes bizonytalansága?

A pontozás alapja a jegyzőkönyv minősége: annak rendezettsége, a mért és számított adatok közlési formája, a gondolatmenet követhetősége, valamint az, hogy a mérés a jegyzőkönyv alapján megismételhető-e. A minél pontosabb irodalmi egyezés egy bizonyos tól-ig skálán részpontot ér. A mérési adatok esetleges manipulálása a szebb irodalmi egyezés érdekében szigorúan tilos, pontlevonással jár!

Megjegyzések

- A mérés során végig figyeljünk a kontakthibákra mind az izzónál, mind a fotodiódánál!



A mérési elrendezés.

- Érdemes a mért értékek ábrázolását már a mérés során és nem csak annak befejezése után megkezdeni. Így már korábban észrevehetjük, ha valami nem az elvártnak megfelelően működik.
- Ne habozzunk segítséget kérni, ha valami furcsaságot észlelünk a mérés során! Egy, az alkatrészeket vagy műszereket érintő technikai probléma könnyen orvosolható a kérdéses eszköz cseréjével, ellenkező esetben értékes időt vehet el a mérésből. *Ügyeljünk arra, hogy az izzó ne égjen ki!*
- A tizedes jegyeket csak a mérés pontosságának határain belül értelmes megadni. Extrém példával élve egy 10% relatív bizonytalanságú mérés esetén értelmetlen 3 értékes tizedes jegy pontossággal dolgozni. (Ezzel egyben időt is spórolunk a jegyzőkönyv készítése során.)

Fontos

Beadandó a „Mérési jegyzőkönyv”, amely tartalmazza a mérést végző azonosítóját, a mérések minden fontos paraméterét, a mért nyers adatokat, az eljárást (lépésenként), amellyel a végeredményhez eljutottunk, a számított részeredményeket, a végeredmény(eke)t, a végeredmény(ek) bizonytalanságát és a bizonytalanság kiszámítási vagy becslési módját, az eredmények diszkutálását, valamint minden olyan információt, amely a mérés reprodukálásához szükséges. *A mérési jegyzőkönyvnek olyannak kell lenni, hogy annak alapján bárki a mérést megismételhesse, és (a mérés bizonytalanságán belül) hasonló eredményt kaphasson.* Számítógép (Excel) használata esetén mentsük el a használt fájlt „kód_hk.xlsx” névvel (itt a kód a versenyző kódja)!

A verseny értékelése

A verseny döntőjének délelőttjén a tíz elméleti feladat megoldására 3 óra, délután a számítógépes feladatra másfél óra, a kísérleti feladatra szintén másfél óra állt a versenyzők rendelkezésére. Egy-egy feladat teljes megoldása 5 pontot, a számítógépes feladat teljes megoldása 25 pontot, a kísérleti feladat teljes megoldása 25 pontot hozhatott. Maximálisan tehát 100 pontot lehetett szerezni. A legkiválóbb I. kategóriás versenyző fantasztikus 98 pontot ért el (tavaly 89 pont volt a legjobb eredmény). A legjobb junior versenyző 75 pontot ért el (tavaly 57 pont volt a legjobb). A pontszámok alapján úgy tűnik, hogy az idén a döntő feladatai is valamivel könnyebbek voltak, mint tavaly. Az I. kategória 9. és a junior kategória 8. feladata kivételével valamennyi feladatra született tökéletes megoldás, de ezekre a feladatokra is voltak 4 pontos megoldások. Mindkét kategória számára a 6. feladat volt a legkönnyebb: az I. kategóriában erre 4,74, míg a junior kategóriában 4,30 átlageredmény született. Az I. kategória számára a legnehezebbnek a 10. és – meglepetésre – a 4. feladat bizonyult 1,71, illetve 2,21 átlaggal. Nem meglepő ezek után, hogy a 4. feladat a juniorok számára is nehéz volt (átlag: 1,80), de valamivel még nehezebbnek találták a 8. feladatukat (átlag: 1,30).

Mind a szimulációs, mind pedig a kísérleti feladatra születtek maximális, 25 pontos megoldások az I. kategóriás diákok között. A junioroknál a szimulációs feladatra 24 pont, míg a kísérleti feladatra 22 pont volt a legjobb eredmény. Az átlagos eredmény az I. kategóriában 60% körül, a junioroknál 50% körül mozgott ezekre a feladatokra.

2014-ben a következő diákok érték el a legjobb helyezéseket:

I. kategória (11–12. osztályosok)

I. helyezett (98 pont): *Juhász Péter,* Piarista Gimnázium, Budapest, tanárai *Urbán János, Horváth Gábor, Szokolai Tibor,*

II. helyezett (90 pont): *Holczer András,* Janus Pannonius Gimnázium, Pécs, tanárai *Dombi Anna, Simon Péter,*

III. helyezett (85 pont): *Takátsy János,* Városmajori Gimnázium, Budapest, tanára *Ábrám László.*

„Junior” kategória

I. helyezett (75 pont): *Kovács Péter Tamás,* Zrínyi Miklós Gimnázium, Zalaegerszeg, tanára *Juhász Tibor,*

II. helyezett (72 pont): *Büki Máté,* Zrínyi Miklós Gimnázium, Zalaegerszeg, tanára *Pálovics Róbert,*

III. helyezett (70 pont): *Balogh Menyhért,* Baár-Madas Református Gimnázium, Budapest, tanára *Horváth Norbert.*

A záróülést és a díjátadást megtisztelte jelenlétével *Leber Ferenc,* Paks város alpolgármestere, *Kürti Jenő,* az Eötvös Loránd Fizikai Társulat főtitkára, *Hózer Zoltán,* a Magyar Nukleáris Társaság elnöke, *Kiss István,* a Paksi Atomerőmű Zrt. oktatási főosztályvezetője, *Hanti Ágota,* a Women in Nuclear (WIN) Magyarország (a Magyar Nukleáris Társaság Nőtagozata) elnöke, *Radnóti Katalin,* a WIN Magyarország budapesti alelnöke, valamint *Szabó Béla,* az Energetikai Szakközépiskola igazgatója.

Ebben az évben több *különdíj* átadására is sor került. Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat egy-egy éves *Fizikai Szemle* előfizetést ajánlott fel a két kategória első négy helyezettjének, amelyet Kürti Jenő, az ELFT főtitkára adott át. A Magyar Nukleáris Társaság (MNT) képviseletében Hózer Zoltán elnök nyújtott át könyvjutalmakat a két kategória első öt helyezettjének, valamint kedvezményes részvételi jegyeket az MNT által szervezett Nukleáris Szaktáborra a két kategória első három helyezettjének. Az MNT Nőtagozata (WIN) a legjobb lányversenyzőt – *Németh Flóra Boróka* junior versenyzőt (Vajda János Gimnázium, Keszthely) – különdíjként meghívta egynapos látogatásra a Paksi Atomerőműbe. A látogatás célja az atomerőműben dolgozó, mérnöki beosztásban lévő nők munkájának megismerése volt. A különdíjat Hanti Ágota, az MNT WIN elnöke adta át.

A Magyar Nukleáris Társaság tanári különdíjat is felajánlott annak a tanárnak, akinek a diákjai ebben az évben a legtöbb pontot szerezték, azaz aki a legsikeresebben készítette fel az idén a diákjait. Az MNT tanári különdíját Horváth Norbert, a budapesti Baár-Madas Református Gimnázium fizikatanára vehette át Hózer Zoltán MNT elnök kezéből.

A záróülésen a tanulói díjak, különdíjak és oklevelek átadása után került sor az idei *Delfin-díj* átadására, amelyet minden évben a tanárok pontversenyében legjobb eredményt elért *tanárnak* ítél oda a versenybizottság. Ebben az évben a Delfin-díjat *Nagy Tibor,* a Bethlen Gábor Református Gimnázium (Hódmezővásárhely) tanára vehette át. Gratulálunk! A tanár úr már 2006-ban is kapott egy Delfin-díjat, így ez alkalommal nem egy újabb delfin-szobrot, hanem egy, a díj elnyerését tanúsító plakettet kapott.

A *Marx György Vándordíjat* – amelyet minden évben a pontversenyben legkiválóbb eredményt elért *iskolának* ítél oda a Versenybizottság – idén a *Batthyány Kázmér Gimnázium* (Szigetszentmiklós) nyerte el. Gratulálunk!

Az ünnepélyes eredményhirdetés végén Sükösd Csaba köszönetét fejezte ki a versenyt támogató Paksi Atomerőműnek és a paksi Energetikai Szakközépiskolának, valamint minden támogatónak és különdíjat felajánló szervezetnek a verseny megrendezésében nyújtott segítségükért.

A versenyt 2015-ben is megrendezzük változatlan tematikával. Ismételten *bátorítjuk a határon túli magyar tannyelvű iskolák* tanulóit is arra, hogy nevezzenek be az Országos Szilárd Leó Tanulmányi Versenyre. A nevezéseket a verseny honlapjáról kiindulva lehet megtenni: http://www.szilardverseny.hu

Szerkesztőség: 1092 Budapest, Ráday utca 18. földszint III., Eötvös Loránd Fizikai Társulat. Telefon/fax: (1) 201-8682
A Társulat Internet honlapja http://www.elft.hu, e-postacíme: elft@elft.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 Stúdió, nyomdai munkálatok: OOK-PRESS Kft., felelős vezető: Szathmáry Attila ügyvezető igazgató.
Terjeszti az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, előfizethető a Társulatnál vagy postautalványon a 10200830-32310274-00000000 számú egyszámlán.
Megjelenik havonta, egyes szám ára: 800.- Ft + postaköltség.
HU ISSN 0015–3257 (nyomtatott) és **HU ISSN 1588–0540** (online)

IFJÚ FIZIKUSOK NEMZETKÖZI VERSENYE MAGYAR SZEMMEL

Hömöstrei Mihály – Német Nemzetiségi Gimnázium, Budapest
Pham Thi Linh – Fazekas Mihály Fővárosi Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium
Beregi Ábel – Baár-Madas Református Gimnázium, Budapest
Laukó András – Balassi Bálint Nyolcévfolyamos Gimnázium, Budapest
Béda Ármin – Garay János Gimnázium, Szekszárd
Nagy Péter, Ispánovity Péter Dusán, Jenei Péter – ELTE TTK

Idén, egy év kihagyás után, ismét képviseltette magát Magyarország az Ifjú Fizikusok Nemzetközi Versenyén (International Young Physicists' Tournament, IYPT). Bár a magyar felkészítő csapat tanári gárdája a legutóbbi, 2012-es részvétel óta teljesen lecserélődött, a magyar csapat sikeresen szerepelt, hiszen *az újonnan belépő, illetve újra csatlakozó országok közül a legjobban* szerepelt, 21. helyezést ért el.

Az IYPT nem csupán a színtiszta fizikáról szól. A mérések lebonyolításán és kiértékelésén, valamint a jelenségek matematikai leírásán túl legalább ennyire fontos a csapatmunka, a jó előadó-képesség, a pontos és lényegre törő kritika megfogalmazása, a jó vitakészség, az önreflexió és természetesen: a jó angoltudás. Ezek a készségek és képességek a későbbi életben nagyon hasznosak lehetnek. Fejlesztésük azonban nem egyszerű feladat. A jövőbeli sikeres magyar szereplés záloga viszont mégis ebben rejlik, így az idei tapasztalatokat felhasználva a továbbiakban erre a területre is nagy hangsúlyt helyeznek a magyar csapat felkészítői.

Az idén elért eredmény mindenképpen sikeres jövőt ígér az ezt követő magyar csapatok számára, hiszen a tanári gárda minden évben tapasztaltabban vezetheti a felkészülést, és rutinosabban taktikázhat a verseny folyamán.

2014. március 21-én sikeresen megrendezésre került az IYPT magyarországi válogatója, a HYPT (Hungarian Young Physicists' Tournament) verseny. A megmérettetésre a nemzetközi verseny két, szabadon választott problémáját kellett írásban kidolgozni. A dolgozatok alapján 16 diákot hívtunk meg, hogy angolul is mutassák be munkájukat.

Itt rendkívül szoros versenyben került ki a legjobb 5+2 diák, a magyar csapat fő és tartalék tagjai: *Béda Ármin, Beregi Ábel, Laukó András, Madarász Zénó* és *Pham Thi Linh,* valamint *D'Intino Eugenio Ádám* és *Pintér Richárd*.

Az angliai Shrewsbury Gimnáziumban megrendezett verseny során úgynevezett „fight”-okban mutatták be a diákok a feladatokra adott megoldásaikat. Egy-egy fightban három szerep van: előadó, bíráló és összefoglaló; a prezentáló csapat bemutatja eredményeit, amit az opponáló csapat vita formájában alaposabban kiveséz. Az elhangzott prezentáció és vita konklúzióját pedig az összefoglaló csapat mutatja be a zsűrinek. Ezek a fightok persze komoly összpontosítást, csapatmunkát, nyelvi és fizikai kompetenciákat és jó kommunikációs készséget igényelnek.

A kemény munka mellett kirándulásokra és nemzetközi kapcsolatok építésére is volt lehetőség, így meggyőződésünk, hogy a magyar csapat összességében teljesen pozitív élményekkel térhetett haza.

A továbbiakban néhány sorban szeretnénk ízelítőt adni az IYPT feladatainak általunk készített megoldásaiból. Itt természetesen csak erősen tömörítve, az eredmények lényegét kiemelve, és a fizikatanításban hasznos gondolatokat bemutatva próbálunk kedvet csinálni a rengeteg érdekes problémához, amelyet az IYPT kínál a diákoknak és tanáraiknak. Fontos hangsúlyozni, hogy a következő fejezeteket a HYPT-n és az IYPT-n résztvevő diákok írták.

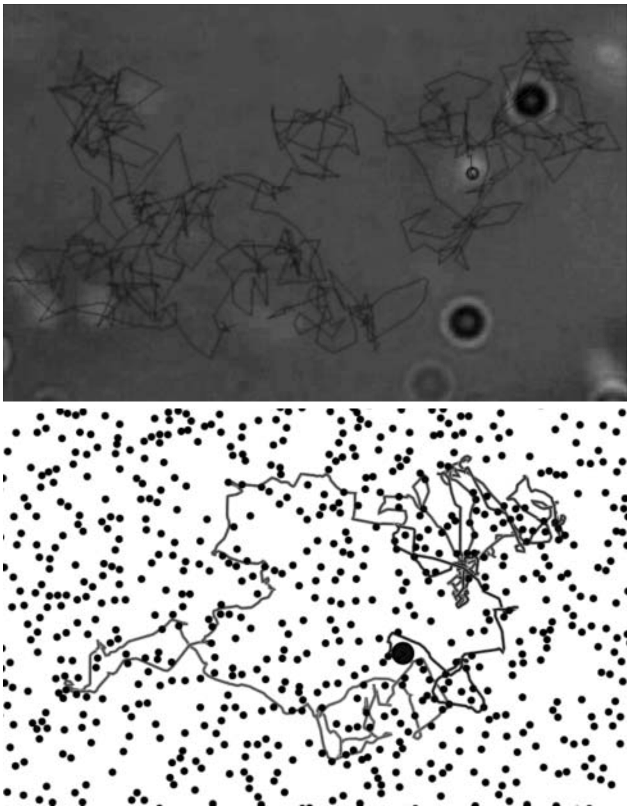
Diffúziós együttható

Ebben a problémában a Brown-mozgás sebességét jellemző diffúziós együttható vizsgálata volt a cél. A Brown-mozgás nem más, mint a gázokban vagy folyadékokban lebegő részecskék véletlenszerű mozgása. A jelenséget *Robert Brown* angol botanikus írta le először. Brown virágport kevert vízzel és megfigyelte a porszemcsék zegzugos mozgását. A jelenséget *Einstein* azzal magyarázta, hogy a víz molekulái a nagyobb tömegű virágporszemcsékkel ütköznek, így azokat egy véletlenszerű úton lökdösik végig. Ez szolgál alapjelenségül minden nyugalmi keveredés számára, mint például az oldódás vagy a szagok terjedése.

A D diffúziós együttható meghatározásához a részecskék elmozdulását kell mérni az idő függvényében. Az adatokból meghatározható egy adott (Δt) időintervallum alatt megtett átlagos négyzetes elmozdulás $\langle(\Delta r)^2\rangle$, amelyre kétdimenziós mozgás esetén fennáll a következő összefüggés [1]:

$$\langle(\Delta r)^2\rangle = 4 D \Delta t. \tag{1}$$

Egy ZEISS Axioplan mikroszkóp segítségével vízfestékszemcsék mozgását figyeltük meg vízben. Ehhez a festékes oldat egy cseppjét üveg tárgylemezen ragasztószalagból készített keret közepébe csöppentettük, és a párolgást elkerülendő egy üveglemezzel letakartuk. A felvételeket a Tracker nevű programmal elemeztük. A direkt kísérlet kiegészítésére szimulációkat is készítettünk az Algodoo szoftver segítségével. A szimulációban sok (1500 db) kis, gömb alakú



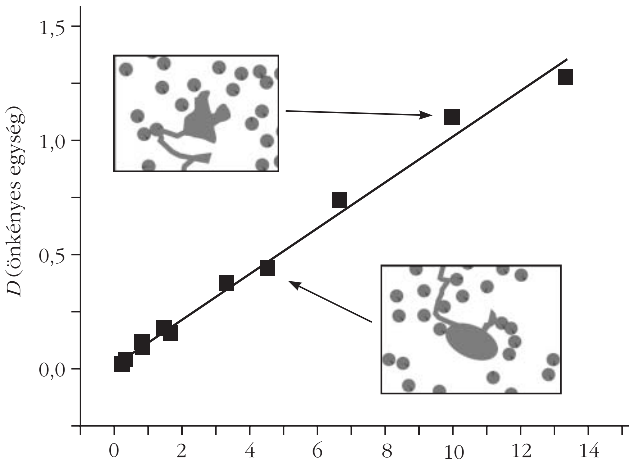
1. ábra. Felül a mikroszkópos, alul a szimulációs kísérlet során vizsgált részecskék nyomvonala látható.

testet hoztunk létre, amelyek véletlenszerűen mozognak. Ebbe a térfogatba helyezhető be a vizsgálandó test (például egy, az *1. ábrán* alul látható nagyobb gömb). A testet a golyók folyamatosan (tökéletesen rugalmasan) lökdösik, törtvonalú pályája kiválóan látható, emellett a program rögzíti az elmozdulás adatait.

Az *1. ábra* a mikroszkópos vizsgálat során követett és a szimulált részecske útját mutatja. Nagyon jól látszik a véletlenszerű, bolyongó mozgás.

Az (1) egyenlet alapján több, különböző átmérőjű gömb (kör) alakú szemcse mozgását elemeztük.

2. ábra. Különböző méretű és alakú szemcsék diffúziós együtthatójának alakulása a részecsketömeg reciprokának függvényében.



A szimulációs és direkt vizsgálat esetén is a méret növekedésével a diffúziós együttható csökken. A szemcseátmérők alapján kiszámoltuk a részecskék tömegét, amelynek reciproka és a diffúziós együttható között lineáris kapcsolat fedezhető fel. Több, különböző, szabályos, illetve szabálytalan alakú szemcse szimulációjából nyert diffúziós együtthatók egyazon egyenes mellett szórnak (*2. ábra*). Ebből arra következtethetünk, hogy a szemcsék alakja nincs jelentős hatással a Brown-mozgás sebességére, tömegük a meghatározó.

A diffúziósegyüttható-probléma vizsgálata során a diákok megismerhetik a Brown-mozgást a szokványos kvalitatív szinten túl kvantitatívan is. Ezen felül betekintést nyerhetnek a fizikusok által kedvelt és gyakran használt szimulációs kísérletezésbe is.

Hideg lufi

Mi történik egy felfújt lufival, amikor hirtelen kiengedjük belőle a levegőt? Mérés nélkül is tapasztalhatjuk, hogy a lufi felülete lehűl. De mitől? Erre a kérdésre próbálunk választ adni ebben a fejezetben.

A felfújt lufiban a normál légkörinél magasabb a nyomás. Miközben a levegő kiszökik a lufiból, a távozó levegő nyomása csökken, térfogata pedig nő. A folyamat gyors, ezért nincs vagy csekély a hőcserélés a környezettel, így azt adiabatikusnak tekinthetjük. A nagyobb nyomású edényből hirtelen kiszökő gázok jelentősen lehűlnek, például egy dezodorból kiáramló gáz átlagosan körülbelül 20 °C-ot hűl le. A gáz kiáramlásakor adiabatikus közelítésben a ΔU belsőenergia-változás, ami megegyezik a $W_{1;2}$ külső munkával:

$$\Delta U = W_{1;2} = \frac{p_1 V_1}{\kappa - 1}\left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\right]. \qquad (2)$$

Ahol 1, 2 a kezdeti és a végállapotot jelöli, p a gáz nyomása, V a térfogata, κ az adiabatikus kitevő, ami felírható a gázmolekulák f szabadsági fokával:

$$\kappa = \frac{f+2}{f}. \qquad (3)$$

A levegő gyakorlatilag kétatomos gáznak tekinthető, hiszen ~78% N_2-t és ~21% O_2-t tartalmaz, $\kappa_{\text{levegő}} \approx 1,4$. A (2) egyenlet és az egyesített gáztörvény:

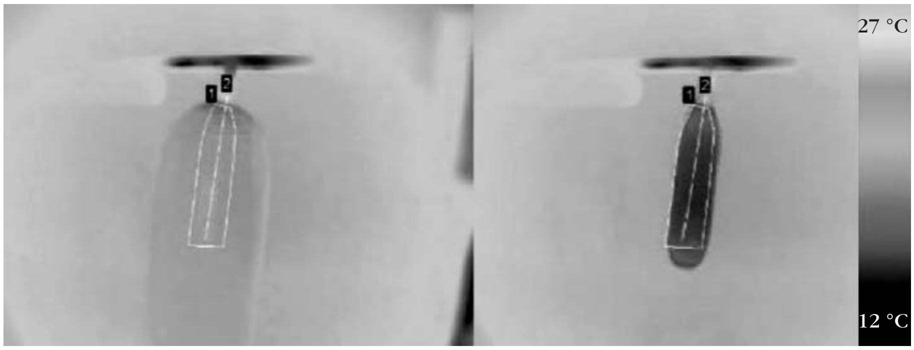
$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \qquad (4)$$

felhasználásával (T az abszolút hőmérséklet) a lehűlés mértéke kiszámítható.

Eredeti feladatunkban a lufiban a légköri nyomás 1,1-szerese uralkodott, tehát a lehűlésre körülbelül 4 °C elméleti érték adódik. Mérések alapján ez csak 1 °C. Az eltérés okai a következők lehetnek: i) a folyamat csak közelítőleg adiabatikus, ii) a kiszökő levegő lehűti a lufi nyakát is, így a kiszökő levegő kevésbé hűl le.

Tapasztalataink alapján viszont a lufi akár 10 °C-kal is lehűlhet, ami a levegő 4 °C elméleti hűlésének 2,5-szerese, tehát *nem a kiáramló levegő lehűlése a lufi lehűlésének fő oka*.

Ha egy gumiból készült csíkot (a mi esetünkben egy lufiból kivágott csíkot) hirtelen megnyújtunk, az jelentősen felmelegszik. A gumi entrópiája két tagból tevődik össze: egy hőmérsékletfüggő és egy hőmérséklet-független tagból. A hőmérsékletfüggő tag csak a részecskék termikus mozgásától, a hőmérsékletfüggetlen pedig a polimerlánc részecskéinek elhelyezkedésétől függ. Nevezzük el a hőmérsékletfüggő tagot termális, a hőmérséklet-független tagot atermális entrópiának. Ezért a teljes entrópiaváltozást a következő módon írhatjuk fel:



3. ábra. A lufi leengedés előtti és utáni állapota.

$$\mathrm{d}S = \mathrm{d}S_{termális} + \mathrm{d}S_{atermális} \tag{5}$$

Ha a gumit nagyon lassan nyújtjuk meg, akkor hőmérséklete állandó marad, tehát a hőmérsékletfüggő entrópia változása zérus:

$$\mathrm{d}S_{termális} = 0. \tag{6}$$

Ebből következik, hogy az entrópia változása egyenlő a hőmérséklet-független entrópia változásával:

$$\mathrm{d}S = \mathrm{d}S_{atermális}. \tag{7}$$

Ezt a kifejezést a hőtan első főtételébe behelyettesítve a következőt kapjuk:

$$T\mathrm{d}S_{atermális} = \mathrm{d}U - \delta W, \tag{8}$$

ahol $\mathrm{d}U$ a belső energia változása és δW a külső munka. Mivel a hőmérséklet nem változik, ezért $\mathrm{d}U = 0$, tehát:

$$T\mathrm{d}S_{atermális} + \delta W = 0. \tag{9}$$

A δW külső munka pozitív (nyújtjuk a gumiszalagot, munkát fektetünk be), ezért az atermális entrópia változása negatív, azaz a teljes entrópiaváltozás is negatív. Ez érthető, hiszen a polimerlánc részecskéi a nyújtással rendezettebb állapotba kerülnek.

Ha a gumit hirtelen, pillanatszerűen nyújtjuk meg, akkor – mivel nincs idő a hőcserére a gumi és a környezete között, azaz:

$$\delta Q = 0 \tag{10}$$

– a folyamat adiabatikus állapotváltozással modellezhető. Felhasználva, hogy:

$$\delta Q = T\mathrm{d}S, \tag{11}$$

amiből:

$$\mathrm{d}S = 0. \tag{12}$$

Az (5) egyenletet felhasználva következik, hogy:

$$\mathrm{d}S_{termális} = -\mathrm{d}S_{atermális}, \tag{13}$$

ami azt jelenti, hogy a melegedés miatti entrópianövekedés „fedezi” a részecskék helyzetének rendeződése miatti entrópiacsökkenést. A (10) egyenlet miatt erre az állapotváltozásra a hőtan első főtétele:

$$\mathrm{d}U = \delta W, \tag{14}$$

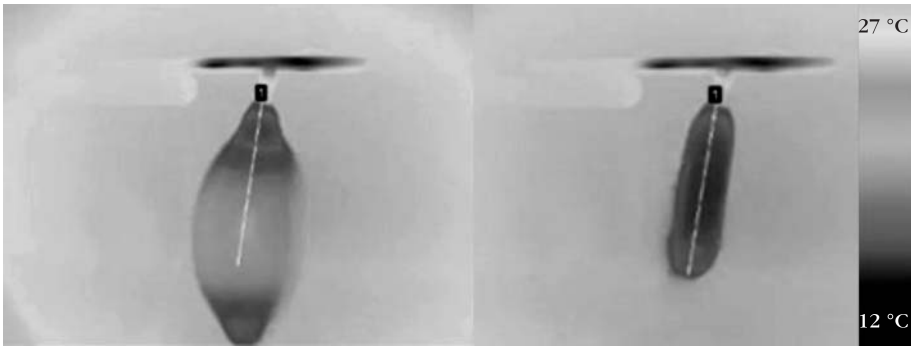
vagyis a hirtelen megnyújtott lufi felmelegszik.

Az előbbiekben gumiszalagok nyújtását vizsgáltuk. A kitűzött feladatban, a lufi leengedése közben is ugyanezek a folyamatok játszódnak le azzal a különbséggel, hogy a nagyon lassú leengedés folyamán az entrópia nő és a hőmérséklet nem változik, gyors leengedés során pedig – mivel a gumi végez munkát – a hőmérséklet-változás negatív.

A lufi felületének hőmérsékletét hőkamerával mértük. A kamera másodpercenként 60 vagy 120 képet készített a gyors leengedés során, így a lehűlés folyamatát elég pontosan meg lehetett határozni (*3. ábra*). A kamerához tartozó szoftver segítségével a kijelölt területen átlaghőmérsékletet, illetve egy adott egyenes mentén a különböző pontok hőmérsékletét is tudtuk mérni.

Az első mérésben meg akartuk tudni, hogy a lehűlés folyamata közben a lufi átlaghőmérséklete időben miként változik. Méréseink alapján kiderült, hogy a lehűlés mértéke folyamatosan gyorsult. Ez azzal magyarázható, hogy a lufiból adott időközönként állandó levegőmennyiség távozik, így az összehúzódás mértéke az egyre kisebb lufiban gyorsul.

A következő mérésben a folyamat sebességét úgy szabályoztuk, hogy a lufi nyakát egy – különböző átmérőjű lyukakkal teli – lemez egyik lyukán átvezettük. A mérés eredményei alapján egyértelműen állíthatjuk, hogy a lehűlés annál kisebb, minél lassabb a folyamat. Ennek magyarázata, hogy a lassabb folyamat jobban eltér az „adiabatikus” összehúzódástól. A lehűlés maximuma gumi esetén körülbelül 15 °C lehet [2].



4. ábra. A lufi hőmérséklet-eloszlása az ábrán jelzett vonal mentén.

Az eddigiekben a lufik felszínének átlagos hőmérsékletét vizsgáltuk. Az összehúzódás azonban nem egyszerre megy végbe a lufi minden pontjában, ezért érdekes megvizsgálni a lufi hőmérséklet-eloszlását is (*4. ábra*). A lufi először a két végén kezd összehúzódni és lehűlni, majd a folyamat végén a lufi közepe lesz a leghidegebb.

Eredményeink azt mutatják, hogy a lufik lehűlésének vizsgálata kézzelfogható eszköz lehet az entrópia középiskolai tárgyalására. Emellett a feladat hasznosnak bizonyult az infrakamerával történő kísérletezés gyakorlásához, valamint a polimerek viselkedésének jobb megértéséhez.

Megfagyó cseppek

Mi történik, ha apró vízcseppeket körülbelül –20 °C-ra lehűtött sima, vízszintes felületre helyezünk? A legtöbben egyszerűen annyit válaszolnának: a cseppek megfagynak. Ez igaz, ám a probléma ennél sokkal érdekesebb. A vízcseppek teteje megfagyás után kúphoz hasonló alakot vesz fel, hegyes csúccsal a közepén. Ezt láthatjuk az *5. ábrán*. Az érdekes jelenséget a víz fagyás közbeni tágulása okozza.

Hideg felületre helyezett csepp aljáról egy úgynevezett fagyási front terjed felfelé (*6. ábra*). A hármaspont – a szilárd, a folyékony és a gőz találkozási pontja – helyének a teljes megfagyásig történő megadása jelenti a csepp alakjának számítását. Egy megfagyott csepp alakja (tetszőleges anyag esetén) egyszerű geometriai modell segítségével írható le [3]. A geometriai modell i) a gravitáció hatását elhanyagolja, ii) a fagyási frontot végig tökéletesen vízszintesnek veszi, valamint feltételezi, hogy iii) a folyékony/gőz, illetve a szilárd/gőz határfelületekre az illeszkedési pontba helyezett érintők egybeesnek, azaz a hármaspont elmozdulása a folyékony/gőz határfelület irányába történik.

A geometriai modell alapján három egyenletet írhatunk fel, amelyek alapján számítható a megfagyott csepp alakja [3]. A gömbsüveg térfogatát leíró kifejezéssel meghatározhatjuk a még folyékony rész V_l térfogatát:

$$V_l = R^3 \frac{\pi}{3} \frac{2 - 3\cos\alpha + \cos^3\alpha}{\sin^3\alpha}, \qquad (15)$$

ahol R jelöli a még folyékony gömbsüveg alapjának sugarát, α pedig azt a szöget, amellyel a még folyékony tartomány a szilárd részhez illeszkedik.

A modell iii) feltételezéséből következik, hogy

$$\tan\alpha = -\frac{\mathrm{d}h}{\mathrm{d}R}. \qquad (16)$$

Itt h a felfelé terjedő fagyási front magassága. Végül a tömegmegmaradás

$$-\mathrm{d}m_l = \mathrm{d}m_s \rightarrow -\mathrm{d}V_l\rho_l = \mathrm{d}V_s\rho_s$$

alapján (itt m a tömeg, V a térfogat, ρ a sűrűség, az l és s indexek pedig a folyékony, illetve szilárd halmazállapotra utalnak), felhasználva, hogy

$$\mathrm{d}V_s = \pi R^2 \mathrm{d}h,$$

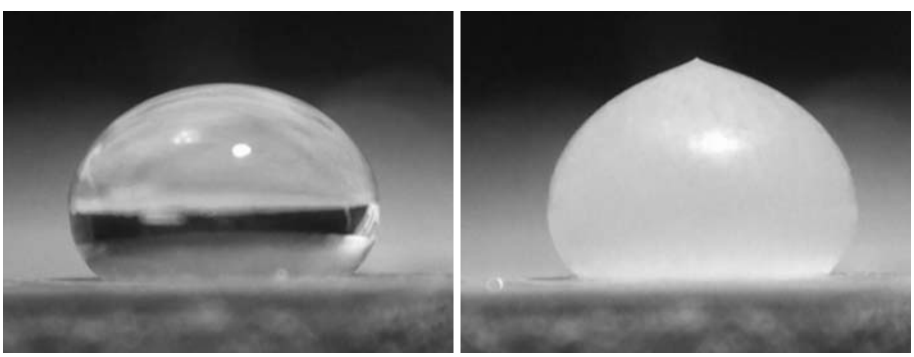
írhatjuk fel a harmadik egyenletünket:

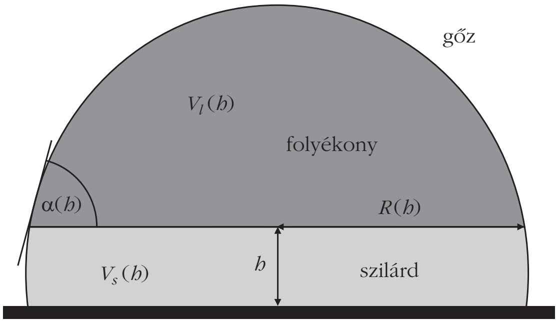
$$\mathrm{d}V_l = -\frac{\rho_s}{\rho_l}\pi R^2 \mathrm{d}h. \qquad (17)$$

A ρ_s/ρ_l szilárd-folyékony sűrűségarányt a továbbiakban jelöljük μ-vel, ennek értéke jellemzi majd a kialakuló, megfagyott csepp alakját.

A (15)–(17) differenciálegyenlet-rendszer megoldható. A *7. ábrán* szimulált cseppeket láthatunk, adott kezdeti $\alpha(0) = 60°$ illeszkedési szögnél, különböző szilárd-folyékony sűrűségarányok mellett. Ha $\mu < 1$, a hegyes csúcs jól láthatóan megjelenik. Amikor $\mu = 1$, a csepp alakjában nincs változás, míg $\mu > 1$ esetén a csepp megfagyáskor ellaposodik. Napraforgóolaj-cseppel ($\mu > 1$) elvégeztük a kísérle-

5. ábra. Vízcsepp megfagyás előtt és után.





6. ábra. Megfagyó vízcsepp geometriája.

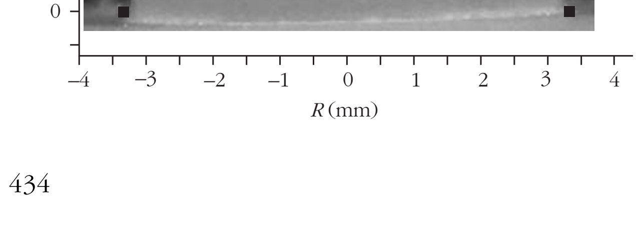
tet, a számításnak megfelelően lapos cseppet kaptunk. Tehát kúpos csúcs csak a megfagyáskor táguló anyagoknál jelentkezik [3].

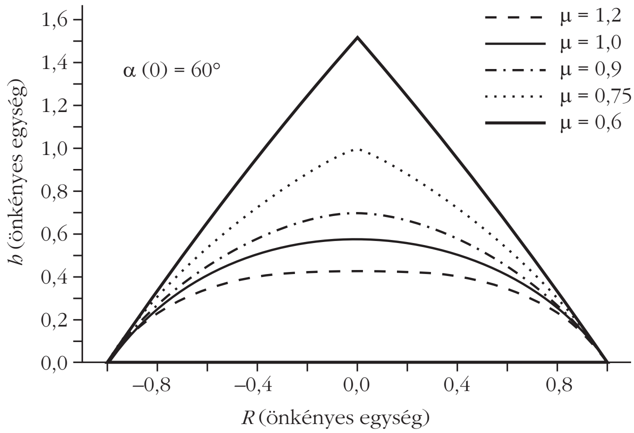
A *8. ábrán* szimulált görbéket próbáltunk valós cseppekre illeszteni. Megfigyelésünk szerint a valós cseppek kissé ellapultabbak, míg csúcsuk hegyesebb, illetve profiljukban inflexiós pont látható, ami a szimulációkból nem következik.

Az eltérések nyomán megvizsgáltuk a geometriai modell három egyszerűsítő feltételezését, elsőként a gravitáció hatását. Miután a cseppet a hideg felületre helyeztük, gyorsan fejjel lefelé fordítottuk azt. Az így megfagyott csepp kissé megnyúlt a többihez képest, ami mutatja a gravitáció nem elhanyagolható hatását. Feltételezésünk szerint ez okozza, hogy a valódi cseppek laposabbak, mint a szimulált görbék. Ezután fagyás közben zsebkendővel felitattuk a még meg nem fagyott részt. Így szemmel látható volt, hogy a fagyási front a modell feltételezésével ellentétben korántsem tökéletesen vízszintes, a széleken peremet láttunk. A harmadik feltételezést szabad szemmel, illetve a videókat elemezve nehéz vizsgálni. Megjegyezzük, ha feltételezzük, hogy a hármaspont elmozdulása nem esik egybe a folyadék/gőz határfelület irányával, hanem azzal állandó szöget zár be, akkor az alak pontosabb leírásához jutunk [4]. A legpontosabb modellek figyelembe veszik a megfagyás bonyolult termodinamikai lefolyását, valamint a gravitáció hatását is [4].

A téma feldolgozása elsősorban matematikai ismereteket bővít, azonban szoros kapcsolata van a fizikával. A modellalkotás és numerikus szimulációk készítése egy fizikus mindennapos munkája. A probléma

8. ábra. Valós cseppre illesztett szimulált görbe, a szimuláció a jégre/vízre jellemző μ = 0,9 sűrűségaránnyal készült.





7. ábra. Szimulált cseppalakok különböző sűrűségarányok mellett.

vizsgálata szemléletesen mutatja be, hogy egy modellnek vannak határai, lehet finomítani és végső célja a valós fizikai jelenség leírása.

Olajcsillagok

Lassan 200 éve ismert, hogy függőlegesen rezgetett folyadékok felszínén állóhullámok alakulnak ki. A jelenséget *Michael Faraday* írta le 1831-ben, és már akkor megfigyelte, hogy 1) az állóhullámok csak egy kritikus amplitúdó fölött alakulnak ki, 2) az állóhullámok gyakran szabályos négyzetrácsot alkotnak, illetve 3) a létrejövő rezgés frekvenciája éppen fele a gerjesztő frekvenciának. A versenyen kitűzött feladat olyan Faraday-hullámok vizsgálata volt, amelyek viszkózus folyadékok felületén alakulnak ki.

Kísérleti összeállításunkban egy mechanikai vibrátorra vízszintezett üvegtálat erősítettünk, amelybe folyadékot töltöttünk, a rendszert függőlegesen rezgésbe hoztuk. A kísérletek során a folyadék felületén megjelenő állóhullámok alakját az alábbi paraméterek függvényében vizsgáltuk:

a) *Viszkozitás*. Méréseinket 8,5 relatív (vízhez viszonyított) viszkozitású hígított glicerinnel és 50, 1000, illetve 12 500 relatív viszkozitású szilikonolajjal végeztük. Általános megfigyelésünk szerint minél viszkózusabb egy folyadék, annál nagyobb a hullámok kialakulásához szükséges kritikus amplitúdó, viszont azok könnyebben rendeződnek stabil mintázatba.

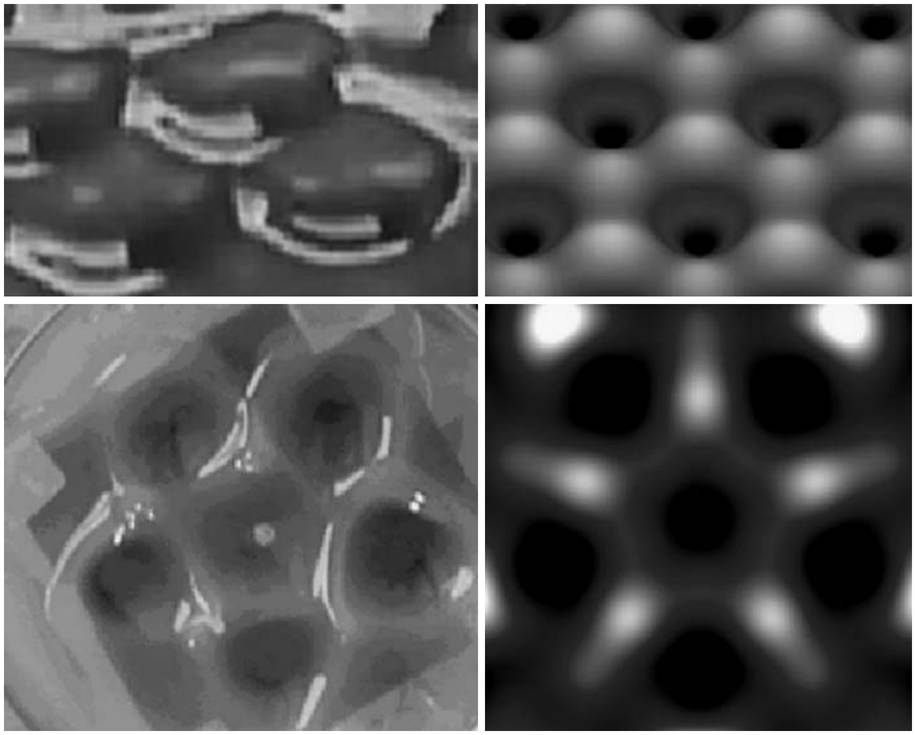
b) *A folyadék mélysége*. Vékonyabb folyadékréteg esetén nőtt a kritikus amplitúdó, de a mintázatok szimmetriatulajdonságai is változtak a mélységgel.

c) *A tartály mérete és formája*. Azonos paraméterek mellett különböző alakú (kör és téglalap alapú) edényekben ugyanolyan hullámviselkedést találtunk. Tehát az edény faláról való visszaverődés elhanyagolható a folyamatban.

d) *Frekvencia*. Ezt a következő módon vizsgáltuk: 21,5 Hz-től 9 Hz-ig fokozatosan csökkentettük a frekvenciát (A = 1 mm, mélység 7 mm, glicerin). A kapott mintázatok frekvencia szerint csökkenő sorrendben: hexagonális, négyzetes, pentagonális és hétszög alakú, azaz adott amplitúdó mellett a frekvencia csökkenésével egyre összetettebb szimmetriájú mintázatok alakulnak ki (*9. ábra*).

e) *Amplitúdó.* Megfigyelésünk szerint az amplitúdó növekedésére a rendszer a következőképpen reagál: i) lapos felszín, ii) körkörös hullámok, iii) szimmetrikus mintázat, iv) „fröccsenés”. Ez utóbbi akkor alakul ki, ha a hullámhegyek csúcsairól folyadékcseppek válnak le, amelyek által keltett hullámok megszüntetik a szimmetrikus mintázatot.

A vonatkozó irodalom szerint a Faraday-hullámok kialakulásáért a folyadék különböző pontjaiban gerjesztett síkhullámok felelősek, és ezek interakciója hozza létre a mintázatokat [5]. A rendszert stabilizálja, hogy a kialakult szimmetrikus elrendeződés energetikailag kedvezőbb a rendszer számára, ezért a kialakulás után igyekszik azt fenntartani. Az ilyen állóhullámok kialakulását az úgynevezett *három hullám elmélet* segítségével szokás jellemezni, amely három síkhullám interferenciájaként írja le őket. Ennek matematikai feltételei



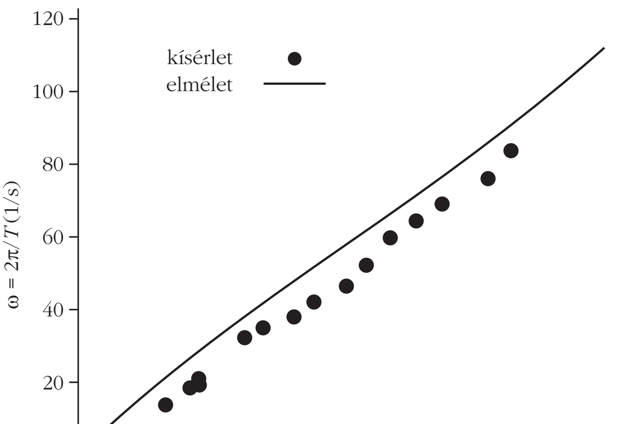
9. ábra. Balra hexagonális (21 Hz) és pentagon (10 Hz) mintázat kísérletben. Jobbra síkhullámok szuperpozíciójaként előállított, a megfigyeltekhez igen hasonló hullámalakok.

$$\omega_1 \pm \omega_2 \pm \omega_3 = 0 \text{ és}$$

$$\boldsymbol{k}_1 \pm \boldsymbol{k}_2 \pm \boldsymbol{k}_3 = 0,$$

ahol ω_i és $\boldsymbol{k}_i$ ($i = 1, 2, 3$) az i-ik síkhullám körfrekvenciája, illetve hullámszámvektora. Kérdés azonban, hogy a három hullám rezonanciafeltételei teljesülhetnek-e a mi esetünkben. Ennek érdekében elsőként a rendszer $\omega(\boldsymbol{k})$ függvényét, azaz diszperziós relációját határoztuk meg a hullámkádban keltett síkhullámok hullámhosszának és sebességének mérésével. A mért kísérleti pontok nagyon jó egyezést mutatnak az azonos mélységű és viszkozitású folyadékra vonatkozó jól ismert elméleti eredményekkel. A görbe azonban közel lineáris, azaz a fenti rezonanciafeltételek nem állhatnak elő (ehhez erősen konvex diszperziós relációra lenne szükség). Ellenben megfelelő számú és szögű síkhullám találkozása (időbeli fejlődése is) igen hasonló a megfigyeltekkel (*10. ábra*). Annak magyarázata, hogy miért teljesül mégis a rezonancia, a felületi hullámok nemlineáris jellegére vezethető vissza és a parametrikusan gerjesztett rezgések témakörébe vezet [6]. Ezen út követése azonban már messze túlmutat a középiskolai kereteken. A feladat megoldása során azonban számos középiskolai témakört érintettünk, mint például rezgések, hullámmozgás, interferencia, illetve viszkózus folyadékok fizikája.

10. ábra. A kísérleti úton meghatározott diszperziós reláció (7 mm mély glicerines oldat esetén), és az azonos trendet mutató, a kísérletekkel megegyező mélységű és viszkozitású folyadékra vonatkozó elméleti görbe.



Irodalom

1. A. Radenovic: *Brownian Motion and Single Particle Tracking.* http://lben.epfl.ch/files/content/sites/lben/files/users/179705/Brownian%20Motion%20Handout.pdf
2. Juhász A., Tasnádi P: *Érdekes anyagok anyagi érdekességek.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 1992.
3. J. H. Snoeijer, P. Brunet, *American Journal of Physics 80* (2012) 765.
4. D. M. Anderson, M. Grae Worster, S. H. Davis, *Journal of Crystal growth 163* (1996) 335.
5. W. Zhang, J. Viñals, *J. Fluid Mech. 336* (1997) 301.
6. J. Rajchenbach, D. Clamond, A. Leroux, *Phys. Rev. Lett. 110* (2013) 094502.

FENYVES ERVIN
1924. augusztus 29. – 2014. október 14.

Fenyves Ervin, a dallasi Texasi Egyetem professzor emeritusa, a Magyar Tudományos Akadémia külső tagja, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat tiszteleti tagja életének 91. évében elhunyt.

Matematika-fizika tanárként 1946-ban végzett, de a családi hagyományokat követve emellett 1948-ban gyógyszerészi képesítést is szerzett. Tudományos munkásságát a Pázmány Péter Tudományegyetemen, *Barnóthy Jenő* és *Forró Magdolna* irányításával a kozmikus sugárzás területén kezdte, majd az ő külföldre távozásuk és a KFKI 1950-ben történt megalakulása után a *Jánossy Lajos* vezette Kozmikus Sugárzási Osztályon folytatta. Egyetemi doktori fokozatot már 1950-ben szerzett. A KFKI-ban hamarosan a kozmikus kutatások egyik vezető egyéniségévé vált. Akadémiai doktori értekezését 1960-ban *30 GeV körüli neutronok ütközési hatáskeresztmetszetének vizsgálata ólomban* címen készítette. A KFKI Kozmikus Fizikai Laboratóriumának vezetése mellett az ELTE Atomfizikai Tanszékén docensként, majd professzorként az egyetemi oktatásba is bekapcsolódott. Hamar felismerte a gyorsítós vizsgálatok egyre növekvő fontosságát, és nagyrészt az ő érdeme volt a jó kapcsolat kiépítése a dubnai Egyesített Magfizikai Kutatóintézettel és a genfi CERN kutatóközponttal. Így a modern hazai kísérleti nagyenergiájú fizikai kutatások megalapítójává vált. 1964-től 1967-ig a dubnai intézet igazgatóhelyettese volt, és ott is sokat tett a kelet–nyugati tudományos kapcsolatok fejlesztéséért. 1965-ben itthon Állami Díj kitüntetésben részesült. A KFKI-ban az ő kezdeményezésére indult meg az elméleti fizikai kutatómunka a részecskefizika és a kvantumtérelmélet területén.

Fenyves Ervin 1965-ben (MTI Fotó: *Mező Sándor*).

1968-ban a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség bécsi fizikai szekciójának vezetésére kapott megbízást, de innen politikai okokból a szerződés lejárta előtt visszahívták. Ezután 1969-ben feleségével és fiával együtt külföldre távozott, és rövid svájci tartózkodás után az Egyesült Államokba kapott meghívást. Először a philadelphiai Pennsylvaniai Egyetemen volt vendégkutató, majd 1970-től 40 éven át a Texasi Egyetemen volt professzor, és csak 2011-ben vonult nyugalomba. Ottani munkáiról részletes információ található az MTA *Magyar Tudományosság Külföldön* hírlevelének 2014. július 15-i számában [1] és a Texasi Egyetem nekrológjában [2], ezért tevékenységének csak néhány, a *Fizikai Szemle* olvasói számára különösen érdekes részletét emeljük ki.

Az 1970-es években a gyorsítókkal végzett nagyenergiájú fizikai kutatásoktól ismét kozmikus témák felé fordult érdeklődése. Először a pulzárokból és szupernóva-robbanásokból érkező neutrínók detektálási lehetőségeivel és a hiányzó Nap-neutrínók problémájával foglalkozott Amerikába települt régi munkatársával, *Bozóki Györggyel* és más amerikai kollégáival együtt. Bekapcsolódott a relativisztikus asztrofizikával foglalkozó texasi szimpóziumok szervezésébe, a 14. szimpózium főszervezője és az előadás-gyűjtemény szerkesztője is volt. Az 1970-es évek végétől abban a dél-dakotai Homestake bányában végzett és tervezett kozmikus sugárzással, neutrínókutatással, protonbomlással és a sötét anyaggal kapcsolatos méréseket, ahol *Raymond Davis* Nap-neutrínókkal kapcsolatos Nobel-díjas kísérletei is folytak. Az 1990-es években *E. B. Cline*-nal együtt vizsgálta a kozmikus sugárzási részecskék tömegeloszlását és anizotrópiáját a bányában 4200 méter vízekvivalens mélységben elhelyezett szcintillációs hodoszkóp segítségével. Új típusú eljárást dolgoztak ki a kozmikus eredetű gamma-sugárzás mérésére. Részt vett az olaszországi Gran Sasso laboratóriumban ma is működő föld alatti IKARUS-detektor tervezésében.

Kutató és szervező tevékenysége mellett az egyetemi oktatásban is intenzíven részt vett. Orvosi fizikával kapcsolatos találmányai is vannak, és a környezetvédelem terén is fontos eredményei voltak. Gyógyszerészi végzettsége, valamint gyermekei érdeklődési köre is motiválhatták ezirányú munkásságát (lánya gyógyszerész, fia igen sikeres orvos). Fia visszaemlékezései [3] nem csak amerikai beilleszkedésükről, de Fenyves Ervin és a család történetéről is értékes információt nyújtanak.

A rendszerváltás után többször járt itthon, munkásságáról számos előadást tartott, a *Fizikai Szemlében* is több cikke jelent meg eredményeiről, érdeklődési köréről és egykori hazai munkatársairól.

Domokos Gábor, Johns Hopkins Egyetem, Baltimore; az MTA külső tagja
Király Péter, MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont RMI, Budapest

Irodalom:
1. *MTA Magyar Tudományosság Külföldön Elnöki Bizottság Hírlevél,* IV. évf. 7. szám (2014. július 15.), Külhoni Magyar Tudósportrék: Fenyves Ervin. (I–IV. oldal) http://mta.hu/data/cikk/13/10/27/cikk_131027/MTA_MTK_EB_hirlevel_2014_07_15.pdf
2. *Longtime Physics Professor Remembered by Friends, Colleagues*. http://www.utdallas.edu/news/2014/10/21-31254_Longtime-Physics-Professor-Remembered-by-Friends-C_story-wide.html?WT.mc_id=NewsHomePageCenterColumn
3. Andrew Zoltan Fenves, MD: A conversation with the editor. *Baylor University Medical Center Proceedings,* July 2004; 17(3): 318–331. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1200668

Fenyves Ervin írásai a Fizikai Szemlében

Kozmikus sugárzás mérése bányában (*Fenyves Ervin, Haiman Ottó*) — 1952/119
Kozmikus sugárzás — 1953/67
Nagyenergiájú részecskefizika és a szupravezető szupercollider — 1993/92
Barnóthy Jenő, 1904–1996 — 1997/26
Kísérleti részecskefizika a 21. század elején — 1997/9
Száz évvel Eötvös Loránd után — 1998/191
Haiman Ottó 80 — 2000/446
Koch József, 1931–2005 — 2005/274

A TÁRSULATI ÉLET HÍREI

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Rendkívüli Küldöttközgyűlése

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat **2015. január 23-án,** pénteken 13.00 órai kezdettel tartja Rendkívüli Küldöttközgyűlését az Eötvös Loránd Tudományegyetem Fizikai épületének (Budapest, XI. Pázmány Péter sétány 1/A, Északi Tömb) 083-as előadótermében (Eötvös-terem).

A Rendkívüli Küldöttközgyűlés összehívása azért vált szükségessé, mert bírósági végzést kaptunk, miszerint kötelesek vagyunk egy sor korrekciót megtenni az Alapszabályunkon, azért, hogy az összhangban legyen az új Polgári Törvénykönyv előírásaival.

A Küldöttközgyűlés nyilvános, azon bárki részt vehet. A Küldöttközgyűlésen a Társulat bármely tagja felszólalhat, de a szavazásban csak a területi és szakcsoportok által megválasztott és küldöttigazolvánnyal rendelkező küldöttek vehetnek részt.

Amennyiben a Küldöttközgyűlés a meghirdetett időpontban nem határozatképes, akkor munkáját 13.30-kor kezdi meg. Az ily módon megismételt Küldöttközgyűlés a megjelent küldöttek számára való tekintet nélkül határozatképes, de a jelen értesítésben szereplő tárgysorozatot nem módosíthatja.

A Társulat Elnöksége a következő tárgysorozatot javasolja:

1. Megnyitó – *Sükösd Csaba* alelnök
2. A Szavazatszámláló Bizottság felkérése
3. Javaslattétel a Felügyelő Bizottság kiegészítésére, illetve a Felügyelő Bizottság és a Jelölőbizottság megbízásának megújítására, előterjesztő: *Kürti Jenő* főtitkár
4. Javaslattétel a Társulat székhelyének megváltoztatására (Fő utca → Ráday utca), előterjesztő: Kürti Jenő főtitkár
5. Javaslattétel az Alapszabály módosítására a Fővárosi Törvényszék végzésének megfelelően, előterjesztő: Kürti Jenő főtitkár
6. Vita és szavazás a napirend 3–5. pontjaival kapcsolatban
7. A Társulat működésének megújítása 2015-ben (elképzelések és akciók), vitavezető: *Patkós András* megválasztott elnök
8. Egyebek
9. Zárszó

ISSN 0015325-7

A FIZIKAI SZEMLE LXIV. ÉVFOLYAMÁNAK TARTALOMJEGYZÉKE

A FIZIKA TANÍTÁSA

VÉLEMÉNYEK

KÖNYVESPOLC

PÁLYÁZATOK

HÍREK – ESEMÉNYEK

MELLÉKLET