

fizikai szemle



2017/4



MEGHÍVÓ

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat megköszöni, hogy közel 100 tisztelője személyes adományával megteremtette a lehetőséget, hogy az ELFT örökös elnöke,

MARX GYÖRGY EMLÉKTÁBLÁJÁT

felállíthassuk. A táblát egykori lakóháza (Budapest, XI. kerület, Lágymányosi utca 20.) falán, születésének kilencvenedik évfordulóján,

2017. május 25-én délután 1 órakor avatjuk fel.

A rövid ünnepségre tisztelettel meghívjuk az Eötvös Loránd Fizikai Társulat és testvérszervezetei, a Magyar Nukleáris Társaság, a Magyar Geofizikai Egyesület, a Magyar Kémikusok Egyesülete tagságát, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kara diákjait, oktatóit és vezetőit, a magyar fizikusok és fizikatanárok közössége tagjait, valamint a XI. kerület (Újbuda) polgárait, hogy együtt tiszteljük Marx György emléke előtt.

Az avatási ünnepséget követően a Marx-család az ELTE TTK Kari tanács-termében (XI. kerület, Pázmány Péter sétány 1/A VII. em. 7.21) vendégül látja a résztvevőket, majd délután 3 órakor

Prof. Szalay Sándor

Johns Hopkins Egyetem, USA, az ELTE tiszteletbeli doktora és professzora

The New Astronomy – The Era of Surveys

címen tartja meg a 2017. évi Marx György Emlékelőadást.

az Eötvös Loránd Fizikai Társulat elnöksége

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat havonta megjelenő folyóirata.

Támogatók: a Magyar Tudományos Akadémia Fizikai Tudományok Osztálya, az Emberi Erőforrások Minisztériuma, a Magyar Biofizikai Társaság, a Magyar Nukleáris Társaság és a Magyar Fizikushallgatók Egyesülete

Főszerkesztő:

Szatmáry Zoltán

Szerkesztőbizottság:

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

Szerkesztő:

Lendvai János

Műszaki szerkesztő:

Kármán Tamás

A folyóirat e-mailcíme:

szerkesztok@fizikaiszemle.hu

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A beküldött tudományos, ismeretterjesztő és fizikatanítási cikkek a Szerkesztőbizottság, illetve az általa felkért, a témában elismert szakértő jóváhagyó véleménye után jelenhetnek meg.

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>



A címlapon:
Az ELTE Radnóti Miklós Gyakorlóiskola diákjai egy rendhagyó tanórán a Vörösmarty téren. A szappanbuborékokról szóló írást lásd a 121–129. oldalakon.

TARTALOM

Gyulai József, Battistig Gábor, Kiss Árpád Zoltán, Szilágyi Edit: 110
Georges Amsel (Amsel György) 1933–2017

Az ionsugaras analízis egyik megteremtőjére emlékezünk

Horváth Dezső: Antianyag-vizsgálatok a CERN-ben 115

A fizika feltételezi a részecske és antirészecske, anyag és antianyag egyenértékűségét, mégsem látunk antianyag-galaxisokat: hova tűnhetett az antianyag?

Rajkovits Zsuzsanna: Szappanhártyák és -buborékok 121
tudománytörténete

Molekuláris kölcsönhatások által meghatározott felületi jelenségek megismerésének története

A FIZIKA TANÍTÁSA

Bogár Attila, Bedőcs Imre, Horváth Gábor: Lewis R. Rygg (1893) 129
klasszikus mechanikus lova – a ló megépítése, és mozgásának elemzése: eszköz a négy lábú állatok lábmozgásának szemléltetésére és elemzésére

Négylábúak lépéssorrendjét szemléltető, oktatási célra is alkalmas modell

Borbély Venczel: Polarizációs kísérletek mindennap használatos, 135
egyszerű eszközökkel

A polarizáció oktatásakor akár csoportmunkára, vagy otthoni kísérletezésre is használható kísérletek

Sós Katalin: Fizikai folyamatok a természetben, a téma megjelenése 140
az oktatásban

Hogyan tehetjük oktatásunkat nyitottabbá, életközelibbé, érdekesebbé a merev tantárgyi határok feloldásával és a különböző tudományterületek közötti párbuzamok bemutatásával

HÍREK – ESEMÉNYEK

Nobel-díjas (bár csupán Ig-) írás a Szemlében 144

J. Gyulai, G. Battistig, Á. Z. Kiss, E. Szilágyi: Georges Amsel, 1933–2017

D. Horváth: Antimatter research in the CERN

Zs. Rajkovits: History of science of soap films and bubbles

TEACHING PHYSICS

A. Bogár, I. Bedőcs, G. Horváth: The classic mechanical horse of Rygg (1893)

V. Borbély: Experiments on polarization with simple everyday tools

K. Sós: Physical processes of nature and their inclusion in teaching

EVENTS



GEORGES AMSEL (AMSEL GYÖRGY) 1933–2017

Gyulai József, Battistig Gábor – MTA EK MFA
Kiss Árpád Zoltán – MTA Atomki
Szilágyi Edit – MTA Wigner FK RMI

2017. március 11-re virradóan egy párizsi kórházban, életének nyolcvannegyedik évében elhunyt *Georges Amsel* (*Amsel György*, 1. ábra) professzor, az ionsugaras analízis egyik „atyja”, szakmai közösségünk egyik vezetője, az Université Paris 7 et 6 Groupe de Physique des Solides (GPS) CNRS kutatócsoport korábbi vezetője, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat tiszteletbeli tagja.

A szélesebb hazai fizikus közösség akkor figyelhetett fel Georges-ra, amikor az Eötvös Loránd Fizikai Társulat tiszteletbeli tagjának választotta 2003-ban, éppen hetvenéves korában. Erre – egyebek között – az adott indokot, hogy Georges Amsel kiemelkedő eredmények okán „tartam-rekordot” ért el az MTA–CNRS pályázatainak leghosszabb ideig támogatott francia–magyar nemzetközi program vezetőjeként.

Georges Amsel kapcsolatai a magyar ionsugaras analitikával foglalkozó kutatóközösséggel mélyek és barátságosabbak voltak. Kezdetben talán az Atomki kutatóival alakultak ki, de a hetvenes évek végén KFKI kutatóival is egymásra találtak a Caltech Electrical Engineering professzora, *Jim Mayer* révén – ő barátkoztatta össze *Gyulai Józsefet* Georges Amsellel, aki az ion-szilárdtest kölcsönhatások arzenáljának kutatását, egyik elsőként az anyagvizsgálatra élezte ki. Azzal a kérdéssel foglalkozott, hogy a besugárzás hatására kilépő és detektálható „termékekből” (legyenek ezek ionok, elektronok, röntgen- vagy gamma-kvantumok) miként lehet következtetni a besugárzott anyag kémiai összetételére, kristályszerkezetére. Ez volt az a tematika, amelyhez mind az Atomki, mind a KFKI kutatói csatlakoztak, felhasználva a mindkét intézményben rendelkezésre álló részecskegyorsítókat. Bár mindkét helyen az anyagvizsgálat volt a fő cél, szakmai ambícióink sok sikert hozott a metodika fejlesztésében is, és ennek kapcsán szervesen összekapcsolódtunk Georges Amsel, a magyarul kifogástalanul beszélő Gyuri témájával, azaz a párizsi iskolával. 1985-ben és ezt követően indult el először a CNRS által, majd az MTA-val közösen finanszírozott cserekapcsolat, amelyben mind az Atomki, RMKI és ATKI (később MFA), mind a GPS kutatói – beleértve Amsel Gyurit is – részt vettek. A jó másfél évtizedes programban fontos és nemzetközileg elismert eredmények születtek mind a metodikai, mind a technológiaközelítési kutatásokban.

Honnan tudott magyarul? Gyuri Budapesten született, majd, mint a vészkorszak egyik 11-12 éves gyermekkorú túlélője – szüleivel, testvérével – Budapestről Svájcba menekülhetett [1], itt érettségizett, majd Franciaországban, Párizsban tanult fizikussá. Gyuri és szintén magyar gyökerekkel rendelkező, nagyszerű



1. ábra. Georges Amsel a *Fourth International Meeting on Recent Developments in the Study of Radiation Effects in Matter* konferencián (Padova, Olaszország, 2011).

orvos felesége, *Monique* megőrizték magyar nyelvtudásukat. „Reneszánsz” különlegességük az érdeklődés a népi kultúrák, kiemelten a kelet-európai kultúrák iránt. Franciák lévén, például gyanú felett járhatták a „ceausescu” időkben is az erdélyi, moldvai falvakat, és gyűjthettek össze egy néprajzi múzeumnyi szöveget, ruhát, népi szerszámokat és magnóra véve meséket és dalokat. Később Gyuri nagyszüleinek városában, Mezőkövesden rendszeresen látogatták „Margit nénit” a nagy mesemondót, a népművész mesterét [2]. Különleges esemény lett, amikor 1993-ban mi rendezhettük az Ion Beam Analysis (IBA) nemzetközi konferenciát Balatonfüreden, ahol a csatlakozó „Böhmische Meeting”-re¹ Amselék hoztak Magyarországra sok-sok öltözéket és a konferencia résztvevői mutatták be azokat a gálán (2. ábra). Emlékezetes este volt.

Kegyelettel és tisztelettel kell azon munkatársaink nevét megemlítenünk, akiknek fontos szerepük volt a közös munkában, azonban nem érhették meg, hogy Gyurit meggyászolják: *Pásztai Ferenc*, aki évekig volt az ionsugaras csoportunk vezetője, *Manuaba Ashrama*, a kiváló kísérletező és *Vázasnyói Éva* félvezető technológus, aki a preparatív háttér biztosításában volt – főleg a kezdetekkor – kulcsszereplő.

¹ A „Böhmische Meeting” a Caltech-en 1975-ben alakult, tréfás nevű „Kaiserlich-Königliche Böhmische Physikalische Gesellschaft” tudományos társaság angolos rövidneve. A társaságot azért alakítottuk Jim Mayer ötletére és álnevet választó vezetésével, mert „a fizikusoknak mérnökök, a mérnököknek fizikusok” voltunk – így hát az ionsugaras kutatóknak önálló társaságra van szükségük, mondtuk...



2. ábra. A 1993-as IBA konferencia (Balatonfüred) „Böhmische Meeting”-en a konferencián résztvevő hölgyek mutatták be Amselék népviseleti gyűjteményét. (Monique balról a második, Gyuri a hölgyek mögött áll, Szilágyi Edit a jobb szélén.)

A kezdeti évek

A fizikusi diploma megszerzése után Amsel Gyuri 1959-ben kezdett dolgozni az École Normale Supérieure, Paris laboratóriumaiban. Részt vett az első Van de Graaff-iongyorsító telepítésében és irányította a részecskék ütközésével kapcsolatos kutatómunkát. Az első időben gáztöltésű ionizációs kamrákkal, sok kézimunkával sikerült az ütközések reakciótermékeit detektálni. 1960-ban kezdett félvezető-detektorokat alkalmazni ionsugaras mérésekben. Az új eszköz egy csapásra nagyságrenddel növelte meg a detektor érzékenységét és energiafelbontó-képességét. Persze a félvezető eszközhöz új, gyors elektronika is kellett, amelynek fejlesztésében szintén sokat dolgozott Gyuri.

Az új típusú, nagy energiafelbontó-képességű detektor segítségével először tudta detektálni az 1 MeV energiájú deutérium és a ^{16}O vagy ^{18}O izotóp ütközésében keletkező különféle reakciótermékeket. Nagy kérdés volt, hogy miként lehet a gáznemű oxigénizotópokból a besugárzáshoz elegendően vékony mintát készíteni. Gyuri kidolgozott egy szellemes eljárást: vékony alumíniumfóliát híg oldatba mártva annak felületére anódosan vékony oxidréteget tudott növesztetni. A hátoldaltól egy kis területen kioldotta az alumíniumot, így 250–750 Å vastag öntartó Al_2O_3 membránt tudott készíteni. Ha természetes vízben végezte az anódos oxidálást, akkor $\text{Al}_2^{16}\text{O}_3$, ha ^{18}O -ben dúsított vízben történt a kezelés, akkor $\text{Al}_2^{18}\text{O}_3$ réteg keletkezett. Amikor egymás után, először természetes vízben majd ^{18}O -ben dúsított vízben végezte az oxidálást, akkor egy $\text{Al}_2^{16}\text{O}_3$ - $\text{Al}_2^{18}\text{O}_3$ szendvicsszerkezet állított elő. A vékony membrán egyik és másik oldala felől vizsgálva a mintát, meg tudta állapítani, hogy a mintában hol helyezkednek el a ^{16}O és ^{18}O izotópok, melyek voltak a mozgó atomok az anódos oxidációs folyamat közben. Ezzel megszületett az izotópjelöléses anyagvizsgálati módszer, amelynek elméleti kérdéseit, és kísérleti alkalmazását Gyuri egész pályafutása alatt kutatta és továbbfejlesztette.

1964-ben sikeresen védte meg ebben a kérdéskörben írt doktori értekezését [3]. Az azt követő években különféle területeken, a félvezető-technológiától a geológiáig, a vékonyréteg-fizikától a műtárgyak elemzéséig számos területen alkalmazta az izotópjelölés technikáját és a magreakciókon alapuló ionsugaras mérési módszert. Kutatói munkájának legfontosabb területei:

- Az ionsugaras analitikai módszerek alapvető, elemi folyamatainak kutatása, elméleti megismerése és elsősorban statisztikai leírása.
- A rugalmas ionszórás és a magreakciós folyamatok hatáskeresztmetszetének pontos, részletes kísérleti meghatározása.
- Az ionok fékeződési mechanizmusainak és az anyagban történő szóródásának részletes, elsősorban statisztikai alapú leírása és kísérleti ellenőrzése.
- Kristályos anyagok vizsgálatokor fellépő csatornahatás elméleti leírása és kísérleti alkalmazása.
- Az anyagvizsgálatokra alkalmas elektrosztatikus gyorsítók, mintakamrák és detektorrendszerek minél jobb megismerése és a feladatokhoz alkalmas elrendezések megvalósítása az atomi felbontóképesség eléréséig.
- Stabil izotópokat használó izotópjelölésű mintakészítés technológiai módszereinek kutatás-fejlesztése.

Amsel György és a Louvre

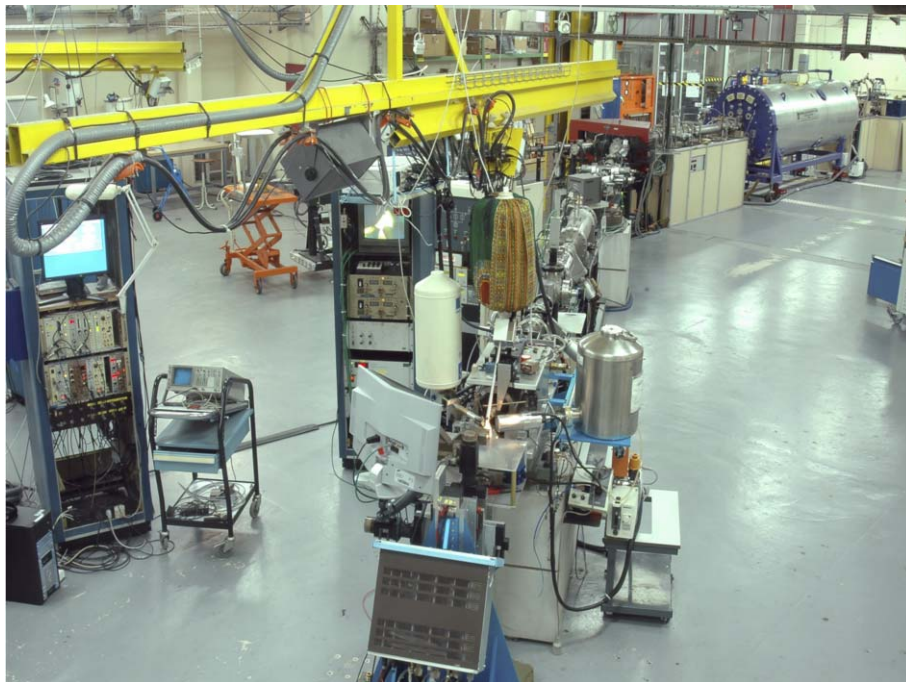
A 80-as évektől kezdve a MeV energiájú ionsugaras analitika (IBA) módszerei alkalmazásra találtak a fizikán és az anyagtudományon kívül a műtárgyak és a régészeti leletek tanulmányozásában, köszönhetően annak, hogy ezek a módszerek roncsolásmentesnek tekinthetők. Az IBA hasznossága az elemanalitika terén arra bátorította a Franciaországi Múzeumok Laboratóriumát (Laboratoire de Recherche des Musées de France – LRMF), hogy egy olyan részecskegyorsítóra tegyen szert, amelyiket kizárólag a régészeti és művészeti tárgyak tanulmányozására használhatnak. 1982-ben elhatározták, hogy megvásárolnak egy ilyen berendezést, és mivel a műtárgyaknak biztonsági okokból a múzeum területén kell maradniuk, azt a múzeumba telepítik.

Ez az elhatározás találkozott Amsel Gyuri elképzelésével, akinek célja volt az IBA kiterjesztése a legtávolabbi tudományterületekre is. Hiszen ő volt az, aki 1968-ban elsőként hozott létre részecskegyorsító berendezést magfizikai laboratóriumon kívül, a párizsi École Normale Supérieure Szilárdtest-fizikai Csoportjában, így nagy tapasztalatokkal rendelkezett egy

ilyen berendezés telepítése és használata terén. Együttműködés jött létre a két intézmény között. Amsel Gyuri 1983-tól a gyorsító elkészültéig tanácsadóként vett részt az LRMF munkájában. Számos technikai részletet kellett tisztázni a Pelletron típusú tandem elektrosztatikus gyorsító gyártójával és a laboratórium építőivel, hogy a gyorsítólaboratórium kielégítse a múzeumi környezetben végzett ionnyaláb-analitika követelményeit. 1984-től irányította a berendezés telepítését az LRMF vezetőjével *Michel Menu*-vel. A megvalósításban fiatal munkatársakra, mindezenelőtt *Joseph Salomonra* és *Thomas Calligaróra* támaszkodhatott.

Bár a tervek szerint a részecskék keltette röntgensugárzás észlelésén alapuló módszer, a PIXE játszotta a főszerepet, az IBA összes előnyeit biztosítani akarták azzal, hogy megvalósítják a visszaszórásos spektrometriát (BS) és a magreakciós analízist (NRA), illetve ennek a gamma-sugárzás észlelésén alapuló változatát (PIGE), protonokkal, deuteronokkal, valamint ^3He , ^4He és ^{15}N részecskéekkel. Továbbá megteremtették a mikronyaláb használatának lehetőségét. Megépítették a mélységi koncentrációprofilok meghatározásánál fontos, a rezonancia gerjesztési görbék regisztrálására Amsel Gyuri által korábban kifejlesztett automatikus pásztázó berendezést. Mivel szándékukban állt deuteronnyalábok rutinszerű használata NRA-ra, BS-re, valamint a deuteron keltette gamma-sugárzásos analízisre (DIGME, újabb névén d-PIGE), szükség volt hatásos neutronvédelemre és a gyorsító automatikus működtetésére. Az analitikai laboratórium, benne az AGLAE (Accélérateur Grand Louvre d'Analyses Élémentaires) névre elnevezett gyorsítóval 1988 nyarán kezdte meg működését a Louvre alagsorában (3. ábra), és mind a mai napig a világon az egyetlen, múzeum területén működő ilyen berendezés.

Amsel Gyuri ezután, ha nem is hivatalosan, de továbbra is szívügyének tekintette az AGLAE körüli tevékenységet, így szorgalmazta a csak a laboratórium terveiben szereplő, és a nemzetközi irodalomban is elvétve felbukkanó d-PIGE módszer kifejlesztését. Ennek megvalósulására 1993-ban került sor, amikor *Kiss Árpád Zoltán* elnyerte a Francia Kutatási és Technológiai Minisztérium LRMF-be szóló 4 hónapos ösztöndíját. *Thomas Calligaro*, *Joseph Salomon*, és az új munkatárs, *Isabelle Biron* részvételével, Amsel Gyuri javaslatai alapján, megkezdődhetett a deuteronok által keltett vastag céltárgy gamma-hozamok meghatározása a Li-től a Ca-ig terjedő elemek tarto-



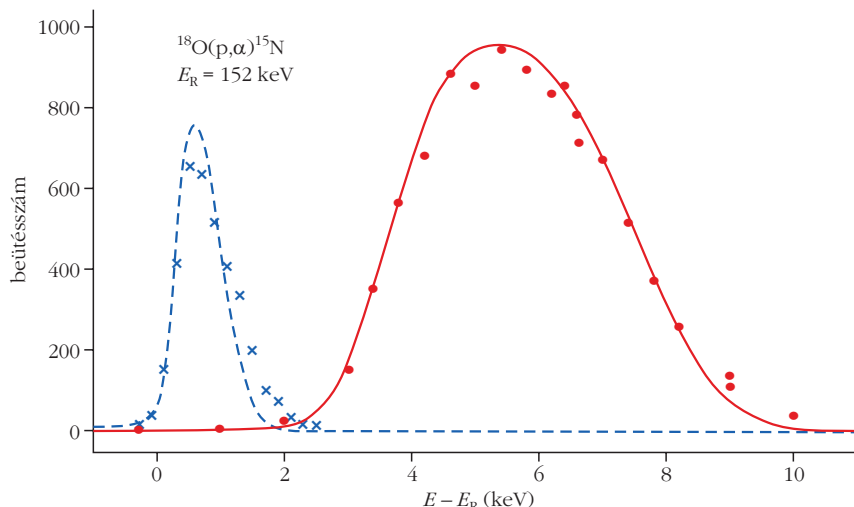
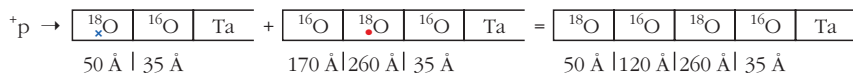
3. ábra. Gyorsító a Louvre múzeumban (AGLAE), Georges Amsel padovai előadásából (Radiation Effects in Matter, Padova, Olaszország, 2011).

mányában 3,4 MeV deuteronenergiáig, amire az analitikai használhatóság megállapítása érdekében volt szükség. Az első eredmények bemutatására az abban az évben Balatonfüreden megrendezett IBA konferencia nyújtott jó alkalmat. Ezt követően a módszer továbbfejlesztésére az Atomki Gyorsító Laboratóriumában került sor. Manapság ezt az Amsel Gyuri által javasolt módszert számos esetben alkalmazzák mindenelőtt a C, N és O elemek meghatározására nemcsak az LRMF-ben és az Atomkiban, hanem más, deuteronnyaláb előállítására alkalmas laboratóriumokban is (Sevilla, Bochum, Athén, Bukarest és legutóbb Teherán).

GPS–KFKI együttműködés

1990-ben új lehetőségek nyíltak, hogy Közép-Európából fiatal kutatók kapcsolódhassanak be francia egyetemi kutatócsoportok munkájába. Amsel Gyuri hathatós közbenjárása eredményeként először *Vízkelethy György*, majd 1991-ben *Battistig Gábor*, *Szilágyi Edit* és *Pásztai Ferenc* kezdett el dolgozni a párizsi egyetem Groupe de Physique des Solides ionsugaras kísérleti laboratóriumában.

A korai 90-es évek, Amsel Gyuri és Battistig Gábor közös munkájának egyik kiemelkedő eredménye a $^{18}\text{O}(p,\alpha)^{15}\text{N}$ magreakció hatáskeresztmetszetének pontos meghatározása a 150 keV bombázó energia környezetében (4. ábra). 151 keV protonenergián egy nagyon keskeny, 50 eV széles magreakciós rezonancia található a reakció hatáskeresztmetszetében. A párizsi gyorsítóberendezés rendkívül kis energiaszórású protonnyalábot szolgáltat még nagyon kis energiákon is. Ennek köszönhetően a vizsgált minták felü-



4. ábra. Az ${}^{18}\text{O}(p,\alpha){}^{15}\text{N}$ magreakciós rezonanciamódszerrel felvett gerjesztési görbe anódos oxidációval készült különféle izotópösszetételű Ta_2O_5 vékonyrétegekről [4].

letközeli rétegében akár 5 Å mélységfelbontás is elérhető. Az ezen alapuló új mérési módszer automatizálásában Révész Péter vett részt.

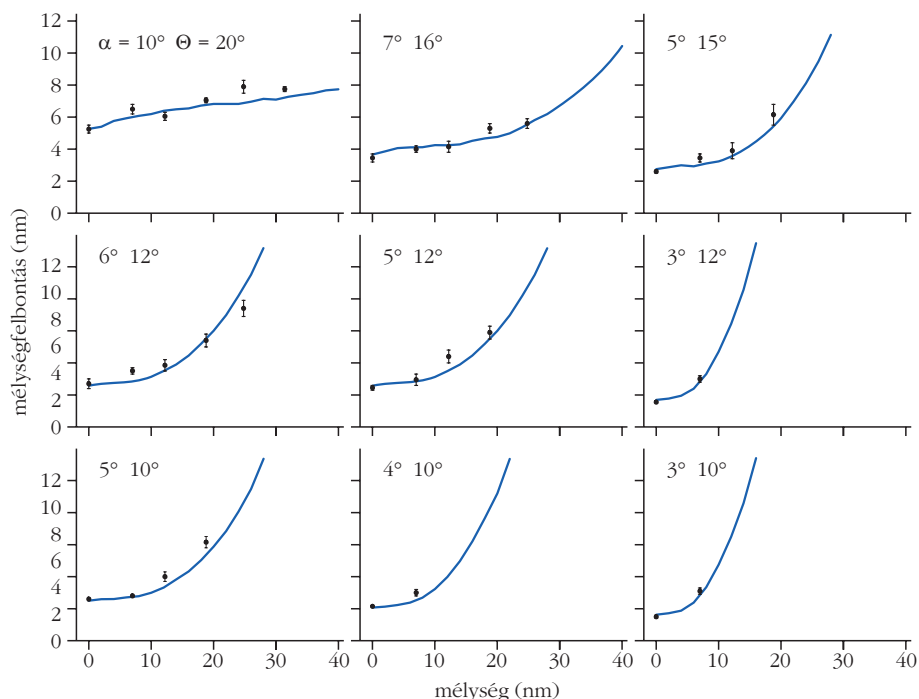
Ugyanebben az időszakban – sok más téma mellett – kezdődött el a többszörös szóródás elméleti és kísérleti vizsgálata is. Az ionok sok kisszögű szóródást szenvednek útjuk során az anyagban. E szóródásokra az a jellemző, hogy előreszóródás történik, a szóródás szöge igen kicsiny, és az energiavesztés minden egyes szóródási folyamatban elhanyagolható. Ily módon az ionok nem egyenes vonalon haladnak az anyagban, hanem egy előre nem definiálható, több töréspontot összekötő, egyenes szakaszokból álló pályán. Ennek az a következménye, hogy egy adott mélységben végbemenő szóródásnál egyrészt – az úthosszkülönbségek miatt – energiaelmosódást (lateral spread) kapunk a szóródás előtti energia meghatározásánál, másrészt a szóródási szög is bizonytalanná válik, és ez is energiaelmosódáshoz (angular spread) vezet. Ez a két járuléka nem független egymástól; a többszörös szóródás járulékaiknak helyes összegzését dolgoztuk ki Gyurival. Az ionnyalábos mérések mélységfelbontó-képességének és energiaelmosódásának elméleti meghatározása (amit a Depth program számol, 5. ábra) lényegesen pontosabb lett a közös munkánk eredményeinek

felhasználásával. Elmondhattuk, ha 5-10%-nál nagyobb eltérést találunk a mért és a modellek alapján számolt energia- vagy mélységfelbontás-értékek között, akkor a minta struktúrájában kell keresni az eltérés okát.

Ez a felismerés vezetett el egy másik, sok éven át űzött témához, a pórusos szilícium vizsgálatához. Vázsonyi Éva 1994-ben – talán a világon is elsőként – reprodukálható módon tudott kiváló minőségű oszlopos és szivacsos szerkezetű pórusos szilíciumot készíteni az ATKI csillebérci félvezető tisztalaborjában. A mintákat különféle mérés-technikákkal Párizsban és Budapesten is vizsgáltuk. A pórusos/tömör szilícium határfelületen tapasztalt energiaelmosódásokból a minta szerkezetére tudtunk következtetni. A méréseket Hajnal Zoltán Monte-Carlo szimulációs programjával értékeltük ki. A program továbbfejlesztett változatával ma már speciális nanostruktúrákon végzett mérések is értelmezhetőek.

A többszörös szórás jobb megértésére Gyuri egy matematikai statisztikán alapuló elméleti leírást dolgozott ki. Bemutatta, hogy a többszörös szórás fraktáljellegű, leírása hasonló matematikai módszerekkel lehetséges, mint amit B. Mandelbrot a fraktálok leírására használt.

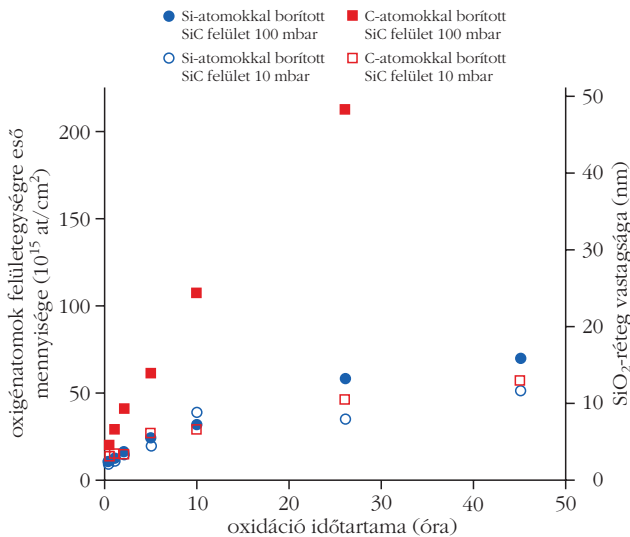
5. ábra. A szén nyalábbal végzett rugalmas meglökés (ERDA) mélységfelbontó-képessége különböző geometriai elrendezések esetén. α -val a beesési szöget, Θ -val a reakció szögét jelöltük, a szimbólumok a kísérletileg meghatározott mélységfelbontás-értékek, a vonal a Depth program számolásai [5].



1998 és 2004 között a párizsi és a budapesti kutatócsoport – együttműködésben – a szilíciumkarbid (SiC) magas hőmérsékletű termikus oxidációját tanulmányozta. A korábban kidolgozott izotóp-nyomkövetéssel próbáltuk tisztázni azokat az atomi transzportfolyamatokat, amelyek meghatározzák az oxidáció mechanizmusát. A kísérleti munka lényegében ugyanaz volt, mint amit az 1970-es években Gyuri és kollégái a szilícium oxidációs mechanizmusának vizsgálatakor már kidolgoztak. Érdeemes megjegyezni, hogy az egykristályos hexagonális SiC két polírozott felülete eltérő tulajdonságú. Az oxidáció kinetikája lényegesen gyorsabb a szénnel borított oldalon, mint ugyanazon szelet Si-atomokkal borított felületén (6. ábra).

Az izotóp-nyomkövetés kísérletek diszkussziója során jutott Gyuri eszébe, hogy egy összefoglaló cikket még meg kellene írni a stabil izotópok anyagvizsgálatai alkalmazásáról, az ^{18}O izotópban dúsított víz, illetve gázok kezeléséről. Ez a cikk zárta közös publikációink sorát 2007-ben.

A fenti kísérletekben mind francia, mind pedig magyar oldalról bővült az együttműködők köre: francia oldalról: *Francois Abel, Alain L'Hoir, Anni Grossmann, Camille Ortega, Julius Siejka, Isabelle Trimaille, Jean-Jacques Ganem, Ian Vickridge*, míg magyar oldalról: *Manuaba Ashrama, Hajnal Zoltán, Zolnai Zsolt, Lobner Tivadar, Fried Miklós, Kótai Endre és Pongrácz Anita* nevét kell még megemlítenünk. Gyuri 1985 óta sokszor – volt, hogy évente többször is – járt Magyarországon, és meglátogatta az együttműködésben résztvevő budapesti és debreceni kutatócsoportokat, laboratóriumokat. A látogatások alkalmával a név szerint említett kollégákon kívül sokunknak volt alkalma megismerni Gyurit, ellesni tőle a fizikai, anyagtudományi kutatómunka alapjait, a matematika és az elméleti tudás fontosságát, a kísérletek gondos megtervezését és a mérési eredmények kritikus kiértékelését. Az internet rohamos fejlődésével Gyuri elektronikus folyamatosa, szinte napi kapcsolatban volt az ionsugaras analitikában dolgozó nemzetközi közösséggel. Mindig kapható volt egy részletes diszkusszióra az új tudományos problémákról. Mély és megalapozott elméleti és gyakorlati tudásával hasznos tanácsokat kaptunk tőle, kezdve a pontos mintakészítés lehetőségeiről, az ionsugaras mérések kivitelezéséről és a mérési eredmények elméleti leírásáról. Gyuri idővel egyre inkább csak a kutatás kereteit biztosította. Mivel egyre kevésbé vett részt a konkrét kutatómunkában, így már nagyon sok francia–magyar cikk szerzőlistáján sem kívánt szerepelni. Ez az oka annak, hogy többeknek, a francia



6. ábra. Hexagonális SiC oxidációs kinetikájának vizsgálata izotópjelöléssel. A 10 mbar és 100 mbar nyomású, száraz $^{18}\text{O}_2$ gázban, 1100 °C hőmérsékleten végzett oxidációk eredménye: a szénnel borított oldalon (SiC-C) akár mintegy ötször vastagabb SiO_2 keletkezik azonos kezelési idő alatt, mint a SiC szilíciummal borított oldalán (SiC-Si) [6].

együttműködésben résztvevő kutatóknak nincs közös közleménye Gyurival. Mindannyian rengeteget tanulunk Gyuritól, nemcsak az ionnyaláb-szilárdtest kölcsönhatásról, hanem a tudományos kutatómunka és az élet egyéb kérdéseiről is, ami továbbra is meghatározza mindennapi életünket.

Amsel Gyuri, Georges Amsel tudományos kutatói és emberi habitusa sokunknak Magyarországon, választott hazájában, Franciaországban és szerte a világon az ionsugaras közösség előtt követendő példaként állt és áll ma is.

Köszönjük Gyuri!

Irodalom

1. Anna Porter: *Kasztner Vonata: Kasztner Rezső igaz története regényben elbeszélve*. Mérték Kiadó, 2008, ISBN 9639889075
2. <http://mezokovesd.utisugo.hu/latnivalok/gari-takacs-margit-emlekhaz-es-zenehaz-mezokovesd-89925.html>
3. Georges Amsel: *Spectroscopie par Détecteurs à Semiconducteur des Réactions $\text{O}^{16}+d$, $\text{O}^{18}+p$* . Faculté des Sciences de l'Université Paris, 1964.
4. G. Battistig, G. Amsel, E. d'Artemare: A very narrow resonance in $^{18}\text{O}(p,\alpha)^{15}\text{N}$ near 150 keV: Application to isotopic tracing. II. High resolution depth profiling of ^{18}O . *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B66* (1992) 1–10.
5. E. Szilágyi, F. Pásztai, V. Quillet, F. Abel: Optimization of the depth resolution in ERDA of H using ^{12}C ions. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B85* (1994) 63–67.
6. I. Trimaille, J.-J. Ganem, I. C. Vickridge, S. Rigo, G. Battistig, E. Szilágyi, I. J. Baumvol, C. Radtke, F. C. Stedile: Thermal oxidation of 6H-SiC studied by oxygen isotopic tracing and narrow nuclear resonance profiling. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B219–220* (2004) 914–918.

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 kiadó Újfalussy Balázs főtktár, felelős szerkesztő Szatmáry Zoltán főszerkesztő.

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

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

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

Megjelenik havonta (nyáron duplaszámmal), egyes szám ára: 900.- Ft (duplaszámé 1800.- Ft) + postaköltség.

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

Az antianyag matematikai felfedezése

Az antianyagra *Paul Dirac* (Nobel-díj, 1933, *1. ábra*) matematikailag bukkant rá 1928-ban. Négyzetes egyenletről négyzetgyököt vonva kétféle előjelű megoldást kapott az elektronra (ahogy a +4 négyzetgyöke lehet -2 és +2 is, mert négyzetre emelve ugyanazt adják), a pozitív energiájú és negatív elektromos töltésű, közönséges elektront, és egy faramuci, negatív energiájú, de pozitív töltésű, tehát ellentétes tulajdonságokkal rendelkezőt, amelyet később pozitronnak neveztek el. Mivel egy nyugvó részecske E energiája és tömege között az $E = mc^2$ Einstein-összefüggés áll fenn, és aszerint a pozitron negatív tömeggel rendelkezne, Dirac akkor arra gondolt, hogy ilyen állapot nem létezhet, de *Carl Anderson* (Nobel-díj, 1936, *2. ábra*) nem sokkal később kimutatta a pozitront a kozmikus sugárzásban.

Ezeket az antirészecske-állapotokat (felülvonással jelöljük, az antiproton jele \bar{p}) matematikailag jól kezeljük, remekül beépülnek az elméletbe. Bizarr módon az egyenletekben az antirészecskék úgy szerepelnek, mint térben és időben ellentétes irányban mozgó közönséges részecskék. Antirészecske és részecske egymással egyesülve sugárzássá alakul: elektron és pozitron találkozása is így végződik, és azt matematikailag úgy írjuk le, hogy jön egy elektron, kibocsátja az energiája dupláját két vagy három foton formájában, majd térben és időben visszafelé kihátrál a képből. Hasonlóképpen, sugárzás elnyelődésekor részecske-antirészecske párok keletkezhetnek, ha elegendő energia áll rendelkezésre (*3. ábra*). A fizika tehát feltételezi részecske és antirészecske, anyag és antianyag egyenértékűségét, és ez a leírás gyönyörűen egyezik mindenféle mérés eredményével.

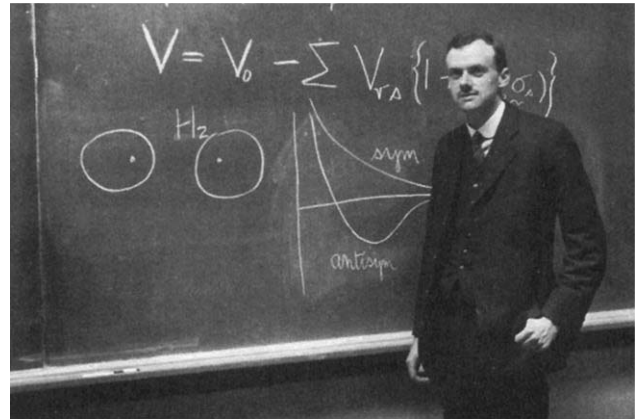
A rejtőzködő antianyag

Gyanús viszont az antianyag hiánya a Világegyetemben: nem látunk antianyag-galaxisokat, pedig az Ősrobbanás után, a sugárzási időszak lezárásával ugyanannyi részecskének és antirészecskének kellett volna keletkeznie

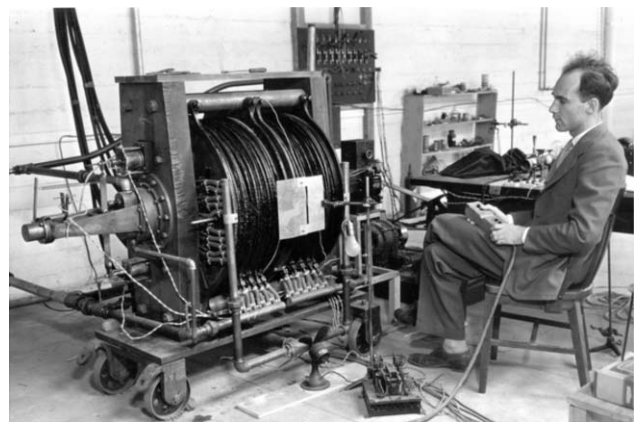
A szerző köszönetét fejezi ki a Nemzeti Kutatási és Fejlesztési Hivatalnak a kutatás támogatásáért (K103917 sz. pályázat) és *Barna Dániel*nek a cikkhez javasolt kiegészítésekért.



Horváth Dezső Széchenyi-díjas kísérleti részecskefizikus. 1970-ben végzett az ELTE-n, vizsgálatait Dubnában és Leningrádban kezdte, a kanadai TRIUMF-ban, az amerikai BNL-ben, a svájci Paul-Scherrer Intézetben, az olasz INFN-ben, majd a CERN-ben folytatta. Budapest–Debrecen kutatócsoportokat szervezett CERN-kísérletekre. 2006 óta koordinálja a magyar fizikatanárok részecskefizikai oktatását a CERN-ben. Emeritus professzor, magántanárként részecskefizikát oktat a Debreceni Egyetemen.



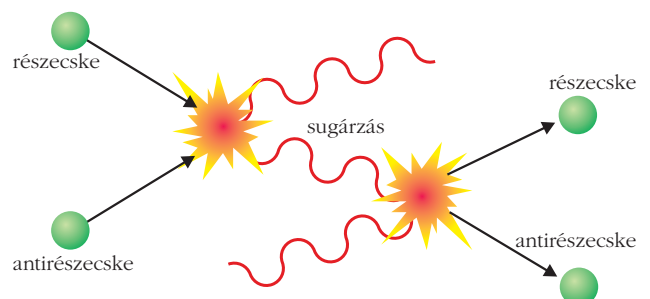
1. ábra. Paul A. M. Dirac

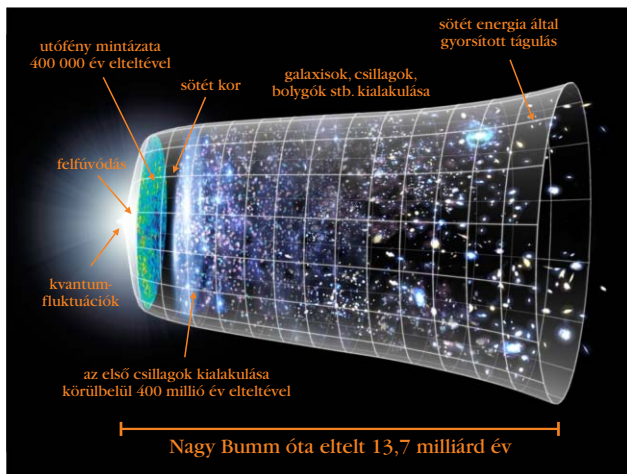


2. ábra. Carl David Anderson

(*4. ábra*): hova lett az antianyag? Háttha mégsem teljesen egyformák (töltésük előjelen kívül) a részecske és az antirészecske tulajdonságai? Egy esetleges különbség felfedezése ugyanannyira megrázná a fizikát, mint 1956-ban a *paritássértés*, a mikrofolyamatokban joggal elvárható tükrörszimmetria sértésére részecskebomlásokban. A kérdés megoldására a CERN, az európai országok közös részecskefizikai laboratóriuma Genf mellett több kísérleti berendezést is épített, a legújabbat el is nevezte Antianyaggyárnak (Antimatter Factory, *5. és 6. ábra*), és abban hét egymással versengő kísérlet vizsgálódik.

3. ábra. Részecske-antirészecske pár szétsugárzása és keltése sugárzásból.





4. ábra. Ősrobbanás után hova lett az antianyag?

Negatív tömeg = antigravitáció?

Az antirészecskék negatív tömege váltig piszkálja a fizikusok fantáziáját. A gravitáció például két pozitív tömeg között vonzó, de lehet, hogy ha az egyik tömeg negatív, akkor esetleg taszító lehet közöttük. Képzeljük el, milyen szép volna antianyaggal lebegtetett repülőn ülni, ahol csak tolóerőre lenne szükség,

5. ábra. A CERN „antianyaggyára”.



6. ábra. Az Antiproton-lassító tárológyűrűje a mágnesekkel.



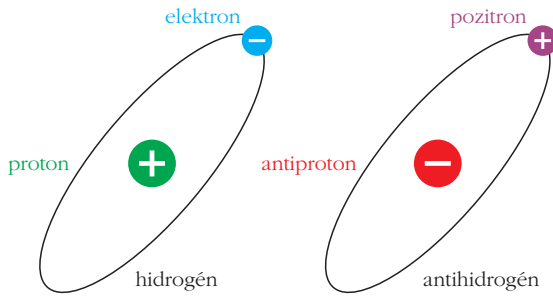
7. ábra. UFO Alaszkában, 2015. 06. 28. (Forrás: iufosightings.com)



8. ábra. UFO tehenet rabol. (Forrás: patch.com/maryland)

emelőre nem! Az oly gyakran előkerülő repülő csészealjok is természetesen így működnek: az amerikai Nemzeti UFO-figyelő Központnak – 1974-es alapítása óta – mintegy 90 000 esetet jelentettek (7. ábra). Némi rosszindulatú statisztika szerint a megfigyelések többnyire a nap azon szakából származnak, amikor az ittasság valószínűsége nagyobb (8. ábra). Az anyag és antianyag szimmetriája nem zár ki lehetséges különbséget a gravitációban, hiszen az csak azt mondja ki, hogy a proton ugyanúgy esik a Föld felé, mint az antiproton egy anti-Föld felé. Az azonos gravitációt *Einstein* ekvivalenciaelvé mondja ki.

Sajnos, több minden szól az antigravitáció létezésé ellen. Először is anyagunk tömege túlnyomórészt energia, az atommag tömegéhez a benne levő anyagi részecskék tömege legfeljebb pár százalékot tesz hozzá. A csillagászatban megfigyelhető gravitációs lencsehatás bizonyítja, hogy a fény sugárzási energiáját hordozó fotonra, habár nyugalmi tömege nincs, a gravitáció ugyanúgy hat, mint a részecskékre. Ha tehát az anyagot alkotó elemi részecskékre és az antianyag antirészecskéire másképpen hatna a közönséges anyag gravitációs hatása, azt is nehéz volna kimutatni a közönséges energia gravitációs hatása mögött. *Einstein* gravitációs elméletét, az általános relativitáselméletet – habár ismereteseek más elméletek is – eddig minden kísérleti adat szigorúan igazolja. Márpedig azokban az egyenletekben nincs olyan tag, amely előjelet váltana részecske és antirészecske között. Ajánlottak ilyen matematikai leírásokat, de azok megbuktak a kísérleti adatokon, az előjelváltó tagok észlelhetetlenül kicsik.

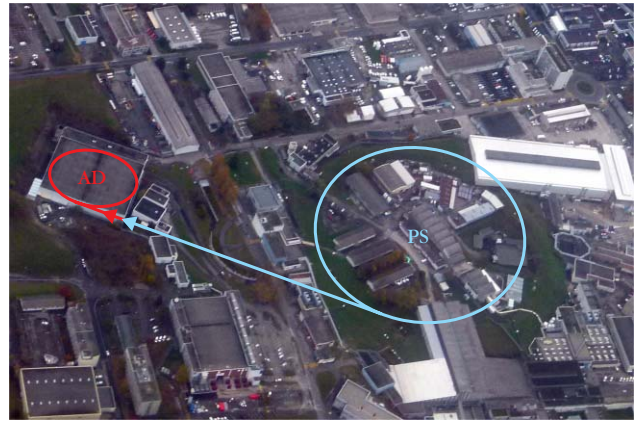


9. ábra. Atom és antiatom.

Igazán érdekes az elektron és a pozitron gravitációs mozgásának összehasonlítása volna, hiszen azok igazi elemi részecskék. Készült rá kísérlet, de a töltött részecskére ható elektromágneses erő annyival erősebb a gravitációnál, hogy ez utóbbi hatását teljesen reménytelen kimutatni. Hiszen ahhoz a részecskét valamilyen módon meg kell állítani, márpedig azt csak elektromágneses térrel lehet. Még az elektronnál csaknem 2000-szer nehezebb protonra is kisebb a Föld gravitációs ereje, mint egy elektronnyi töltés hatása 10 cm távolságból; azt pedig laboratóriumi körülmények között igen nehéz elérni, hogy – a legalább százalékos pontossághoz – a vizsgálat helyének méteres körzetében egyetlen egységnyi töltés sem legyen.

Antianyag-kísérletek a CERN-ben

A CERN létrehozott egy *antianyaggyárnak* is nevezett antiproton-lassító (AD, Antiproton Decelerator, 6. ábra) berendezést: nagy energiájú protonokat anyagba löve proton-antiproton részecskepárokhoz hoznak létre, azokból a gyors antiprotonokat kiválasztják, lelassítják és a kísérletekhez juttatják, majd különböző módokon csapdába ejtik és úgy tanulmányozzák őket. Jelen írás szerzője és négy társa 24 éve írt megvalósíthatósági tanulmányában [1] kimutatta, hogy az anyag-antianyag egyenértékűség legérzékenyebb ellenőrzésére az antihidrogén-atom (9. ábra) két fotonnal bomló $2S-1S$ átmenete (10. ábra) nyújt



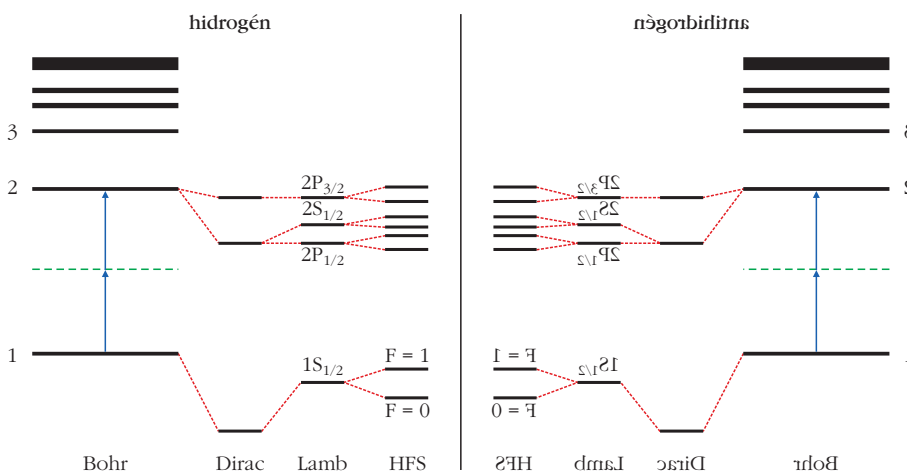
11. ábra. Protonok útja a PS protongyorsítóból az AD-ba, ahol antiprotonokat keltenek.

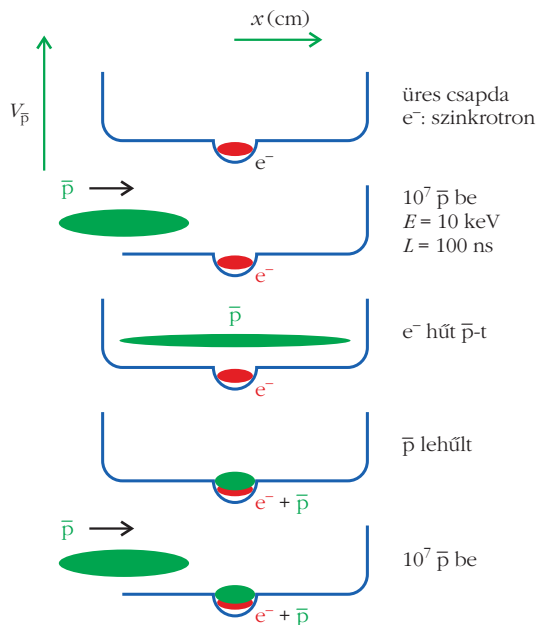
lehetőséget. Jelenleg az AD az egyetlen komolyabb antiprotonforrás a világon (11. ábra). Néhány éven belül egy újabb, a németországi Darmstadtban épülő FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research) megindulása várható. Az AD-nál több különböző együttműködés tanulmányoz antihidrogént – az antiproton és pozitron hidrogénatom-szerű kötött állapotát –, illetve más, antiprotont tartalmazó rendszereket. Eddig valamennyi eredményük megerősíti az anyag és antianyag egyenértékűségét. A vizsgálatokhoz először is *csapdázni* kell az antiprotonokat, azaz a végletekig lelassítva (lehűtve) őket potenciálgödörbe juttatni (12. és 13. ábra), és ezt a sajátos hűtést általában elektronfelhő segítségével végzik. Utána sűrű pozitroncsomagot juttatnak a csapdába, ahol azok ütközésekben atomi állapotot, antihidrogént hoznak létre. Az AD részecskenyalábjait betonfalak közötti folyosókban vezetik, ezért általában csak felülről láthatjuk a kísérleteket, amint az a mérőberendezések fényképeiből is kiderül.

ALPHA (Antimatter Laser Physics Apparatus)

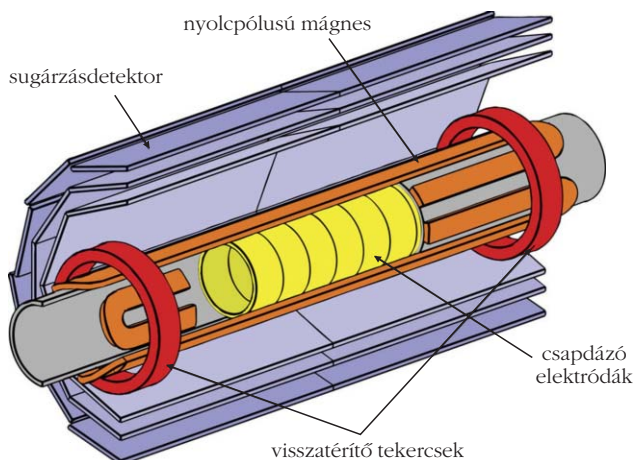
Ez az eddigi legsikeresebb antiproton-kísérlet, legújabb publikációjukon 9 ország 54 szerzője szerepel. Az ALPHA (14. ábra) volt az első, amely antihidrogén-atomokat tudott tárolni a későbbi spektroszkópiai mérésekhez elegendő ideig, 1000 másodpercig, ami az atomi folyamatok sebességéhez képest végtelen hosszú idő. Meghatározták a tárolt antihidrogén-atomok töltésének semlegességét, és azzal korlátozták a lehetséges eltérést a proton és antiproton töltése között, majd az antihidrogén-atomok gravitációs *süllyedéséből* behatárolták a lehetséges különbséget a proton és antiproton gravitációs tömege között. Az ALPHA együttműködés leg-

10. ábra. Hidrogén- és antihidrogén-atom energiaszintjei.





12. ábra. Antiprotonok hűtése elektronfelhőben és csapdázása potenciálgödörben.

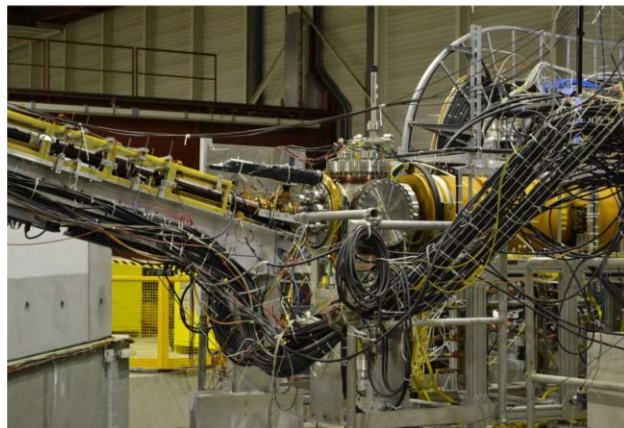


13. ábra. Elektromágneses csapda antihidrogén vizsgálatára.



14. ábra. Az ALPHA-kísélet a CERN Antiproton-lassítójánál, bal oldalt a szomszédos ASACUSA-kísélet elektronikája.

újabb eredménye az első spektroszkópai észlelés antihidrogéne: a már fent említett $2S-1S$ atomi át-



15. ábra. Az ATRAP-kísélet pozitronnyaláb-vezetéke.

menetet két foton egyidejű elnyelésével sikerült gerjeszteniük, és azzal tovább csökkenteni a lehetséges különbségeket atom és antiatom között.

ATRAP (Antihydrogen Trap)

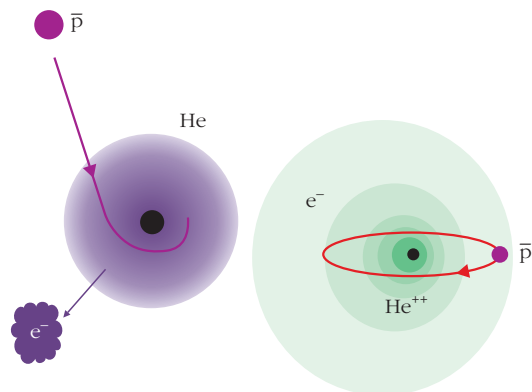
Ez az amerikai–német–kanadai együttműködés rendelkezik az egyetlen függőleges elrendezésű mérőberendezéssel és a legkifinomultabb pozitronforrással az AD-ban (15. ábra). Úttörő szerepet játszottak az antiprotonok csapdázásában és elsőként mutatták meg, hogy az antiprotonok csapdázáskor nemcsak elektronokkal, hanem egyenesen pozitronfelhőben is hűthetők, ők oldották meg először az alapállapotú antihidrogén-atomok tárolását.

ASACUSA

E japán–osztrák–olasz–magyar együttműködés neve az Atomic Spectroscopy And Collisions Using Slow Antiprotons (atomi spektroszkópia és ütközések lassú antiprotonok segítségével) rövidítése, és egyébként a meghatározó japán részvételt szimbolizálандó, a nem-japán résztvevők adták neki Tokiói templomi negyedének (16. ábra) nevét. Ugyanis nemcsak a legnagyobb létszámú három csoport volt japán benne, hanem a mérőberendezés költségének túl-

16. ábra. Tokiói Asakusa negyedének kapuja az óriási vörös lampionnal, amely az ASACUSA-kísélet logója lett.



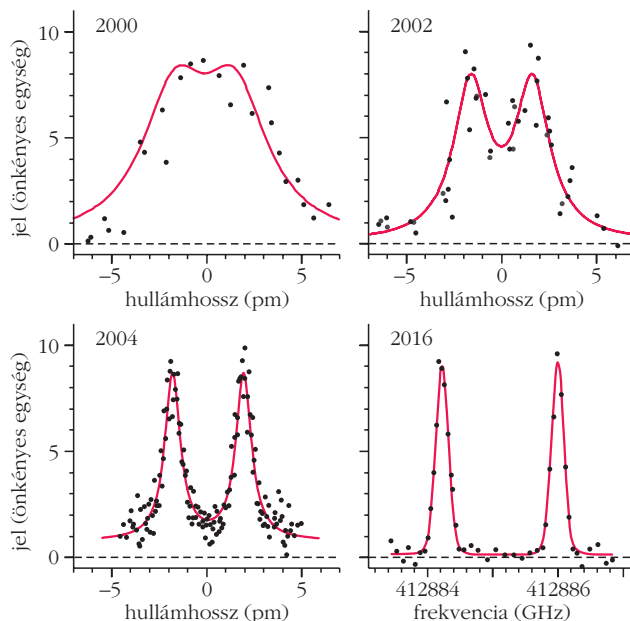
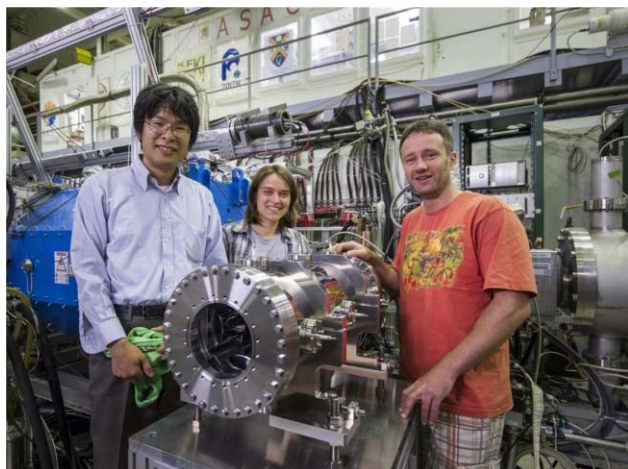


17. ábra. Antiprotonos héliumatom képződése.

nyomó részét is a Tokiói Egyetem és a Tokió melletti RIKEN intézet fedezte. Az együttműködés vezetője a kezdetektől a tokiói *Hajano Rjugo* (angolul *Ryugo Hayano*). A budapesti csoport (a szerző részvételével) finommechanikai eszközök, pontos mozgatóállványok tervezésével és szállításával járult hozzá a kísérlethez. Az együttműködés többféle antiprotonos kísérletet is végzett párhuzamosan. Mi magyarok az antiproton tömegének és mágneses momentumának meghatározásában vettünk részt, az előbbiben az egyik tokiói csoport, a másokban a bécsi Stefan Meyer Intézet játszott főszerepet. Mindkét kísérlet azon alapult, hogy héliumgázban az antiproton a héliumatom egyik elektronját *belyettesítve*, a lézerspektroszkópiához elegendően hosszú, mikroszekundumos élettartamú, héliumatommagból, antiprotonból és elektronból álló háromrészecskés atomi állapotba (17. ábra) kerülhet, amelyen nagyon pontos mérések végezhetőek.

A tömegmérés pontosságát erősen korlátozza az atom hőmozgása. Annak hatását hűtéssel vagy két egymással szemben haladó lézersugárral lehet csökkenteni. 15 év alatt lépésről lépésre csökkentettük a hélium hőmérsékletét és sűrűségét, amíg 2016-ban sikerült elérni 2 kelvin ($-271\text{ }^{\circ}\text{C}$) alatti hőmérsékletet, amelyen a mérés pontossága már a 10. számjegy

19. ábra. Hori Maszaki (Tokió), Sötér Anna (München) és Barna Dániel (MTA Wigner FK) az ASACUSA-kísérletben.

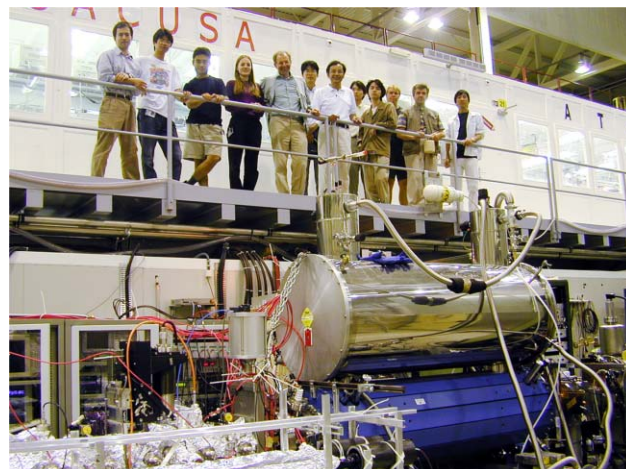


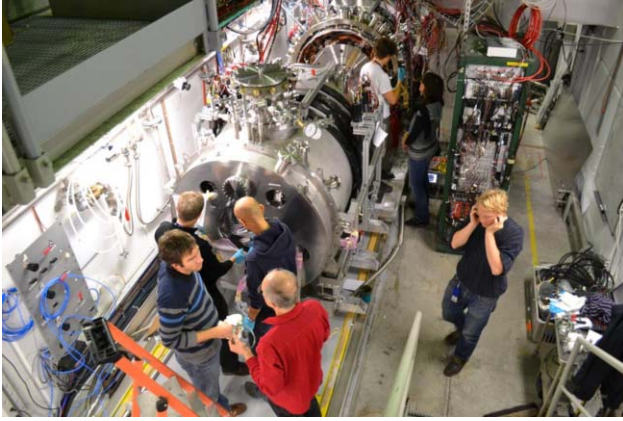
18. ábra. Az ASACUSA-kísérlet lézerspektroszkópiai felbontásának fejlődése 2000 és 2016 között egy felhasadt antiproton-átmeneten demonstrálva.

megaladta (18. ábra). Különbséget a proton és az antiproton között – természetesen – mi sem találtunk. A hűtéssel párhuzamosan kidolgoztuk a kétfotonos spektroszkópiát is. Érdekes módon nem annyira a mérési eredmény kapott visszhangot a sajtóban, hanem maguk a módszerek: az antiprotonos atomokon végzett kétfotonos lézerspektroszkópia [2] és az egzotikus atom hűtése 2 K alá [3]. A mérést a japán *Hori Maszaki* vezeti, a hűtőrendszer megépítésében és a kísérlet elvégzésében a magyar *Sötér Annának* és *Barna Dánielnek* kulcsszerepe volt (19. ábra).

Az ASACUSA együttműködés másik fő vonala a japán RIKEN által vezetett MUSASHI projekt *Jamazaki Jaszunori* (angolul persze *Yasunori Yamazaki*) vezetésével. *Muszasi* a valaha élt egyik legismertebb japán szamuráj volt, ötkötetes életregénye magyarul is több kiadást ért meg, de a kísérletünkben a Mono-

20. ábra. Az antihidrogén-nyaláb kezdeti csoportja 2008-ban, előttük az első antiprotoncsapdájukkal.



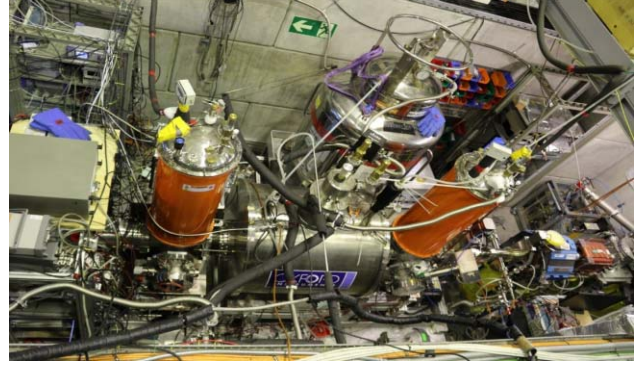


21. ábra. Munka az AEGIS-kísérlet berendezésén.

energetic *Ultra Slow Antiproton Source for High-precision Investigations* (monoenergiás, ultra lassú antiprotonforrás nagy pontosságú vizsgálatokhoz) rövidítése volt, és a 15 éves fejlesztési program végén kivezetett, vezérelhető antihidrogén-nyalábot szolgáltatott. A csoport 2008-ban készült képén (20. ábra) középen Jamazaki Jaszunori, a csoport vezetője áll, jobb oldalt Hajano Rjugo, az ASACUSA együttműködés szóvivője (így hívjuk az együttműködések választott vezetőit), mellette *Eberhard Widmann*, a bécsi Stefan Meyer Intézet igazgatója. A képen látható a kísérlet antiproton-csapdája is: az antiprotonok tárolásához – az *Angyalok és démonok* című film mesebeli apró üvegedényeivel ellentétben – ilyen többtonnás szerkezetekre van szükségünk.

AEGIS

Az AEGIS (*Antihydrogen Experiment: Gravity, Interferometry, Spectroscopy*, antihidrogén-kísérlet: gravitáció, interferometria, spektroszkópia) fő célja az antihidrogén-atom gravitációs tömegének mérése. Terveik szerint antihidrogén-nyalábot röptetnek résndszeren át és a gravitáció hatására történő süllyedést mérik; az antigravitációs állandót 1% pontossággal remélik megmérni. Az antihidrogén-atomokat nem a szokásos pozitron-antiproton ütköztetéssel állítanák elő, hanem a pozitronokat előbb elektronokkal kötésbe hozva pozitronium ($Ps = [e^+e^-]$) atomokat keltenek és azokkal reagáltatják az antiprotonokat, így az antihidrogén a minimális energiájú alapállapotához közel fog keletkezni. Jelenleg még az antihidrogén-nyaláb formálásánál tart a kísérlet (21. ábra). Ez pillanatnyilag a legnagyobb együttműködés az AD-nál, legutóbbi cikkükön 82 szerző szerepel 8 országból, Olaszország a legnagyobb résztvevő.



22. ábra. A BASE-kísérlet az AD-nál.

BASE

A BASE (*Baryon Antibaryon Symmetry Experiment*, 22. ábra) szintén az antiprotonot hasonlítja össze a protonnal (a részecskefizika terminológiája a neutront és a protonat a *barionok* közé sorolja), de nem a tömeget, hanem – mágneses csapdában keringtetve egyetlen részecskét – a mágneses momentumát. Viszonylag kis, de annál sikeresebb együttműködés mintegy 10 szerzővel Németországból és Japánból. A módszert először protonon igazolták, utána az AD-nál egyetlen év alatt eljutottak az antiprotonra alkalmazásig, amellyel csaknem egy nagyságrenddel megjavították az előző kísérletek pontosságát, és 10^{-10} pontossággal igazolták az anyag-antianyag szimmetriát. A szerzők azt is megmutatták, hogy – a szimmetriát elfogadva – mérésük a gravitációs állandók különbségét is egy milliommód alá korlátozza, azaz ilyen mértékben igazolja az Einstein-féle gyenge ekvivalencia elvét.

GBAR

A GBAR (*Gravitational Behaviour of Antihydrogen at Rest*, nyugalomban levő antihidrogén gravitációs viselkedése) ugyancsak AD-kísérlet, az AEGIS-hez hasonlóan az antianyag gravitációját tervezi mérni a Föld gravitációs mezőjében, de nem röptetve, hanem teljesen lefékezve. Ezt úgy érnék el, hogy az antiprotonhoz két pozitront kötő, a H^- ionhoz hasonló atomot az abszolút zérus hőmérséklethez egé-

23. ábra. AMS-02 fellövés előtt és a Nemzetközi Űrállomáson. (Forrás: AMS-02 és NASA, készült 2017. január 26-án, űrséta közben.)



szen közel (FK környékére) hűtenének, majd – az egyik pozitront eltávolítva – mérnék a gravitációs süllyedését. A GBAR együttműködés hasonló az AEGIS-hez, és a kísérlet eredménye jól kiegészítené az AEGIS eredményeit.

AMS-02

Az AMS (Alpha Magnetic Spectrometer, alfa mágneses spektrométer) kísérlet a Nemzetközi Űrállomás egyik berendezése (23. ábra). Részecskedetektor a világűrben, amely antianyagra és sötét anyagra vadászik. A CERN-ben készítették *Samuel Ting* (Nobel-díj, 1976) amerikai fizikus vezetésével és az egyik utolsó űrsiklóval sikerült feljuttatni és üzembe helyezni. A kísérlet megerősítette az antianyag hiányát a Világ-egyetemen: nem lát antihélium-atomokat. A vártnál sokkal több pozitront észlel ugyan, de azok jöhetnek közösleges csillagászati folyamatokból is.

Végszó

Nem várhatunk különbséget anyag és antianyag között, az eddigi adatok szerint semmilyen tulajdonságuk sem különbözik, gravitációjuk sem. Az antianyag nem esik felfelé és a repülő csészéaljakat is inkább a gazdag emberi képzelet tartja a levegőben, mint az antigravitáció.

Irodalom

1. M. Charlton, J. Eades, D. Horváth, R. J. Hughes, C. Zimmermann: Antihydrogen physics. *Physics Reports* 241 (1994) 65–117.
2. M. Hori, A. Sótér, D. Barna, A. Dax, R. S. Hayano, S. Friedreich, B. Juhász, T. Pask, E. Widmann, D. Horváth, L. Venturelli, N. Zurlo: Two-photon laser spectroscopy of pbar-He and the antiproton-to-electron mass ratio. *Nature* 475 (2011) 484–488.
3. M. Hori, H. Aghai-Khozani, A. Sótér, D. Barna, A. Dax, R. Hayano, T. Kobayashi, Y. Murakami, K. Todoroki, H. Yamada, D. Horváth, L. Venturelli: Buffer-gas cooling of antiprotonic helium to 1.5 to 1.7 K, and antiproton-to-electron mass ratio. *Science* 354 (2016) No. 6312, 610.

SZAPPANHÁRTYÁK ÉS -BUBORÉKOK TUDOMÁNYTÖRTÉNETE

Rajkovits Zsuzsanna
ELTE, Anyagfizikai Tanszék

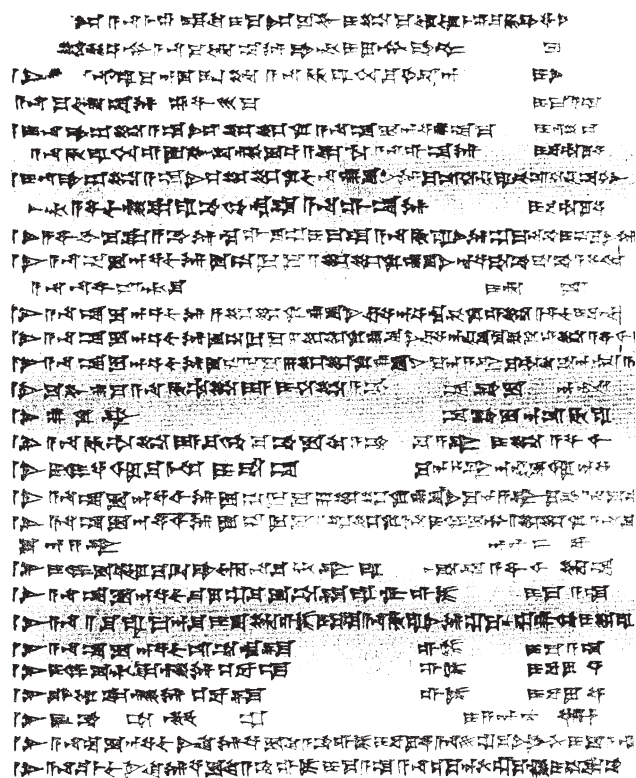
Egyes rovarok úgy sétálnak a tavak felszínén, mint az emberek az utcán. A kicsi gyerekek szappanos vizet kérnek, ha buborékot akarnak fújni. Ha egy füstös helyiségben tartózkodunk, ruhánk, hajunk onnan kijöve is tanúskodik ottlétünkéről. Gyomorrontás esetén az orvos széntablettát ír fel, amely segít a bajunkon. Mi a közös ezen jelenségekben?

A folyadékok, a szilárd anyagok felülete a belsejükhöz viszonyítva másképpen viselkedik. A felület eltérő tulajdonsága főleg abban az esetben válik szembe-tűnővé, ha nagy fajlagos felületű anyagokat, azaz kevés anyagból nagy felületet tudunk előállítani. A szappanhárták és -buborékok is nagy fajlagos felületű képződmények.

Tudománytörténetük ezért összefonódik a felületi feszültségről alkotott képünk változásának, fejlődésének történetével. A felületi jelenségekért az anyag molekulái közötti kölcsönhatások felelősek, így e témakör a kölcsönhatások jellegének, eredetének felderítésével is kiegészül.

Érdekes végigkövetni, hogy a történelem folyamán miként figyeltek fel ezekre a jelenségekre, és milyen magyarázatokat találtak rájuk.

1. ábra. A szappanhárták legrégebbi írásos emléke.



Rajkovits Zsuzsanna PhD, ny. egyetemi docens. Az ELTE kémia-fizika szakán végzett, ahol az Anyagfizikai Tanszék *fémfizikai kutatásaiban* vett részt. Az *oktatáskutatásba* a tehetséggondozás új módszereinek bevezetésével, új típusú tanulmányi versenyekkel kapcsolódott be. 1994-ben *nemzetközi versenyt alapított* (ICYS), amelynek azóta is elnöke. Általános és középiskolásoknak írt újszerű fizika tankönyvek társszerzője, interdiszciplináris szemléletű internetes gyűjtemény összeállítója.



2. ábra. Leonardo da Vinci (1452–1519)

A jelenségeket kutató tudósok *fizikusok, kémikusok, biológusok és matematikusok* mindegyike megtalálta e jelenségkörben a számára érdekeset. Volt olyan tudós, aki csak a jelenségeket figyelte meg, és lejegyezte a tapasztaltakat, de volt, aki kísérleteket végzett. Volt olyan tudós, aki azon gondolkodott, mi lehet a társai által megfigyelt sajátságok oka, és magyarázatot is talált rájuk. A teljesség igénye nélkül álljon itt néhány tudós neve, akik az e témakörbe tartozó problémák megoldásához időszámítás előtt 3000-tól kezdődően napjainkig hozzájárultak.

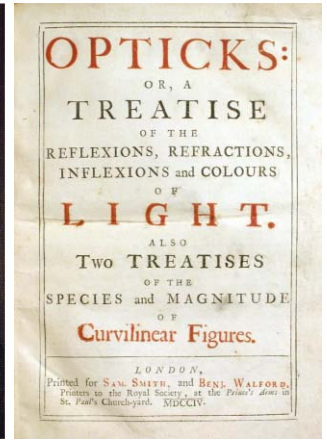
Az első írásos emlék a szappanhártyákról i.e. 3000-ból, Babilonból való, amelyet ékírással rögzítettek. A másolatot a British Museumban őrzik (1. ábra).

Leonardo da Vinci (2. ábra), a reneszánsz nagy egyéniségeinek „legnagyobbika” valószínűleg a közlekededények működésének tanulmányozása közben vette észre, és le is jegyezte, hogy a nagyon vékony belső átmérőjű csövekben a folyadékszint a csövet körülvevő vízszintnél magasabban áll.

Isaac Newton (3. ábra) említést tett kohéziós és adhéziós erőkről, és kapcsolatba hozta azokat a kapilláris hatással. A fény „sűrűbb” közegben megtett útját elemelve becslést adott a folyadék részecskéi között működő vonzóerőkre, és azok kölcsönös vonzásával magyarázta a folyadék belsejében uralkodó nagyobb nyomást.

Megfigyelte a vékony szappanhártyákon megjelenő *színeket és fekete foltokat* (4. ábra) sőt a nagyobb

5. ábra. Robert Hooke (1635–1703)



3. ábra. Sir Isaac Newton (1642–1727)



4. ábra. A Newton által is megfigyelt, vékony szappanhártyán megjelenő színek és fekete foltok.

kiterjedésű fekete tartományokat, a *Newton-féle fekete hártványakat*.

A színek kialakulására azonban nem adott magyarázatot. A vékonyréteg-interferencia korrekt matematikai leírását, az optikailag sűrűbb közegről történő fényvisszaverődéskor fellépő π fázisugrás felismerésével *Thomas Young* végezte el.

Robert Hooke (5. ábra) a szappanhártyákon kialakuló színeket és fekete foltokat fényinterferencia eredményeként magyarázta.

Francis Hauksbee (Hawksbee-ként is ismert) (6. ábra), aki Newton mechanikusa és munkatársa volt, a

6. ábra. Francis Hauksbee (1666–1713)





7. ábra. Segner János András (1704–1777)

légszivattyúk és barométerek nagy szakértője, a kapilláris emelkedés okainak vizsgálatára szisztematikus kísérletet végzett (1709). Eltérő falvastagságú, de különböző belső átmérőjű üvegsövekben tanulmányozta a folyadék magasságát, és megállapította, hogy a jelenség oka a folyadék és az üveg egymásra hatása.

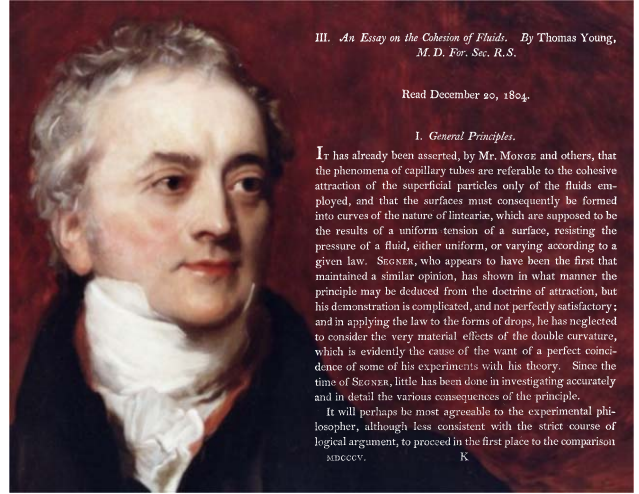
Segner János András (7. ábra) a Hauksbee által említett folyadék-üveg kölcsönhatást összekapcsolta a kohéziós, adhéziós erőkkel (1751). Azt gondolta, hogy a folyadék belsejében a kohéziós erők miatt fellépő nagyobb nyomással a megfeszített héjhoz hasonló felületben ébredő feszültség tart egyensúlyt. Tőle származik a *felületi feszültség* elnevezés.

Thomas Young (8. ábra) a *Cohesion of Fluids* című munkájában (1805) elemezte az anyag részecskéi között működő hatást, és megállapította, hogy amíg a vonzás a részecskék távolságát „kicsit” változtatva nem változik számottevően, addig a taszítás, csökkentve a részecskék között lévő távolságot, rohamosan nő. Segner elméletét továbbfejlesztve megmutatta, hogy a görbült felületeknél fellépő görbületi nyomás a főgörbületi sugarakkal a

$$\Delta p \approx \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

módon arányos. Kiemelte, hogy az arányossági ténye-

9. ábra. Carl Friedrich Gauss (1777–1855) balra és Pierre Simon Laplace (1749–1827) jobbra.



8. ábra. Thomas Young (1773–1829)

ző éppen a Segner-féle σ felületi feszültség. Bevezette az illeszkedési szög (vagy peremszög) fogalmát, a

$$\sigma_{sg} - \sigma_{sf} = \sigma_{gs} \cos \Theta$$

erőegyensúly alapján, mert szerinte a levegővel érintkező folyadék és a szilárd anyagok bármely kombinációjához létezik egy alkalmas Θ érintkezési szög, amelyet

$$\cos \Theta = \frac{\sigma_{sg} - \sigma_{sf}}{\sigma_{gf}}$$

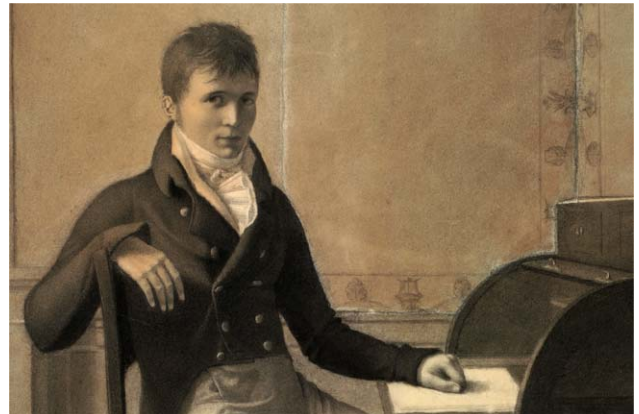
módon definiált. Megemlítette, hogy e szög nagysága a víz és az üveg érintkezésekor elenyészően kicsi. Egyebek között megbecsülte egy molekula nagyságát is.

Pierre Simon Laplace (9. ábra, jobbra) és Young egymástól függetlenül állapították meg, hogy a görbült folyadékfelszínben a feszítőerők eredője nyomóerőt eredményez, a görbületi nyomásra vonatkozó

$$\Delta p = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Laplace–Young-egyenletnek megfelelően (1806). Laplace azonban sohasem tett említést Young eredményéről, amiért Young élete végéig neheztelt rá.

10. ábra. Siméon Denis Poisson (1781–1840)





11. ábra. Joseph Antoine Ferdinand Plateau (1801–1883), dagerotípija

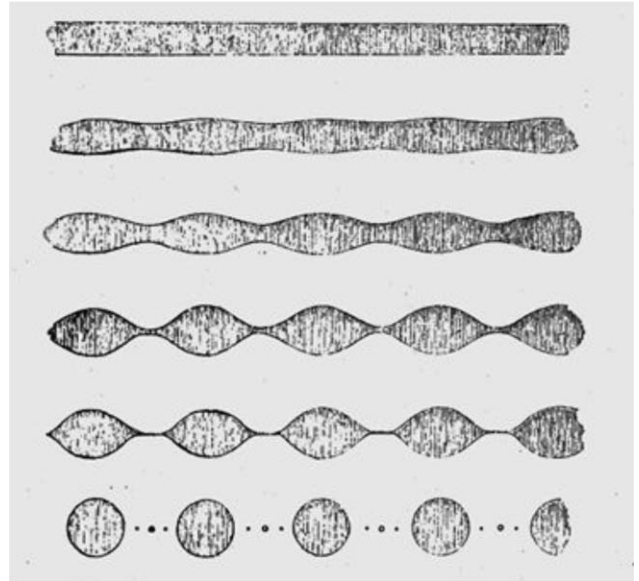
Carl Friedrich Gauss (9. ábra, balra) energetikai megfontolásokkal jutott el a Laplace–Young-egyenlethez. Bevezette a fajlagos felületi energia fogalmát, mint a felületi feszültség egy másik értelmezését.

Siméon Denis Poisson (10. ábra) bírálta Laplace-t, mert számításaiban figyelmen kívül hagyta a folyadék levegővel érintkező felszínéhez közeli vékony rétegében jelenlévő sűrűségváltozást. Számításaiban – figyelembe véve a folyadék belseje felől a felszínre átlépve a sűrűség csökkenését is – a görbületi nyomásra a korábbi egyenletekhez hasonló egyenletek adódtak.

Joseph Antoine Ferdinand Plateau (11. ábra) tanulmányozta a szappanhártyák és buborékok geometriáját (12. ábra). Elsőként mutatta meg a háromdimenziós drótkeretekre (13. ábra) feszített szappanhártyák által kirajzolt minimálfelületeket. Több folyadékhártya találkozását vizsgálva, megállapította az egyensúlyi szappanhártyák geometriáját szabályozó elveket. Észrevette, hogy egyensúlyban lévő három hártya 120 fokos szögben, négy hártya pedig 109 fok 28 perces szögben találkozik (Plateau-szabályok). A hártyákban lévő folyadék nagy része ilyen határtalálkozásoknál az úgynevezett Plateau-határban található. A Plateau-határ alakja a folyadék felől nézve domború felszín. A görbült határszakaszon a nyomás kisebb annál, amely a síkfelület mentén a hártyában uralkodik. Az így előálló nyomáskülönbség a vizet a



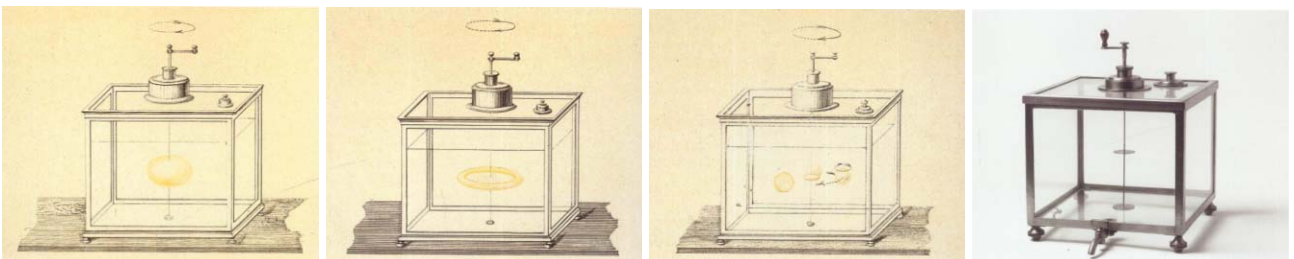
13. ábra. Plateau keretei

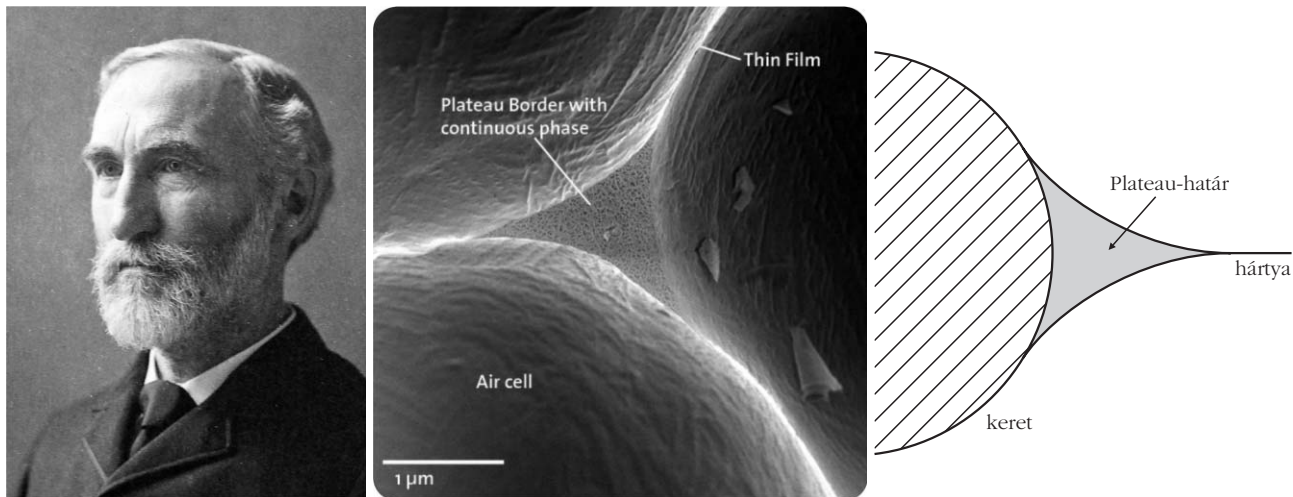


14. ábra. Folyadékszálak alakja, „gyöngyösödés”. (<http://www.mhsgent.ugent.be/eng-plat1.html>)

sík hártyából a határtalálkozásokba „szívja”. A frissen készített vizes hab geometriája a fent említett szabályozóelveknek megfelelően az idő múlásával, a hártyák öregedése során változik. A folyadékszálakon terjedő zavarok hatásával is foglalkozott. A zavar hatására a folyadékszál alakja a zavar mértékétől, hul-

12. ábra. Plateau-kísérlet





15. ábra. Balra Josiah Willard Gibbs (1839–1903), míg jobbra a Gibbs-gyűrű és a Plateau-határ.

lámhosszától függően minimálfelületté formálódik, emiatt a szál vagy megtartja hengeres alakját, vagy cseppek képződnek rajta (14. ábra). Megállapította, hogy a felületek megfigyelt tulajdonságait a molekuláris erőknek a folyadékok felületén és belsejében észlelt különbözősége eredményezi. Erre vonatkozó kísérleti és elméleti megfontolásait az *Experimental and Theoretical Investigation of the Equilibrium Properties of Liquids Resulting from Their Molecular Forces* című könyvében foglalja össze, amely azóta is az e témakörrel foglalkozók alapvető irodalma. Plateau egy optikai kísérlet kapcsán a Napba nézett, és negyven éves korára megvakult. Csak ezután kezdett el a szappanhártyák geometriájával foglalkozni. A minimálfelületekkel kapcsolatos kísérleteket – irányításával – helyette családtagjai és munkatársai végezték el.

Josiah Willard Gibbs (15. ábra, balra) szerint: „A szappanhártyák a metastabil egyensúlyi állapot legszébb példái.” Elméleti fizikus lévén – a szappanhártyákkal kapcsolatos vizsgálódásait kivéve – soha nem kísérletezett. Foglalkozott a felületkialakulás energiájának a folyadék intenzív paramétereivel való kapcsolatával. Megtalálta egyebek között a kapcsolatot a felületaktív anyagok híg oldatának felületi feszültsége és a határfelületben felhalmozódott anyag felületi koncentrációja között, a

$$\Gamma_B = - \frac{c_B}{RT} \frac{d\sigma}{dc_B}$$

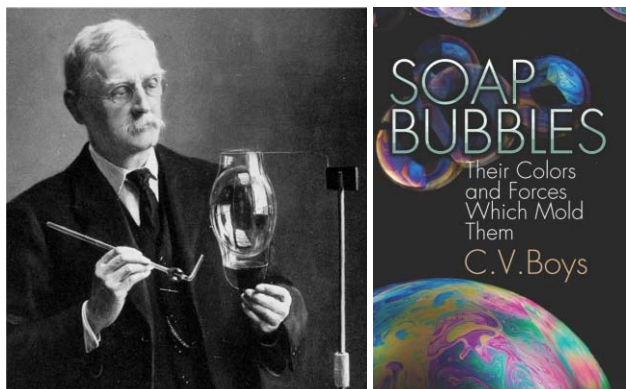
a Gibbs-féle abszorpciós egyenletet. Ő is észrevette a szappanhártyák kerettel történő illeszkedésénél kialakult, a hártya belsejéből nézve konvex tartományt, a *Gibbs-gyűrűt*, amely a hártyák találkozásakor képződő Plateau-határral azonos (15. ábra, mikroszkópos kép és rajz).

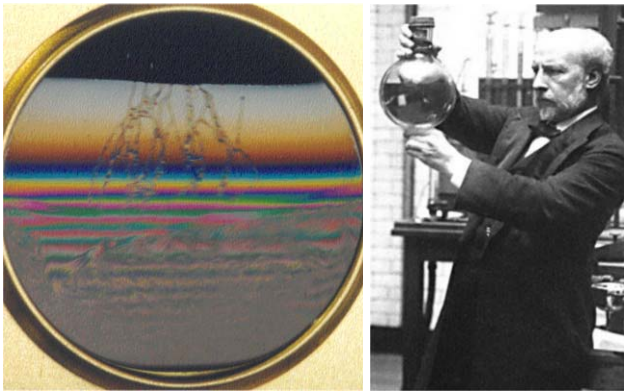
Az itt uralkodó kisebb nyomás miatt az érintkező tartomány közvetlen környezete vékonyabbá válik. Ez az eredete a függőleges síkú hártyában, a keret szomszédságában megfigyelhető intenzív konvekciónak. A vékonyabb hártyadarabok ugyanis a felső tartományokba, a nekik megfelelő felületi sűrűségű régiókba törekedve okoznak intenzív kavargást, amelyet *gravitációs konvekciónak* nevezett. E változások részei a szappanhártyák vékonyodását okozó mechanizmusoknak. Megállapította, hogy a folyadékhártyák stabilizását a hártyában rendezetten elhelyezkedő felületaktív anyag biztosítja. A hártyában fellépő, minden olyan lokális zavar, amely a felületegységre eső oldott anyag mennyiségét csökkenti – a hártyát a vízhez hasonlóbbá téve –, ott a felületi feszültséget megnöveli. A hártya e kényszernek ellenszegülve, mint egy rugalmas membrán (Gibbs-féle rugalmasság), összehúzódik.

Charles Vernon Boys (16. ábra) a tizenéveseknek írt *Soap Bubbles, Their Colours and the Forces which Mould Them* című könyvével a témakör egyik legnagyobb népszerűsítője volt a századfordulón.

James Dewar (17. ábra, jobbra) a szappanhártyák vékonyodásának vizsgálatakor felfedezte a „kritikus süllyedés” néven ismert jelenséget (17. ábra, balra), amely a sok felületaktív anyagot tartalmazó oldatokból kialakított függőleges síkú hártyák rohamos vékonyodásánál figyelhető meg. Ekkor igen látványosan, feketekör-alakú foltokban végződő, a pávatollhoz hasonló formák sokaságának képződésével kerül a hártya a nagy területen Newton-féle fekete hártyát tartalmazó, alacsonyabb energiájú állapotba.

16. ábra. Sir Charles Vernon Boys (1855–1944)





17. ábra. A „kritikus süllyedés” balra és James Dewar (1842–1923) jobbra.

Arthur Stuart Clark Lawrence (1902–1971), Dewar munkatársa, interferencián alapuló optikai módszert dolgozott ki a hátyavastagság mérésére [1].

Eötvös Loránd (18. ábra) – a híres gravitációval kapcsolatos vizsgálataival mellett – módszert dolgozott ki a folyadékok felületi feszültségének mérésére is, és elemezte a folyadék anyagi minőségének hatását a felületi feszültségre. Megállapította, hogy különböző folyadékok felületi feszültségét megfelelő állapotban kell összehasonlítani, amelyhez a molekula által folyadék- és gőzállapotban elfoglalt térfogat nagyságának aránya, v/u a jellemző paraméter. Úgy vélte, hogy a megfelelő állapotban lévő „testekben” a részek között ható erők hasonlóak.

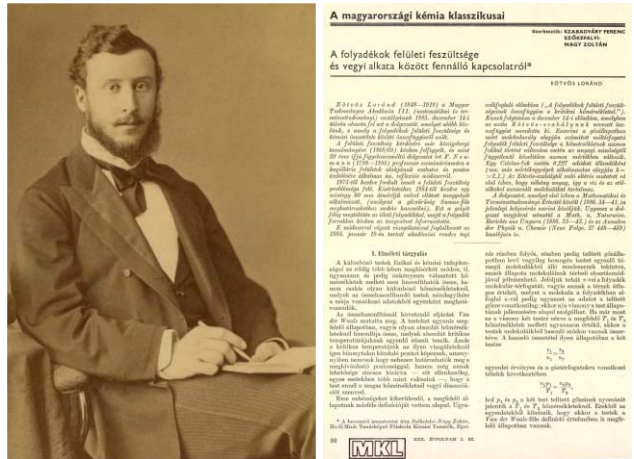
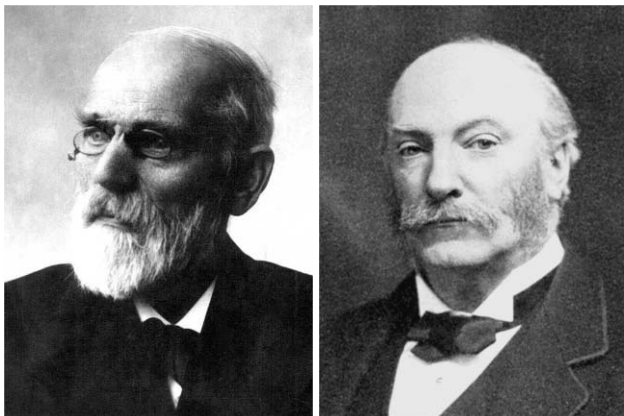
A felületi feszültség hőmérséklettel való változására mérései alapján a

$$\sigma v^{2/3} = k(T_0 - T)$$

összefüggést, az Eötvös-törvényt állapította meg, amelyben a k tényező értékéből lehet következtetni a folyadékot alkotó molekulák asszociáltságára (T_0 a kritikus hőmérséklet, vagy a körüli érték). Akadémiai székfoglaló előadását *A folyadékok felületi feszültsége és vegyi alkata között fennálló kapcsolatról* címmel tartotta 1885-ben [2].

Johannes Diderik Van der Waals (19. ábra, balra) szerint – ahogyan azt Poisson is észrevette – a folya-

19. ábra. Johannes Diderik Van der Waals (1837–1923), Nobel-díj 1910 (balra) és Lord Rayleigh (1842–1919), Nobel-díj 1904 (jobbra).



18. ábra. Eötvös Loránd (1848–1919)

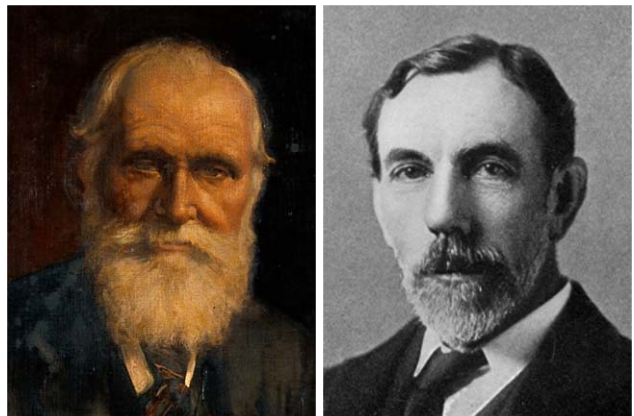
dekből gőzbe való átmenetnél a sűrűségváltozás nem lehet ugrásszerű. A kapilláris jelenségek tárgyalásánál a folyadékfelszínhez közeli, véges vastagságú tartományon belül, a folyadékból gőzbe való átmenetnél a sűrűségváltozást folytonosnak tekintette. Megmutatta, hogy a reális gázok

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$$

állapotegyenletében az a és b paraméterek a molekulák közötti vonzással és taszítással kapcsolatosak. Mért értékükből a molekulák átmérője becsülhető. Meghatározta a folyadékok állapotegyenletét, és foglalkozott az Eötvös-törvény elméleti megokolásával is.

Lord Rayleigh (eredetileg John William Strutt, 19. ábra, jobbra) folyadékszálak, hengeres folyadékhártyák alakjának vizsgálatával meghatározta az a sugarú szálon terjedő zavar azon λ_{kr} hullámhosszát, amelynél a szál alakja instabillá válik, ez a Rayleigh-instabilitás, $\lambda_{kr} = 9,02a$. Ennél nagyobb hullámhosszak esetén a folyadékszál befűződéssel, végül cseppek kialakulásával veszi fel a minimális energiájú, minimális felületű állapotot. Rayleigh Van der Waals molekuláris erőkre vonatkozó elméletét alkalmazta a felületi feszültség értelmezésére, kiemelve a moleku-

20. ábra. Lord Kelvin (1824–1907) balra és Sir William Ramsay (1852–1916), Nobel-díj 1904 (jobbra).





21. ábra. Carlo Giuseppe Matteo Marangoni (1840–1925) [3]

lák közötti taszítás fontosságát. Munkássága nagyban hozzájárult azokhoz a modern elképzelésekhez, amelyek a kondenzált rendszerekben működő erőhatásokra születtek.

Lord Kelvin (eredetileg William Thomson, 20. ábra, balra) meghatározta a görbült folyadékfelületek párolgására vonatkozó törvényt, az

$$RT \ln \left(\frac{p_r}{p_\infty} \right) = \frac{2 \sigma M}{r \rho}$$

összefüggést, amelyben p_r és p_∞ az M molekulatömegű, ρ sűrűségű folyadék gőznyomása az r görbületi sugarú felület, illetve a síkfelület felett.

William Ramsay (20. ábra, jobbra) és John Shields a felületi feszültség hőmérsékletfüggésére az Eötvös-egyenlethez hasonló

$$\sigma (Mv)^{2/3} = k(T_0 - T - 6)$$

empirikus egyenletet javasoltak.

Carlo Giuseppe Matteo Marangoni (21. ábra) a szappanhártyák lokális zavarokkal szembeni ellenálló képességével kapcsolatban megállapította, hogy a hártya lokális vékonyodása során megnövekedett felületi feszültség (Gibbs-rugalmasság) a felületaktív anyagok diffúziója miatt viszonylag hosszabb ideig

23. ábra. Fritz Wolfgang London (1900–1954) Erwin Schrödingerrel (balra) Berlinben, 1928-ban.



22. ábra. Balra Peter Joseph William Debye (1884–1966), kémiai Nobel-díj 1936, jobbra Willem Hendrik Keesom (1876–1956).

megmarad (Marangoni-hatás). E két hatás igen jelentős a folyadékhabok stabilitása szempontjából [1].

A határfelületek érdekes viselkedésének oka már a kezdetektől izgatta a tudósokat, és történtek kísérletek az egyes jelenségek anyagszerkezeti magyarázatára is. A kondenzált rendszerekben jelenlévő intermolekuláris kölcsönhatások okára azonban csak a 20. század elején derült fény.

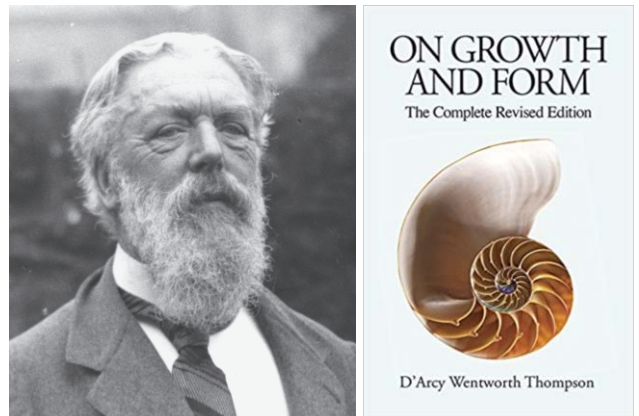
A folyadékokban a molekulák között, azok szerkezetéből adódó dipólus tulajdonságuk miatt (permanens dipól),

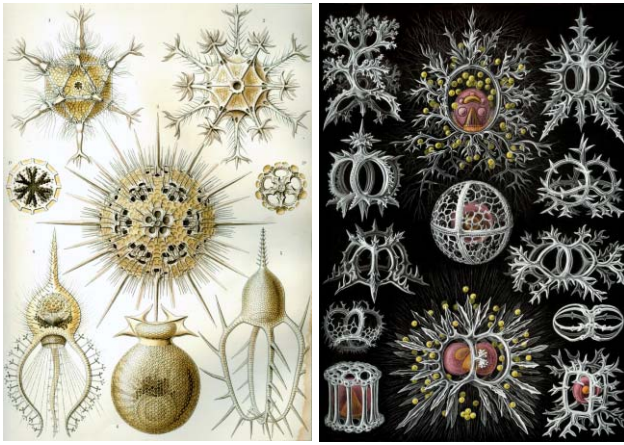
$$U = - \frac{n}{r^6}$$

potenciállal jellemezhető vonzó kölcsönhatás van jelen.

A dipólok további eredetére vonatkozóan Peter Joseph William Debye (22. ábra, indukciós hatás), Willem Hendrik Keesom (22. ábra, orientációs effektus), és Fritz Wolfgang London (23. ábra, diszperziós effektus) tettek javaslatot. Az intermolekuláris kölcsönhatások kvantitatív leírásához a vonzó hatások mellé a molekulák közötti, kvantummechanikai természetű taszító erőket is figyelembe vevő empirikus potenciálokat javasoltak, egyik gyakran alkalmazott egyenlet közülük az

24. ábra. D'Arcy Wentworth Thompson (1860–1948)





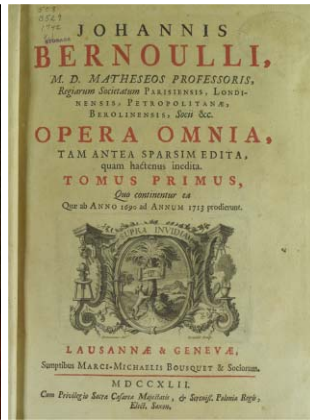
25. ábra. Radioláriák

$$U = -\frac{n}{r^6} + \frac{m}{r^{12}}.$$

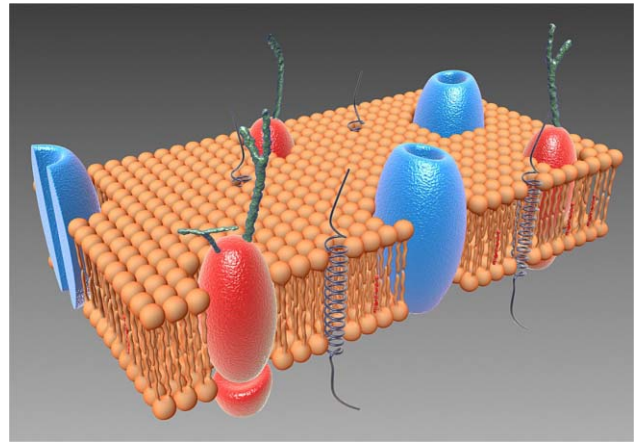
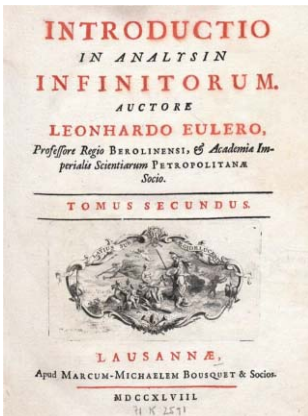
A továbbiakban azokról a kutatókról teszünk említést, akik a *biológia* és *matematika* területén kerültek valamilyen kapcsolatba a szappanhártyákkal, -buborékokkal.

D'Arcy Wentworth Thompson (24. ábra) a 20. század elején hívta fel a figyelmet a szappanbuborékok és az élő szervezetek hasonlóságára. Híres munkájában, az *On Growth and Form*-ban elemezte a radiolá-

27. ábra. Johann Bernoulli (1710–1790)



28. ábra. Leonhard Euler (1707–1783)



26. ábra. A sejtmembrán felépítése

riák szappanhabszerű felépítését. Egy mélytengeri expedíció kapcsán a felszínre került vázaikon jól látható a hasonlatosság (25. ábra). D. W. Thompson az első biomatematikusnak tartják [1].

A sejtmembránokban lévő lipidmolekulák szerkezete (26. ábra) hasonló a szappan molekuláihoz, a belőlük felépülő membránoké pedig a szappanhártyákhoz. A szappanhártyákra vonatkozó minden ismeret így segít a membránok viselkedésének jobb megismerésében.

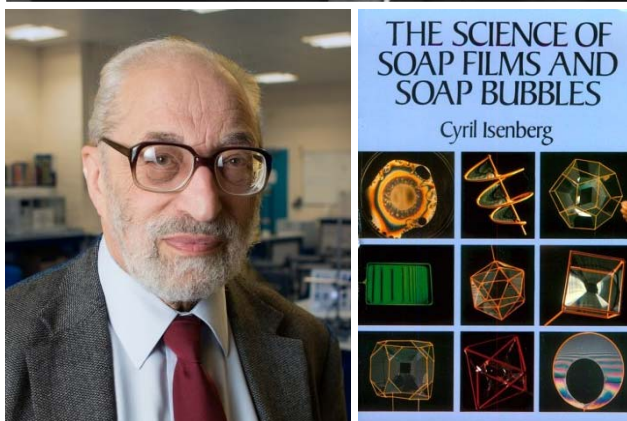
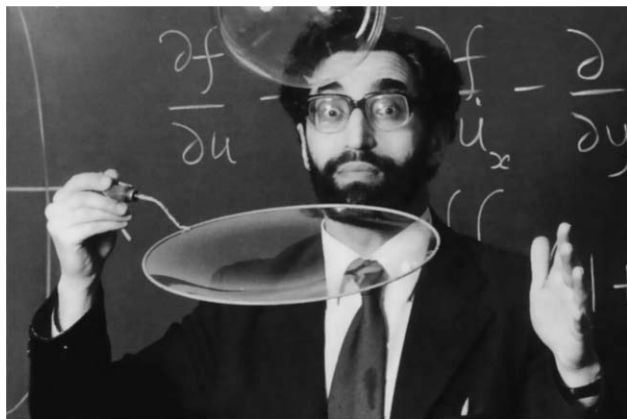
Johann Bernoulli (27. ábra) és tanítványa, Leonhard Euler (28. ábra) a variációszámítás kidolgozásával megteremtette a matematikai módszert az úgynevezett minimálfelület-probléma megoldásához, amelyhez tevékenységével Joseph-Louis Lagrange (29. ábra, balra) is hozzájárult. Meghatározta két koaxiális gyűrűre feszíthető minimálfelület alakját, a katenoid formát. Bonyolultabb felületek elméleti számítása azonban igen sok nehézséggel jár.

Szappanhártyák és habok kialakítása segítségével azonban e problémák egyszerűen megoldhatók. Plateau úttörő munkájából tudjuk, hogy a legkisebb területű felületek rajzolódnak ki szappanoldatba mártott drótkeretekben.

Ha több várost érintő utazást tervezünk, és a lehető legrövidebb utat szeretnénk megtenni (motorway probléma) energiatakarékosság okán, megfelelő kí-

29. ábra. Balra Joseph-Louis Lagrange (1736–1813), míg jobbra Radó Tibor (1895–1965).





30. ábra. Cyril Isenberg, University of Kent at Canterbury

sérleti eszközt használva, a szappanhártyák könnyen megmutatják a legjobb úthálózatot, a legrövidebb utat.

A matematikusok azóta is érdeklődéssel fordulnak e terület felé, a huszadik század elején a magyar származású *Radó Tibor* (29. ábra, jobbra) fejtett ki jelentős tevékenységet a minimálfelületek analitikus meghatározása terén [1].

Manapság egész kémiai iparág alapul a szappanhabok, illetve az azokat felépítő szappanhártyák tudományán. A nagyon eltérő, és rendkívül sokféle feladatot ellátó haboknak sok elvárásnak kell megfelelniük. Így még mindig van mit vizsgálni, hogy jobban megismerjük, és még szélesebb körben használhassuk ezeket a bonyolult fizikai-kémiai rendszereket. E munkához szinte alapmű *Karol Joseph Mysels* (1914–1998) szappanhártyák vékonyodási mechanizmusait ismertető könyve, a *Soap films: Studies of their thinning and bibliography*. *Cyril Isenberg* (30. ábra) a *The Science of Soap Films and Soap Bubbles* című, komoly szakmai igényekkel megírt könyvében, a fizikus és a kémikus is megtalálja a számára érdekes fejezeteket. A könyv nagy segítséget nyújt a szappanhártyák és szappanbuborékok népszerűsítéséhez, sokoldalú felhasználásuk hátterének megértéséhez.

Irodalom

1. Cyril Isenberg: *The Science of Soap Films and Soap Bubbles*. Dover Publication, Inc., New York, 1992.
2. *Báró Eötvös Loránd Emlékkönyv* (szerk.: Fröhlich Izidor) Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 1930, 97–111.
3. Plate from Ernst Haeckel's 1904 *Kunstformen der Natur* (Art-forms of Nature), showing radiolarians belonging to the superfamily Stephoidea.
4. <http://www.aif.it/FISICI\7/F19\1b.jpg>
A külön nem hivatkozott képek többnyire a Wikipedia internetes forrásból származnak.

A FIZIKA TANÍTÁSA

LEWIS A. RYGG (1893) KLASSZIKUS MECHANIKUS LOVA – a ló megépítése, és mozgásának elemzése: eszköz a négylábú állatok lábmozgásának szemléltetésére és elemzésére

Bogár Attila, Bedőcs Imre, Horváth Gábor
ELTE Biológiai Fizika Tanszék

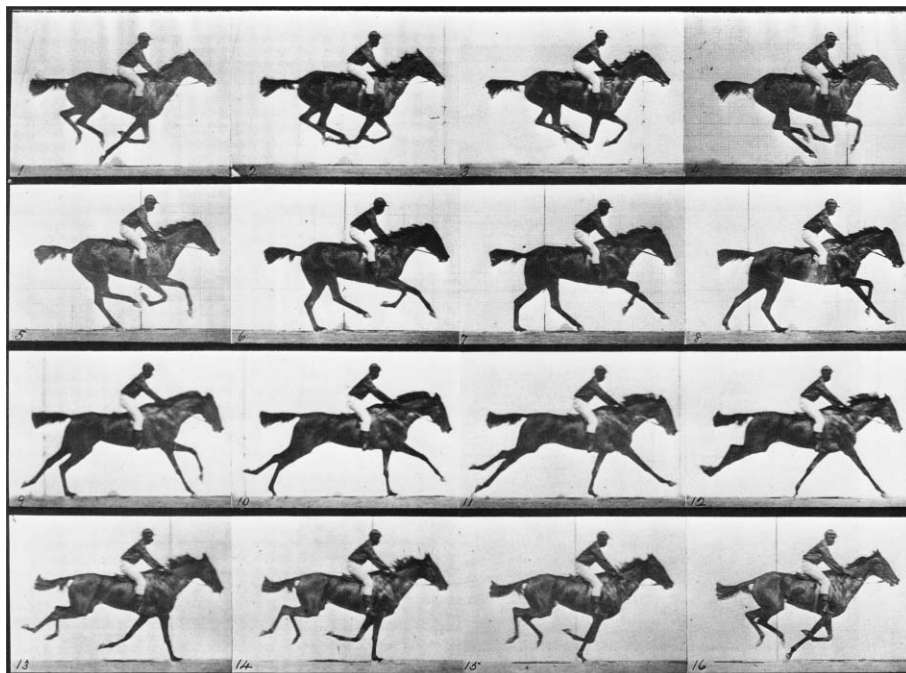
Írásunk célja a *Lewis A. Rygg* 1893. évi amerikai szabadalmában leírt mechanikus ló megépített modellje lábmozgásainak elemzése. A szerkezet lábmozgásainak megfelelő beállításával a négylábúak lépéssorrendjét szemléltető modellt kapunk, ami oktatási célra is alkalmas. A szabadalomban nem szerepeltek az alkotóelemek pontos méretei, de azt tudjuk, hogy e mechanikus lovat Rygg arra tervezte, hogy egy ember meg tudja lovagolni. Megépítettük e valós nagyságú mechanikus ló kicsinyített változatát. A lómodell meg-

tervezése először számítógépen, 3 dimenzióban történt, majd e terv alapján elkészítettük a 15%-os kicsinyített modellt. A számítógépes és a valódi modell elkészülte után mindkettőn beállítottuk a hatféle lehetséges lépéssorrendet a fogaskerekek egymáshoz viszonyított szögeinek módosításával, és az egyes lépésmódokról filmet is készítettünk. Már a számítógépes lómodell lábmozgásán is látható volt, hogy a szerkezet valószínűleg alkalmatlan lenne járásra. A számítógépes szimuláció még nem tartalmazta a sza-

badalomban leírt rugókat, ezért volt szükség a mechanikai szerkezet megépítésére. A megépült mechanikus lómodell járását elemezve kiderült, hogy a szabadalomban leírt és ábrázolt szerkezet – az eredetileg megtervezett formájában – stabil, biztonságos járásra képtelen lett volna. Némi módosítással azonban kiváló eszköz válhat belőle a négylábúak lábmozgásainak demonstrálására.

Mechanikus négylábú állatgépezetek

A 19. század utolsó negyedében, az 1870-es években elsőként *Eadweard Muybridge* kezdett el komolyan foglalkozni a lovak és más négylábú állatok mozgásával [1]. A lómozgás fényképes rögzítésével végzett kísérleteit 1872-ben kezdte, amikor *Leland Stanford* amerikai milliomos annak vizsgálatával bízta meg, hogy a lo-



1. ábra. Muybridge fényképsorozata egy vágató lóról (először 1887-ben publikálta Philadelphiában, wikipedia.org).

vak vágójakor van-e olyan pillanat, amikor mind a négy lábuk a levegőben van. Kísérleteiben 12-24 fényképezőgépet használt, rövid, 1/1000 másodperces záridővel, ami a kor egyik kiemelkedő fotográfiai teljesítménye volt, amit szabadalmazott is. Már első fényképei is bizonyították (1. ábra), hogy a lovak futásának egyes fázisaiban mind a négy láb a levegőben van [1]. Muybridge úttörő munkásságát követően több szabadalmazott mechanikus négylábú gépezet is született [2–7], amelyek magukon hordozták Muybridge eredményeinek nyomait.

Jóval korábban, még a szabadalmaztatás intézményének bevezetése előtt, 1515-ben *Leonardo Da Vinci* egy mechanikus oroszlánt tervezett, aminek nemrég megépítették a működő modelljét¹ (2. ábra). Leonardo mechanikus oroszlánja volt *I. Ferenc* francia király koronázási parádéjának fő mutatványa, amit *Giuliano de' Medici*, Nemours hercege mutatott be a királynak Lyonban, 1515. július 12-én.² A látványosságot fokozta, hogy amikor az oroszlángépezet a mozgása végén megállt, mellkasa kinyílt s tele volt különféle virágokkal. A mechanikus oroszlánmodell mozgása egy YouTube filmen is látható.³

Rygg mechanikus lóva

Az egyik leghíresebb klasszikus mechanikus lovat Lewis A. Rygg tervezte és szabadalmaztatta 1893-ban

¹ <https://grabcad.com/library/mechanical-lion>

² http://dangerousminds.net/comments/leonardo_da_vincis_incredible_mechanical_lion

³ https://www.youtube.com/watch?v=xNWE2AdfNuo&feature=player_embedded



Bogár Attila középiskoláját a győri Jedlik Ányos Gimnáziumban végezte. Programozó-hálózatfejlesztő OKJ képesítéssel bír. Az ELTE biofizika B.Sc. diploma megszerzése után önkéntes volt a Vöröskeresztnél, jelenleg grafikus egy komáromi digitális nyomdában.



Bedőcs Imre a Kandó Kálmán Műszaki Főiskola Villamosmérnöki Karán végzett mérnök, aki számos orvos- és labortechnikai műszer, valamint optikai felismerésen alapuló készülék gyártásában, fejlesztésében és szervizelésében vett részt. Korábban szerviz-, majd gyártásvezetőként dolgozott, jelenleg az ipari elektronika egyik piacvezető vállalatánál szervizmérnök.



Horváth Gábor fizikus, az MTA doktora, az ELTE Biológiai Fizika Tanszék Környezetoptika Laboratóriumának vezetője. A vizuális környezet optikai sajátosságait és az állatok látását tanulmányozza, továbbá biomechanikai kutatásokat folytat. Számos szakmai díj és kitüntetés tulajdonosa.



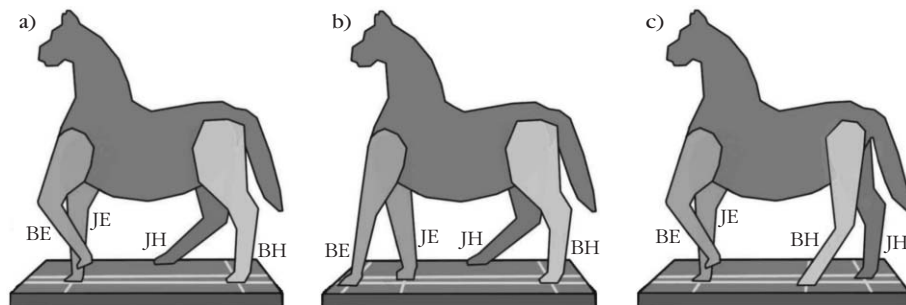
2. ábra. Leonardo újraépített mechanikus oroszlánja.

(3. ábra) [8]. A 491927. számú amerikai szabadalmi leírás szerint a beadás idején nem létezett megépített modell, és arra sem találtunk bizonyítékot, hogy valaha megépítették volna [9]. A szabadalom szövegében Rygg a következőket írta: „Feltaláltam bizonyos új és hasznos fejlesztéseket a mechanikus lovakhoz. A találmány célja, hogy egy mechanikus lovat biztosítson, amely kényelmes méretű ahhoz, hogy egy ember lovagolhasson rajta és olyan felépítésű, hogy a lábával hajtsa.”

E mechanikus lovat eredetileg arra tervezték, hogy egy lovas pedálok segítségével hozhassa mozgásba. Egy kicsinyített modell viszont alkalmas a lovak és más négy lábúak lépéssorrendjének szemléltetésére. Ezzel hasznos demonstrációs eszközt kapunk, amely elősegíti a négy lábú járás optimális lépéssorrendjének bemutatását és oktatását.

Már első ránézésre megállapítottuk, hogy valami gond van e mechanikus lóval, mert lábtartása nem felel meg a lovak járásának, azaz lépés jármódjának [10, 11]. A 4. ábra a) része a mechanikus ló eredeti rajza alapján készült grafikai váz, míg a b), illetve c) részek a hibás járásábrázolás két lehetséges javítását mutatják, amelyeken a mellső, illetve a hátsó lábpárt javítottuk az eredeti hátsó, illetve mellső lábpár megtartása mellett. E két javítási módon túl természetesen még sok más javítási lehetőség is létezik. Mi azt a kettőt adtuk meg, amelyek a legkevesebb beavatkozással járnak, vagyis az eredeti, helytelen járásábrázolásokhoz legközelebb állnak.

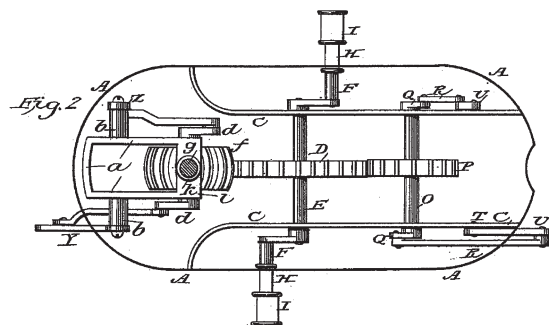
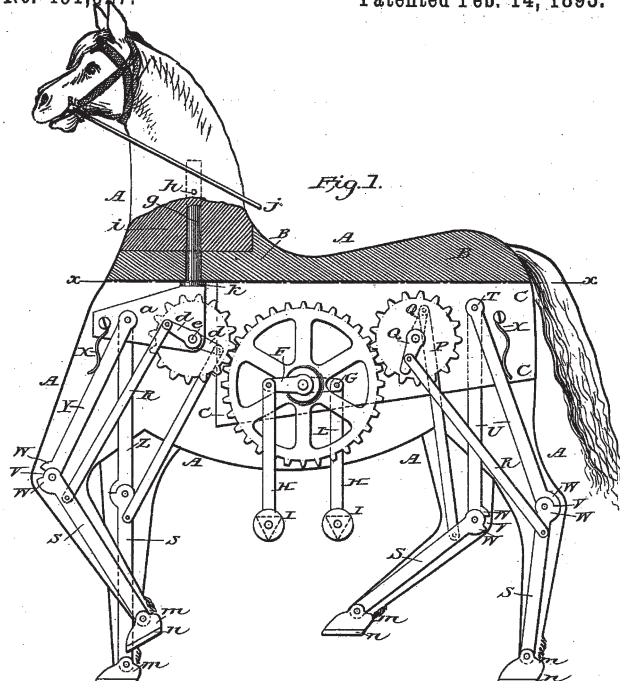
4. ábra. Lewis A. Rygg 1893-as mechanikus lovának helytelen kétláb-alátámasztásos járásábrázolása (a) és lehetséges javításai (b, c) [10, 11]. BE: bal első láb, BH: bal hátsó láb, JE: jobb első láb, JH: jobb hátsó láb.



L. A. RYGG.
MECHANICAL HORSE.

No. 491,927.

Patented Feb. 14, 1893.



3. ábra. Rygg (1893) mechanikus lovának tervrajza oldalról (főnt) és felülnézetben (lent) [8].

A Rygg-féle ló számítógépes modellje

Először a Rygg szabadalmában leírt és ábrázolt mechanikus ló méreteit és arányait elemeztük, mert a leírásban pontos, számszerű adatok nem szerepeltek [9]. A szabadalom digitálisan is elérhető, ezért számítógépen vettük le a méreteket

a *Measure* nevű, ingyenesen elérhető programmal.⁴ Ezek után elkészítettük minden egyes alkatrész modelljét a számítógépes 3D modellező *Autodesk Inventor* program⁵ 2014-es verziójának segítségével.

⁴ <http://www.thing.com/Measure.asp>

⁵ <http://www.autodesk.hu/products/inventor/overview> – diákok és tanárok három éves, ingyenes licenctet szerezhetnek e programhoz.

vel. E szoftverben összeraktuk az alkatrészeket és – a valós lómodell megépítése előtt – szimuláltuk a mechanikus ló mozgását.

A számítógépes lómodell tesztelése

Az *Autodesk Inventor*-beli szimuláció csak hozzávetőleges volt, mert nem szerepelt benne súrlódási erő, gravitáció, az összerakott modellbeli elektromotor, az első lábak elfordítását lehetővé tevő első fogaskerék, valamint az első és hátsó lábaknál található rugók. A szimuláció alapot nyújtott a megépítendő modellhez, és a szerkezet lényegi részeit elemeztük vele, például a lehetséges elakadásokat [9].

Már a számítógépes összerakás után látható volt, hogy a megépítendő modell képes lesz a lábak mozgására. Az is kiderült, hogy a hátsó lábak túl magasra emelkednek és így beakadhatnak a majdani elkészítendő szerkezet felső részébe. E probléma kiküszöbölését a megépített modellben a beépített rugók biztosították.

Elsőként abból az állásból indítottuk a lómodellt, amiben Rygg szabadalmában is látható (3. ábra), majd öt másik állásból indítva is kipróbáltuk. Azért a hat állás összesen, mert a négy láb hatféle lépéssorrenddel bír [11].

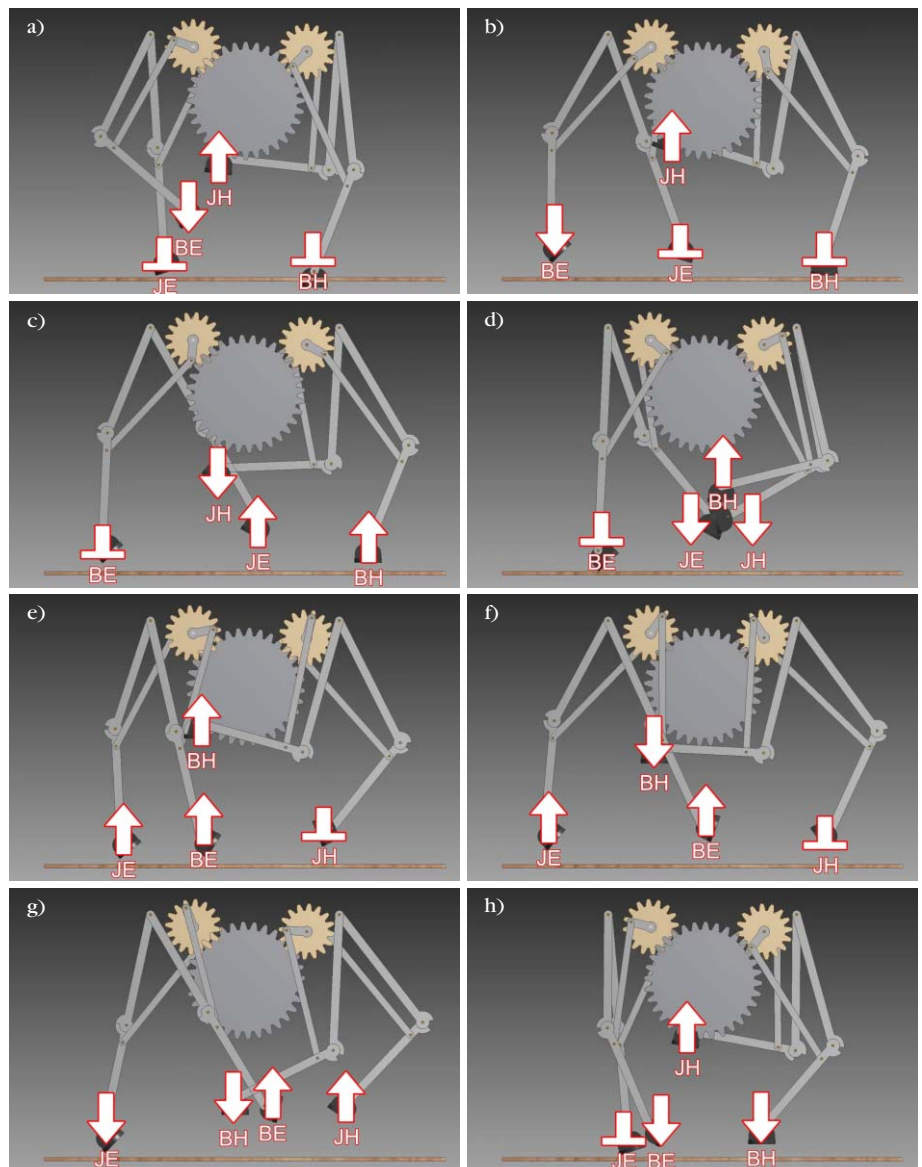
A lómodellben a lábak egymáshoz képesti állását a két kisebb fogaskerék állása határozza meg, ezért azok szögének állításával lehet a lábállásokat változtatni. A mellső és hátsó lábakat külön nézve azok úgy viselkednek, mint egy-egy kétlábú szerkezet. A lényeg a két-két láb közti fázisban van, ezért elég volt az egyik (jelen esetben az első) fogaskerék kiindulási szögének állítása, míg a hátsó ugyanott maradt. A hat állást egyenletesen, 60 fokként osztottuk fel. Az egyes állásokat egy teljes, 360 fokos fordulaton át rögzítettük oldalról, majd – a könnyebb megjelenítés, elemzés érdekében – 8-8 képet készítettünk az összes videóból. Az egyes lábak állását és mozgását minden képkockában elemeztük, majd az egész mozgássorozatot egy sűrített, piktografikus

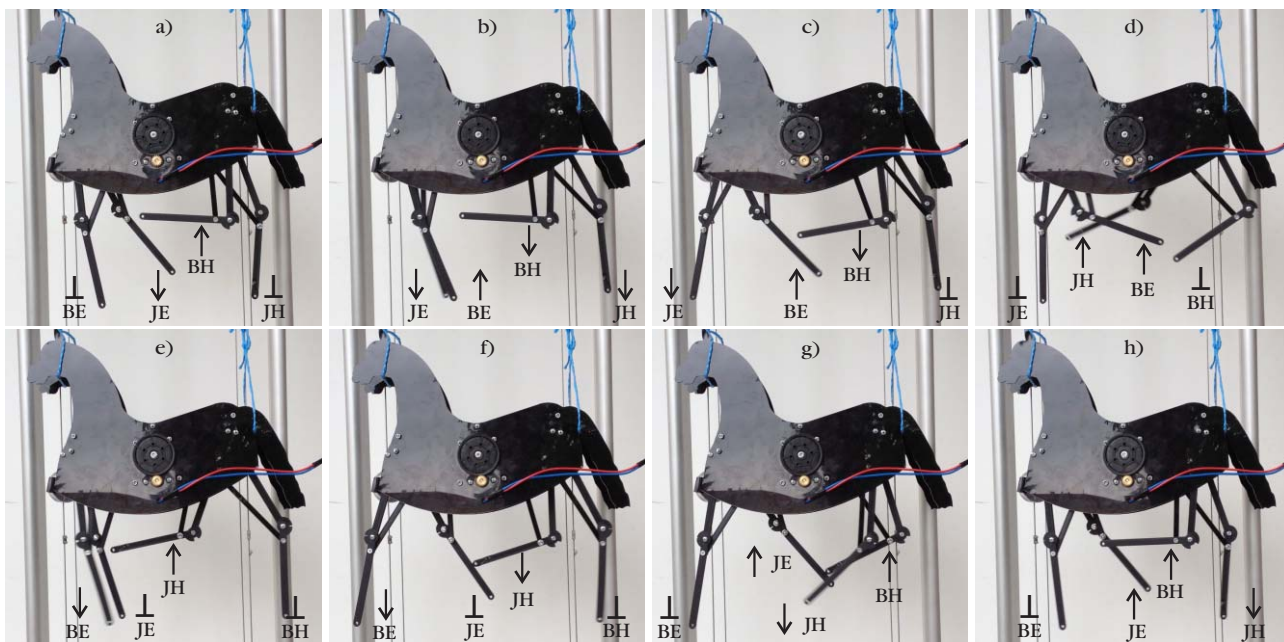
formában ábrázoltuk. Az 5. ábra például a Rygg-féle mechanikus ló lábainak szimulált mozgását mutatja a járásciklus 8 fázisában az 1. fogaskerékállásnál.

Rygg mechanikus lovának megépített, kicsinyített modellje

Az alkatrészeket 3D nyomtatóval állítottuk elő a számítógépen megtervezett elemekből [9]. Ezután következett a modell megépítése, amelynek alapját a nyomtatott alkatrészek adták. A nagyobb pontosságot igénylő fogaskerekeket és a lábakat meghajtó elektromotort egy modell- és hobbiszaküzletben szereztük be. A motortengely szögsebessége potenciométerrel volt szabályozható. A lómodellt összetartó keret műanyaglapokból készült lézeres kivágással. A megépí-

5. ábra. A jobbról balra mozgó Rygg-féle mechanikus ló lábainak szimulált mozgása a járásciklus 8 fázisában az 1. fogaskerékállásnál. A fehér nyilak azt mutatják, hogy a ló a lábát éppen föl- vagy lefelé mozgatja, a \perp jel pedig azt jelenti, hogy a láb a földön van [9].





6. ábra. A Rygg-féle mechanikus ló megépített modellje lábainak mozgása a járásciklus 8 fázisában az 1. fogaskerékállásnál, amikor a ló balról jobbra mozog [9].

tett lómodellünk az eredeti szerkezet 15%-ra kicsinyített változata volt. Mivel csak demonstrációs célra szolgált, ezért például nem volt szükség az első lábpár elfordíthatóságára, amelynek eredeti célja az volt, hogy a lómodelllel kanyarodni és fordulni is lehessen.

A megépített lómodell első fogaskerekénél állítható a két első láb szöge, ezzel szimulálható a hatféle eltérő lépéssorrend. A 6. ábra a megépített lómodell lábainak szimulált mozgását mutatja a járásciklus 8 fázisában az 1. fogaskerékállásnál.

A szimulált, a megépített lómodell és a lovak járásának összehasonlítása

A lovak lassú mozgástípusa (jármódja) a lépés, amikor egy vagy két láb mindig a levegőben van, miközben a többi három vagy kettő a talajon. A négy láb 24-féle módon és 6 sorrendben rakosgatható egymás után. Egy adott sorrend – attól függően, hogy az állat melyik végtagjával kezdi a járást – négy, a kezdeti lépésekben eltérő módozatra bomlik [11]. Azt gondolhatnánk, hogy mind a hat lépéssorrend előfordul a négylábúak között, ez azonban nincs így. A négylábúakra, így a lovakra is járáskor (lépés jármódban) a BH–BE–JH–JE lépéssorrend jellemző [11]. Az ennek

7. ábra. A lovak lassú járásakor (lépés jármódjában) a lábak talajkontaktusának táblázata (alátámasztási mátrixa) a járásciklus 1–8. fázisában a BH–BE–JH–JE lépéssorrend esetén, ahol a fekete, illetve fehér körök azt jelölik, hogy a láb a talajon, illetve a levegőben van [11].

	1	2	3	4	5	6	7	8
BH	●	●	●	●	○	○	○	○
BE	○	○	●	●	●	●	○	○
JE	●	●	○	○	○	○	●	●
JH	●	○	○	○	●	●	●	●

megfelelő talajfogási mintázatot, más néven alátámasztási mátrixot a 7. ábra mutatja. A 8. ábrán a Rygg-féle lómodell szimulált járásának alátámasztási mátrixa látható a 6 különböző fogaskerékállás esetén, míg a 9. ábra ugyanezt szemlélteti a megépített lómodellre.

A 7–9. ábrák összevetésével látható, hogy a Rygg-féle lómodellnek sem a számítógéppel szimulált, sem pedig a megépített változata nem jár helyesen, vagyis nem a lovak lépésére jellemző BH–BE–JH–JE lépéssorrendet követi. A számítógépes modellnél gyakori, hogy a ló egyik lába sincs a földön, ami a valódi lovaknál csak vágtakor fordul elő. Rygg lómodellje viszont emberi erő hajtotta lassú járásra (lépés jármódra) volt tervezve, nem vágatúra. Látható

8. ábra. A Rygg-féle lómodell szimulált járásának alátámasztási mátrixa a 6 különböző (a: 1., b: 2., c: 3., d: 4., e: 5., f: 6.) fogaskerékállás esetén [9].

a)	1	2	3	4	5	6	7	8	b)	1	2	3	4	5	6	7	8
BH	●	●	○	○	○	○	○	○	BH	●	○	○	○	○	○	○	○
BE	○	○	●	●	○	○	○	○	BE	○	○	○	●	●	○	○	○
JE	●	●	○	○	○	○	○	○	JE	●	○	○	○	○	○	○	○
JH	○	○	○	○	●	●	○	○	JH	○	○	○	○	○	○	○	○
c)	1	2	3	4	5	6	7	8	d)	1	2	3	4	5	6	7	8
BH	●	●	○	○	○	○	○	○	BH	●	●	○	○	○	○	○	○
BE	○	○	○	○	○	○	○	○	BE	○	○	○	○	○	○	○	○
JE	○	○	○	○	○	○	○	○	JE	○	○	○	○	○	○	○	○
JH	○	○	○	○	○	○	○	○	JH	○	○	○	○	○	○	○	○
e)	1	2	3	4	5	6	7	8	f)	1	2	3	4	5	6	7	8
BH	●	●	○	○	○	○	○	○	BH	●	●	○	○	○	○	○	○
BE	○	○	○	○	○	○	○	○	BE	○	○	○	○	○	○	○	○
JE	○	○	○	○	○	○	○	○	JE	○	○	○	○	○	○	○	○
JH	○	○	○	○	○	○	○	○	JH	○	○	○	○	○	○	○	○

még, hogy a Rygg-féle lómodellnek legfeljebb két lába van a földön, gyakran csak egy, míg a ló valódi lassú járásakor az esetek felében három láb éri a földet. A 6. fogaskerékállásnál a BE láb csak megközelíti a talajt. Ez legjobban a megépített lómodell 5. és 6. fogaskerékállásában volt megfigyelhető, amikor külön-külön az első, illetve a hátsó lábaknál is a jobb lábat a bal követte, azután mindkét láb a levegőben volt, majd újra következett a jobb, míg a valószínűségben legalább egy láb, sőt az idő felében mindkét láb a földön van.

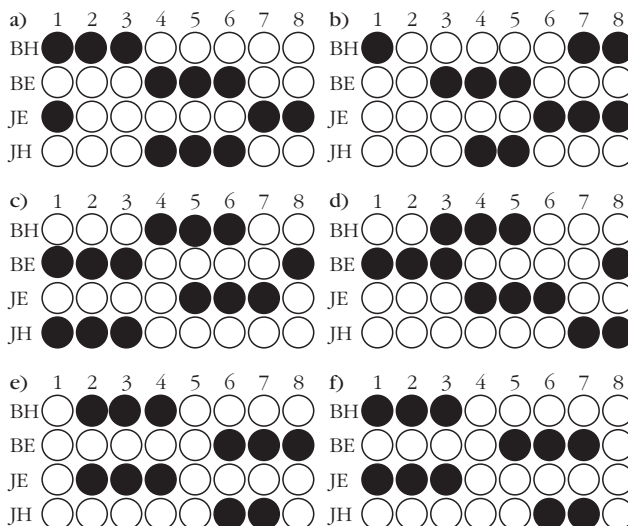
Ugyanez figyelhető meg a megépített lómodell járásában is, azzal a különbséggel, hogy annál ritka, hogy egyik láb se legyen a földön. Ennél gyakrabban fordul elő az az állapot, amelyben a lómodell átellenes (BE és JH vagy JE és BH) lábai vannak a földön. A megépített és a szimulált lómodellben is látszik még, hogy a ló a lábait túl magasra emeli, egészen addig, hogy az akár beakadhat a vázba. A lábak túl sok időt töltenek fönn, és ez okozza a gyakori instabil állapotokat, amelyekben egy vagy két láb van a földön, vagy akár egyik sem.

Végül fontos kiemelni, hogy a stabil álláshoz legalább három lábnak kell a földön lennie, ami egyszer sem fordul elő a számítógépes és a megépített lómodell esetében.

Következtetések

A Lewis A. Rygg 1893. február 14-i, 491927. számú amerikai szabadalmában leírt mechanikus ló számítógépes modelljének elkészítése és 15%-ra kicsinyített modelljének megépítése és tesztelése után kiderült, hogy a lómodell a Rygg által leírt és ábrázolt formájában nem lett volna képes járásra (helyes lépés jármódra) [9]. (i) Az első és hátsó lábak mozgásának időzítése külön-külön rossz. (ii) A lábak kevés időt töltenek a földön. (iii) A szerkezet mozgása során túl magasra emeli a lábakat, ami beakadásokat okozhat. (iv) Előfordul, hogy a modell egyik lába sincs a földön, vagy csak egy, gyakrabban kettő, ami mind instabil, átmeneti állapot egy ló mozgása során.

E modellre alapozva elkészíthető egy jobban működő. Az alkatrészek méretének változtatásával elérhető lenne, hogy a lábak ne emelkedjenek természetellenesen magasra, és több időt töltsenek a földön. Így már csak az első és hátsó lábak mozgásának egymáshoz viszonyított fázisán kellene állítani, hogy elő-



9. ábra. A Rygg-féle megépített lómodell járásának alátámasztási mátrixa a 6 különböző fogaskerékálláskor [9].

álljon a lovak és minden más négylábú állat járására (lépés jármódjára) jellemző BH–BE–JH–JE lépéssorrend, ami a legnagyobb állásszilárdságot biztosítja.

Irodalom

- Greguss Ferenc: *Eleven találmányok*. Móra Kiadó, Budapest, 1976.
- William F. Goodwin: *Automatic Toy*. No. 61416, 1867. január 22., <https://www.google.com/patents/US61416>
- John Doyle: *Motors for Propelling Vehicles, or Mechanical Horses*. No. 200266, 1878. február 12., <https://www.google.com/patents/US200266>
- Andrew J. Davis: *Automatic Toy*. No. 209468, 1878. október 29., <https://www.google.com/patents/US209468>
- William Kennish: *Mechanical Toy Animal*. No. 257952, 1882. május 16., <https://www.google.com/patents/US257952>
- Henry O. Lund: *Mechanical Toy*. No. 261244, 1882. július 18., <https://www.google.com/patents/US261244>
- William Hamilton Hall: *Mechanical Toy Animal Figure*. No. 328912, 1885. október 20., <https://www.google.com/patents/US328912>
- Lewis A. Rygg: *Mechanical Horse*. No. 491927, 1893. február 14., <https://www.google.com/patents/US491927>
- Bogár Attila: *Rygg (1893) mechanikus lovának megépítése és mozgásának elemzése*. B.Sc. Diplomamunka (2016), ELTE TTK, Biológiai Fizika Tanszék, Környezetoptika Laboratórium, Budapest, 70 o. (témavezető: Horváth Gábor)
- Csapó Adelinda: *Négylábú járásábrázolások biomechanikai elemzése, különös tekintettel a múzeumi preparátumokra és az anatómiai tankönyvek illusztrációira*. Diplomamunka (2007), ELTE TTK Biológiai Fizika Tanszék, Budapest, 70 o. (témavezető: Horváth Gábor)
- Horváth Gábor: *Biomechanika. A mechanika biológiai alkalmazásai*. Egyetemi tankönyv, 3. átdolgozott, bővített kiadás (2009), 368 o., ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, ISBN 978-963-284-052-9



**SZÁMÍTUNK RÁD, LÉGY
A FIZIKA BARÁTJA!**

**Támogasd adód 1%-ával az Eötvös Társulatot!
Új adószámunk: 19815644-2-43**

POLARIZÁCIÓS KÍSÉRLETEK MINDENNAP HASZNÁLATOS, EGYSZERŰ ESZKÖZÖKKEL

Borbély Venczel
Ferencs Gimnázium, Szentendre

A polarizáció órai demonstrációjához polárszűrő beszerzése és/vagy készítése ma már nem túlzottan nehéz feladat. A tanári bemutatás tanulói kísérlettel párosítható, a gyerekek ezáltal saját maguk tapasztalhatják meg a jelenséget. A cikkben egyedi és részben ismert, de új köntösbe öltöztetett tanári demonstrációkra és tanulói kísérletekre teszek javaslatot mindennap használatos, illetve könnyen elkészíthető eszközökkel.

Bevezetés

Öveges József professzor nyomában járt és jár ma is nagyon sok fizikát, illetve természettudományt tanító tanár. Nagy elődünk az egyszerű, mindennapi életünkben jelen lévő eszközökre támaszkodott, azokkal tette könnyen érthetővé a bonyolultabb fizikai jelenségeket. Követői hasonló leleményességgel próbálják a gyerekek érdeklődését felkelteni/fenntartani. A világhálón számos kísérletet láthatunk kidobásra szánt eszközökkel (a teljesség igénye nélkül: PET-palack [1], szívószálak [2] stb.), és a minden gyerek zsebében ott lévő mobiltelefon is használható kísérleti eszközként [3]. A tanári demonstrációhoz, a diákok együttműködésének fejlesztéséhez, az ismeretfelmérés terén is számtalan infokommunikációs technológiai (IKT) eszköz használható [4, 5]. Kísérleteimben én is a modern technológia kínálta eszközöket próbálom bevonni, mert ezek közel állnak a diákokhoz, és szívesen játszanak velük.

A polarizáció oktatása számomra mindig nagy élmény, mert egyike azon jelenségeknek, amelyek látványosságukkal felkeltik tanítványaim érdeklődését, megmozgatja fantáziájukat. Korábban csak néhány kisebb polárszűrő segítségével tudtam bemutatni a kísérleteket, és ehhez hasonló megoldásokat láttam a különböző fórumokon [6–14], a nagyméretű polárszűrő – körülményes és költséges beszerzése miatt – csak álom volt.

Polárszűrőhöz ma már több módon juthatunk. „Békés megoldás”, ha polarizációs napszemüveget veszünk. Ez a nyári, víz közeli kirándulásoknál, illetve autóvezetésnél is jól jön, ára körülbelül 5000 Ft. Másik „békés megoldás”, ha 3D-s moziba megyünk, és meg-

vesszük a polarizációs elven működő szemüveget (van, ahol nem adják el). Ekkor a szemüveg ára csak néhány száz forint, de a filmet is „meg kell venni”, így már körülbelül 2500 Ft. Az ilyen szemüvegen átnézve körkörös (cirkulárisan) polarizált fény jut a szemünkbe, amelyet a lineárisan polarizáló lemez mögött $\lambda/4$ -es lemezzel valósítanak meg. Így ezt a szemüveget – a tárgy felőli oldalról átnézve – lineáris polárszűrőként használhatjuk. 3D-s polarizációs szemüveggel (továbbiakban 3D-s szemüveg) a legtöbb diák rendelkezik, és így órán vagy otthon – némi irányítás mellett – tanulmányozhatják az egyes kapcsolódó jelenségeket.

„Drasztikus”, de ugyanakkor az újrafelhasználási irányzatokat is kielégítő megoldás, ha szétszedünk különböző (már nem működő) LCD- vagy TFT-kijelzőt. Az LCD-kijelzők szétszedése könnyebb, de kisebb méretű szűrőt kapunk. Monitorok kijelzője méretes polárszűrővel rendelkezik, de szétszedésük – hiszen a szűrő gondosan fel van ragasztva – nehezebb. Mindenképp megéri a fáradságot, hiszen – akár ingyen – olyan nagyméretű polárszűrőhöz jutunk, amellyel már frontálisan is hatékonyan szemléltethetünk. Osztálytermi bemutatóhoz elengedhetetlen.

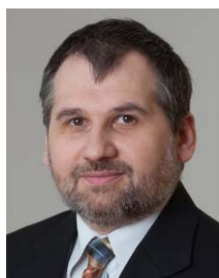
Polarizációt nem csak a mai, modern eszközökkel mutathatunk be. Egy közönséges üveg, a víz felülete, lakkozott asztal stb. meghatározott szögben részben vagy teljesen polarizált fényt ver vissza. Öveges tanár úrnak erre is volt megoldása a *Sarkított fény* című filmben [15]. A polarizáció hagyományos demonstrálására én is készítettem polarizátort építkezésnél megmaradt hulladékokból. A polarizátor ötletét *Härtlein Károly Brewster-polarizáció* című filmje adta [16].

Az alábbiakban bemutatom a Brewster-periszkóp¹ névre hallgató polarizátorom készítésének lépéseit és működését, órai demonstrációra adok ötleteket, továbbá tanulói kísérletekre teszek javaslatot ezen, mindenképp számára elérhető eszköz felhasználásával.

A Brewster-periszkóp

A polarizáció tanórai tárgyalását mindig kis történelmi áttekintéssel kezdem, így jobban rá lehet világítani a kezdeti nehézségekre, össze lehet hasonlítani az akkor használt eszközöket a mai, modern változatokkal, kapcsolódni lehet a mindennapi jelenségekhez. Rögön olyan probléma merült fel, amelyet csak szemléltetéssel tudtam megoldani. A Brewster-törvényhez kapcsolódó kísérletet üveglapok helyett tankönyvek segítségével mutogattam el, megfelelő szögbe állítva és forgatva őket, de láttam a diákok tekintetén, hogy

¹ Az eszköz elnevezése *Raics Péter* ötlete nyomán született.



Borbély Venczel 2000-ben végzett a kolozsvári Babeş-Bolyai Tudományegyetemen, okleveles fizikus, fizikatanár. Fizikát tanít a szentendrei Ferencs Gimnáziumban, a tantárgy gondozója, mestertanár. Mellette kutatóként dolgozott a BME Fizika Tanszék Holográfia Csoportban. 2011-ben PhD fokozatot szerzett, témája a holográfia mérés technikai alkalmazása. Több projektben, például a Lézer-Sólyomszem holografikus mérőkamera, jelenleg pedig a Technoorg Linda Kft. eszközei fejlesztésében vesz részt.

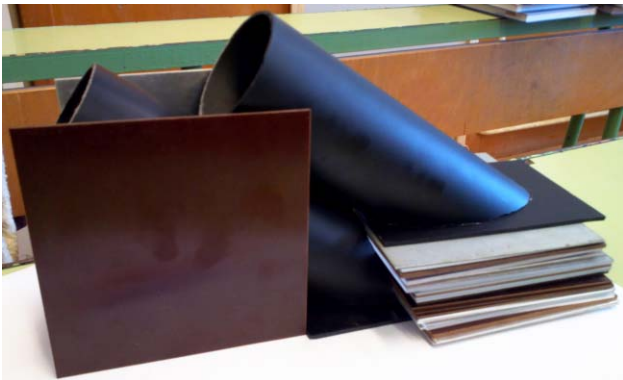
ez így nehezen érthető. Ezért demonstrációs eszköz készítését tűztem ki célul, de a tankönyvek ábráin bemutatott vázlat – számomra – körülményesnek tűnt.

A Brewster-törvényt szemléltető kísérleti videó keresése közben bukkantam rá Härtlein Károly [16] filmjére (eddiggi találatok alapján az egyetlenre), és rádöbbenem, hogy a megvalósítás nem is annyira bonyolult, magam is el tudom készíteni. Az alábbiakból az is kiderül, hogy bármelyik fizikatanár, vagy akár diák gazdagíthatja kísérleti tárárt egy hasonló demonstrációs eszközzel. Házfelújításkor megmaradt PVC-csövek, fadarabok,



1. ábra. A Brewster-periszkóp alkotó elemei: PVC-cső, üveglapok, pillanatragasztó, festék (balra) és a deszkalapok (jobbra).

2. ábra. Az üveglemezek párhuzamosítása.



3. ábra. A fényforrás alkotó elemei (fölül) és az összerakott fényforrás (alul).



üveglapok stb. alkalmasak az eszköz elkészítésére. Az 1. ábrán a kellékek nagy részét, részben már előkészítve láthatjuk.

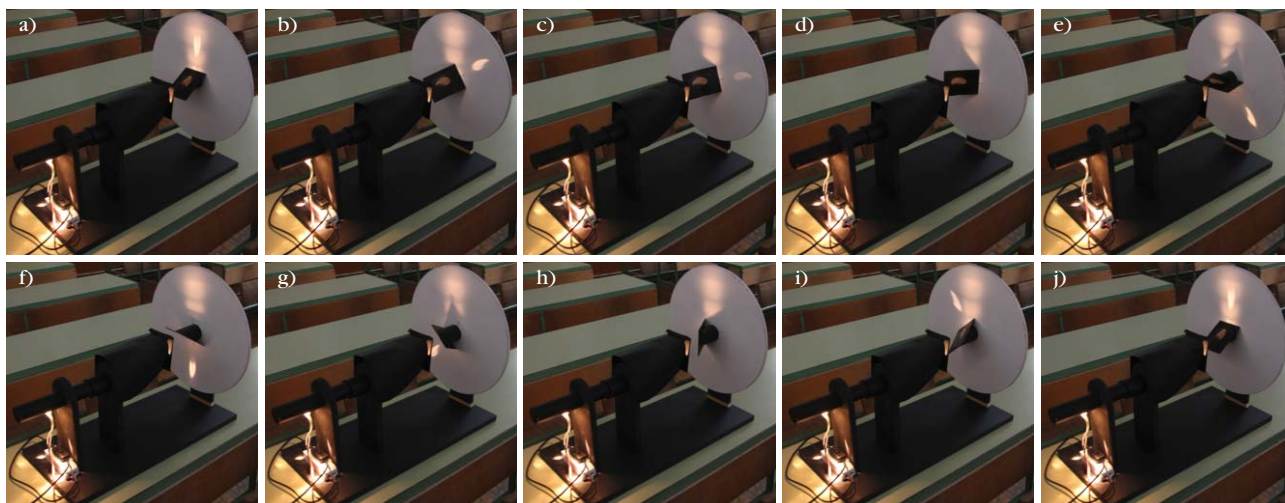
Az eszköz készítését a PVC-csövek leszabásával kezdtem. Üveg esetén a Brewster-szög körülbelül $56-57^\circ$. Ezért $33-34^\circ$ -os szögben vágtam le a csövek egyik végét. Ezt követően az üveglapokat és a csöveget lefestettem. Száradás után az üveglapokat pillanatragasztóval a csövek végére ragasztottam (1. ábra, balra).

A következő lépésben a faanyagot készítettem elő. Egy körülbelül 40 cm átmérőjű 1 cm vastag falapból korongot vágtam. A csövek megfogásához szükséges állványokat körülbelül 10 cm széles, 18 mm vastag fenyőfadeszkából készítettem, a csövek helyét szűrőfűrésszel alakítottam ki (1. ábra, jobbra), megfelelő méretű falapra szereltem és az egészet feketére, a korong első felét pedig fehérre festettem.

A legkritikusabb lépés a két első üveglap párhuzamos beállítása volt. Ehhez a 2. ábrán látható megoldást választottam. Az alsó csőre ragasztott üveglapra egyenlő vastagságú lemezeket raktam a cső vastagságának megfelelő magasságig. Majd a második csövet az üveglappal lefelé ráhelyeztem, az alsó csőhöz toltam és összeragasztottam. Oldalirányban két lemezzel biztosítottam a párhuzamosságot.

4. ábra. A Brewster-periszkóp saját fényforrással.





5. ábra. A „hulladék” polarizátor analízatorának különböző helyzetei: 0° -nál (a), 45° -nál (b), 60° -nál (c), 90° -nál (d), 135° -nál (e), 180° -nál (f), 225° -nál (g), 270° -nál (h), 315° -nál (i) és 360° -nál (azaz újra 0° -nál, j).

A polarizátor szertári, párhuzamos nyalábot kibocsátó fényforrással is használható, első kipróbálását én is azzal végeztem, de a jobb hordozhatóság kedvéért saját fényforrást készítettem hozzá. A szükséges elektronikai alkatrészeket villamossági üzletben szereztem be (amelyek nem mind olcsók), a többi rész hulladék. A fényforrás teste egy 40-es alumíniumcső, a benne lévő halogénizzó 12 V-os, 20 W-os, amelyet megfelelő tápegység hajt. A 150 mm fókusztávolságú lencsét gyógyszeres doboz csavaros kupakja és csavarháza fogja be, üdítős üveg kupakja és sörös doboz szolgál a nemkívánatos nyalábok eltakarására (3. ábra).

A 4. ábrán az összeszerelt Brewster-periszkópot láthatjuk.

Az 5. ábrán a Brewster-periszkóp működés közben figyelhető meg. Az egyes képeken a különböző szögben elforgatott korongot láthatjuk a korongon megjelenő, illetve eltűnő fényfolttal.

A fényforrásból az első üveglapra körülbelül 56° -os szögben beeső fény visszaverődő része szintén 56° -os szögben esik a 2., majd a 3. analízator-üveglapra. A 3. üveglapról az ernyőként szolgáló korongra jut a fény. Az egyes üveglapokról visszaverődő fény (nagy rész-

ben) síkban polarizált, a rezgésirány a beeső fénysugár és a beesési merőleges által kifeszített síkra (a továbbiakban beesési sík) merőleges. Így az eszközben – mivel a 2. üveglap az 1. fölött helyezkedik el – a 2. üveglapot követően a polarizáció síkja vízszintes.

Ha a 2. és 3. üveglapok beesési síkjai párhuzamosak, akkor a másodikról érkező polarizált fényt a harmadik, analízator-üveglap visszaveri és az ernyőn megjelenő fényfolt teljes intenzitással világít (0° , illetve 180° -nál, 5.a, f és j ábrák). Ha a 3. üveglapot elfordítjuk, akkor az már csak a 2. üveglap által visszavert, vízszintesen polarizált fény egy részét képes visszaverni, így az ernyőn halványabb foltot kapunk (5.b, c, e, g és i ábrák). Ha az analízator-üveglap és a 2. üveglap beesési síkjai merőlegesek egymásra, vagyis a polarizált fény rezgéssíkja párhuzamos az analízator beesési síkjára, akkor az nem veri vissza a fényt, a folt eltűnik az ernyőről (5.d és b ábrák).

Polarizáció frontális bemutatása

Ismert, hogy a TFT-képernyő polarizált fényt bocsát ki. Az elé helyezett (monitorból kiszedett) polárszűrő segítségével több kísérlet is bemutatható (6. ábra). A nagyméretű polárszűrő bizonyos kísérleteknél kiváltható 3D-s szemüveggel, ha minden tanuló számára biztosítunk egyet-egyét.

Az optikailag aktív anyagok polarizációforgató hatását befőttesüvegbe töltött cukoroldat és víz segítségével mutathatjuk be. Különböző koncentrációjú cukoroldatok készíthetők, a 2 rész kristálycukrot és 1 rész vizet tartalmazó keverék már látványosan forog. Megmutatható, hogy a keresztezett – így együttesen fényt át nem eresztő – polárszűrők közé helyezett víz, amely optikailag nem aktív, nem befolyásolja a fényintenzitást, a víz sötét lesz. Az aktív cukoroldat viszont optikailag aktív, forgatja a polarizációt, az összeállítás fényáteresztő lesz. A vízhez hasonlóan sötét cukoroldat látványához a polárszűrőt el kell fordítani (7. ábra), ilyenkor a többi rész természetesen kivi-

6. ábra. Polarizációs kísérletek bemutatása TFT-monitor és polárszűrő segítségével. (Az 59. Fizikatanári Anketon Borbély Mária készítette.)



lágosodik. A polarizációforgatás szögét az oldat méretei is befolyásolják, ez például téglalatest alakú üvegedénnyel bemutatatható.

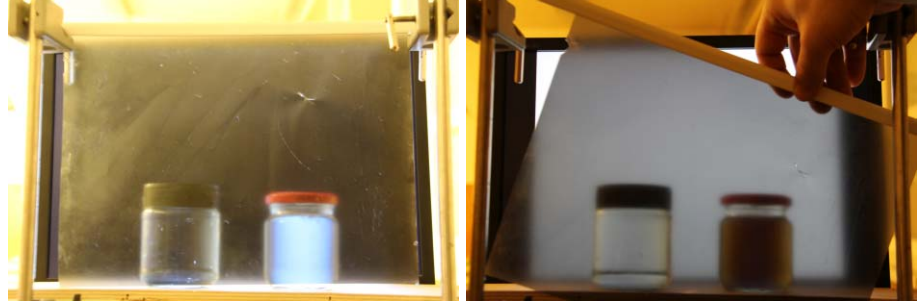
Feszültségoptikai jelenségek vizsgálata ismert a fizikatanárok körében. Az alábbiakban néhány szokatlanabb eszközt ismertetek. Meghántolt CD-ket, illetve a CD-ket védő korongot hasonlíthatunk össze a keresztezett polárszűrők között. A 8. ábrán láthatjuk a feszültségmentes CD-t, illetve a feszültségeket tartalmazó korongot. Plexi arcvédő meghajlításával az aktuálisan bevitt feszültség szemléltethető (9. ábra).

Órai kísérletezés mobiltelefonnal, 3D-s szemüveggel

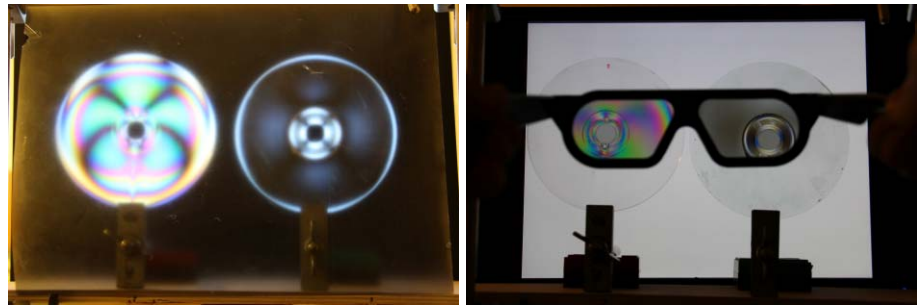
A mobiltelefon képernyője is polárszűrőt tartalmaz (a hagyományosaké is), és ott lapul a legtöbb gyerek zsebében. Az újabb képernyők esetén már nem feltétlenül lineárisan polarizált fényforrással találkozunk, de a legtöbb jelenség így is megfigyelhető.

Elsősorban feszültségoptikai jelenségeket vizsgálhatunk mobiltelefon és 3D-s szemüveg segítségével, de a polarizált fény egyszerű vizsgálata is elvégezhető. Utóbbihoz elegendő egy fehér háttérű mobilalkalmazás (szövegszerkesztő, fehér fal fényképe) és egy 3D-s szemüveg. A telefont asztalra rakva, a szemüveget pedig kézbe véve, először úgy érdemes vizsgálni, hogy a rendeltetésének megfelelő irányból nézünk a képernyő felé (ha a képernyő nem lineáris fényt bocsát ki, érdemes egy lineáris polárszűrőt közbeiktatni, lásd 10. ábra).

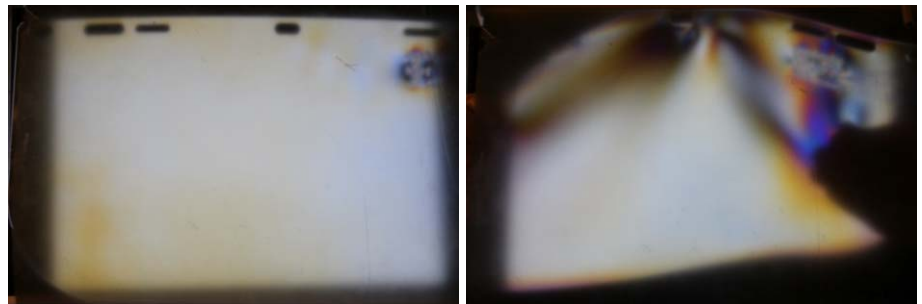
A szemüveget vízszintesen tartva és körbeforgatva azt tapasztaljuk, hogy bizonyos elfordításoknál kék, rá merőlegesen pedig barna árnyalatú lesz a szemüveglencse színe. Ebből az



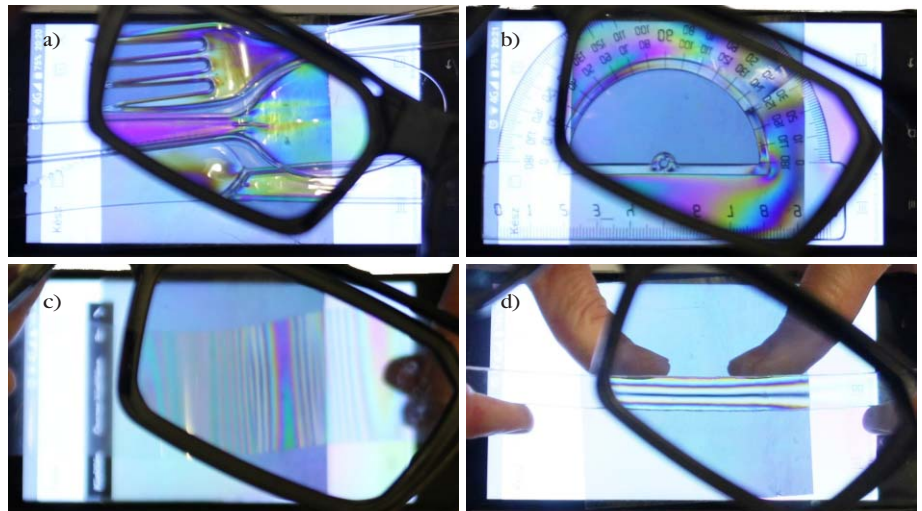
7. ábra. Víz (bal) és cukoroldat (jobb) keresztezett polárszűrők között a bal oldali képen és a polarizációs forgatás igazolása elfordított polárszűrővel a jobb oldali képen.



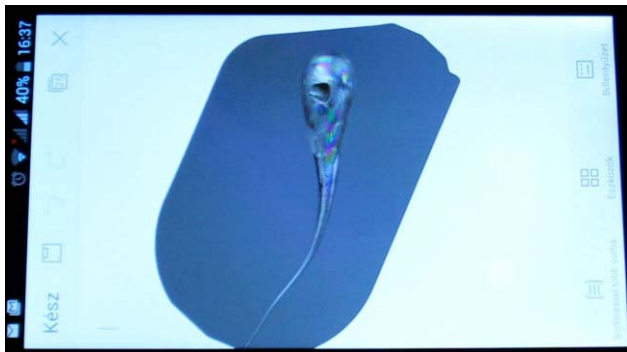
8. ábra. CD-védő korong (bal) és meghántolt CD (jobb) feszültségoptikai vizsgálata keresztezett polárszűrők közt (bal oldali fotó), illetve 3D-s szemüvegen át nézve (jobb oldali fotó).



9. ábra. Plexi arcvédő feszültségmentesen (balra) és hajlításkor keletkező feszültségekkel (jobbra).



10. ábra. Feszültségoptikai szemléltetés mobiltelefon képernyője, 3D-s szemüveg, műanyag tárgyak (a), szögmérő felhasználásával (b), valamint aktív feszültség vizsgálata írásvetítő fóliában (c) és plexiben (d), TFT-képernyőből „szerzett” polárszűrő közbeiktatásával.



11. ábra. Bolognai-cseppben lévő feszültségek kimutatása mobiltelefon és 3D-s szemüveglencse segítségével.

get (szárai lefelé mutatnak), és vízszintesen tartva újra körbeforgatjuk, akkor bizonyos elfordításoknál elsötétülést (keresztezett állás), illetve rá merőlegesen világos állapotot (azonos irányú állás) látunk. Ez esetben – a bevezetésben említetteknek megfelelően – a szemüveglencse lineáris polarizátorként viselkedik, így a hullámoptikában ismert polarizációs kísérletet végezhetjük el.

A feszültségoptikai jelenségekkel kapcsolatos kísérleteknél – a szokásos, átlátszó vonalzon túl – érdemes néhány jellegzetes műanyag tárgy (átlátszó műanyag étkezéses poharak, meghántolt CD, CD-alakú borítókörong, írásvetítőfólia-csík, plexirúd stb.) is megnézni. Az átlátszó műanyag tárgyak látványa ismert (10.a és b ábra), érdemes felhívni a figyelmet az öntési nyílás helyére és az öntési hibákra. Az írásvetítőfólia- vagy a plexicsíkot meghajlítva megjelennek a bevitt feszültség csíkjai (10.c és d ábra), és ezáltal közelebb kerülünk a műanyag tárgyakban lévő, lehűléskor keletkező feszültségek által létrehozott látvány magyarázatához.

A feszültséggel teli, viszonylag kis méretű bolognai-csepp ilyen kísérleti segédeszközökkel sokkal részletesebben vizsgálható, mint frontálisan. A bolognai-csepp² a telefonképernyőre helyezhetjük és

² A Bolognai csepp, vagy Rupert herceg cseppje egy üvegből készült csepp, ami a benne felhalmozódott feszültség miatt saját tulajdonságokkal bír. Az üvegdarab vastagabb végén rendkívüli terhelést is kibír, de ha vékonyabbik végét kisebb erőhatás éri, akkor darabokra robban. A csepp úgy készül, hogy kis mennyiségű, olvadt üveget cseppentenek hideg vízbe és hagyják megszilárdulni azt. A tárgy külső rétegei gyorsabban hűlnek le mint a belsőbb rétegek, és emiatt igen jelentős belső feszültség halmozódik fel a tárgyban, ami tartósan fenn is marad. A külső réteg a hirtelen megszilárdulás során összeszorul, kisebb térfogatú lesz, míg a belsőbb rész a lassabb lehűlés miatt nem veszít ilyen gyorsan a térfogatából, így nyomást gyakorol a külső részre. Ha a szilárd külső réteg megsérül, a tárgy belsejében lévő feszültség rendkívül gyorsan – körülbelül 7000 kilométer per óra sebességgel – talál utat magának, és a csepp szétrobban. Forrás: Wikipedia.

3D-s szemüvegen át megtekinthető az ok, hogy miért robban szét, ha letörjük a végét. A 11. ábrán egy 3D-s szemüveglencse és a telefon képernyő között láthatjuk a feszültséggel teli üvegcséppet.

Összegzés

A sokak által ismert, illetve egyedi kísérletek új köntösben használhatók a polarizáció oktatásakor órai frontális és csoportmunka keretében. Néhányuk otthoni kísérletezésre is sarkallhatja a diákokat, akik – tapasztalatom szerint – minden tárgyat szeretnek megvizsgálni. Mivel a kísérletek látványos, diákjaink nagy valószínűséggel családtagjaiknak is megmutatják.

A bemutatott és viszonylag könnyen elkészíthető Brewster-periszkóp közelebb visz a jelenség megértéséhez.

Az itt szerepelt kísérletek a <https://www.youtube.com/user/bvenczy> oldalon is megtekinthetők.

Irodalom

- Rózsa Sándor: Kísérletek pillepalackkal: Játék és tudomány – nulla forintból! *Szelíd energia fűzetek 11.*, Szelíd Energia Alapítvány, Budapest, 2010.
- <https://niif.videorium.hu/hu/recordings/404/csoadalatos-szivoszal>
- Szittyai István: *Mérőlabor a zsebben, okostelefonok a fizikában, Öveges tanár úr utódai, Fizikai kísérletek nem csak tudósoknak.* Kutatók éjszakája, 2016. szeptember 30., Ericsson K+F Központ.
- Jarosievtz Beáta: Fordulj a társadhoz! Saját eszközökkel megvalósított interaktív tanítási módszer a fizika oktatásában. *Társadalom, kulturális báltér, gazdaság, IV.* IRI Társadalomtudományi Konferencia (2016), International Research Institute s.r.o., szerk.: Karlovitz János Tibor, 396–402.
- Beáta Jarosievtz: The impact of ICT and multimedia used to flip the classrooms (Physics lectures) via Smart phones and tablets. *Proceedings of the 20th International Conference on Multimedia in Physics Teaching and Learning.* Ed.: Thomas Lars-Jochen, Girwidz Raimund (2016) 357–363.
- Härtlein Károly: Kísérletezzünk otthon! Polarizációs jelenségek, I. rész. *Fizikai Szemle 62/6* (2012) 208–209. és a kapcsolódó címkép (Kármán Tamás).
- Härtlein Károly: Kísérletezzünk otthon! Polarizációs jelenségek, II. rész. *Fizikai Szemle 62/7–8* (2012) 269.
- Márki-Zay János: *Mechanikai feszültségek szemléltetése fénypolarizáció segítségével.* Márki-Zay J., Hódmezővásárhely, 2010, 40 old.
- https://www.youtube.com/watch?v=j_ppQguGLns
- <https://youtu.be/q9XCxV8Um0w?list=PL5Hj3vRvqaXtXxmlTEFGIYwkEY48fu33b>
- https://www.youtube.com/watch?v=5BT4BMjdn_s
- <https://www.youtube.com/watch?v=JWy0QsBZgbk>
- <https://www.youtube.com/watch?v=PJHCADY-Bio>
- <https://www.youtube.com/watch?v=gP751qpm4n4>
- <http://videa.hu/videok/tudomany-technika/oveges-professzor-a-sarkított-feny-dr.-jozsef-zizyQtx6THLFFuIL>
- http://fizipedia.bme.hu/index.php/Brewster_polarizáció



**Az Eötvös Társulat
főnt van a facebook-on!**



FIZIKAI FOLYAMATOK A TERMÉSZETBEN, A TÉMA MEGJELENÉSE AZ OKTATÁSBAN

Sós Katalin

Szegedi Tudományegyetem, Juhász Gyula Pedagógusképző Kar,
Általános és Környezetfizikai Tanszék

„Az iskolát én nem az értelem tornatermének tartom, hanem az egész élet tervszerűen sűrített másának tekintem, ahol a tanuló életfokonként és rendezve kapja mindazt, ami odakinn kaotikusan veszi körül.”

Németh László

Mi az iskola legfontosabb feladata? Németh László gondolatai alapján – az *élet* bemutatása, megismertetése, magyarázata [1]. A természettudományi tárgyak célja is közös – bármilyen megközelítésből is végzik azt – az élő és élettelen természet megismertetése. Sajnos azonban a természettudományos tantárgyak „szeretete” igen csak romlott a diákok körében, erősen csökkent a reáltárgyak iránti érdeklődésük. A tantárgyi attitűdvizsgálatok mindegyike azt mutatja, hogy a fizika és a kémia a legkevésbé kedvelt tárgyak közé tartozik; valamivel jobb a földrajz és a matematika, míg igen jó a biológia megítélése [2, 3]. A fizika és kémia népszerűtlenségének oka egyrészt az, hogy a híradások elsősorban a tudományos eredmények alkalmazásának negatív következményeit hangsúlyozzák, mint például a nukleáris balesetek, vagy a túlzott kemizálás. Emellett a tudósok is erősen misztifikálják saját tudományterületüket, a nagyközönség számára is azt a speciális nyelvezetet, logikát mutatják be, amelyet munkájuk során alkalmaznak. Azonban a reáltárgyak fokozódó népszerűtlenségének oktatásmódszertani okait is meg kell említeni. A vizsgálatok részletesebb elemzése rávilágított arra, hogy a fizika iránti attitűd kialakulásában legmeghatározóbb szerepe a tanár személyének, a kapott osztályzatnak van, valamint fontos az is, milyen szerepet kap az órán a tanári, illetve a tanulói kísérlet. A természettudományok megítélésének alakulásában nagy felelősség hárul a pedagógusokra.

A diákok természettudományos motiváltságára rossz hatással van az is, hogy oktatásunk még mindig erősen vizsga- és teljesítményközpontú. Az érdeklődés kialakulását hátráltatja, hogy a tanórákon a tanuló kísérlet, az interaktivitás sokszor háttérbe szorul. Ez

nem véletlenül alakult így, hiszen a növekvő osztálylétszám, a csökkenő óraszám, a szűkös anyagi helyzet stb. miatt csak a kevésbé hatékony módszerek alkalmazására van lehetőség.

Megoldást egy új, egységes, komplex szemléletű tárgyalási és oktatási mód jelenthet, amelyben a legfontosabb feladat a tantárgyak közötti merev határok feloldása. Az eddigi zárt, kissé öncélú és leszűkített tárgyalásmódról át kell térni egy közös szemléletmódra – a tantárgyi bontottság megtartása mellett –, amelynek legfőbb feladata a természet megismertetése. A természettudományok alapja, ahogy azt már több tudós és filozófus is megállapította, a fizika; hiszen a *φύσις* szó görögül természetet jelent. Németh László megfogalmazása is ezt igazolja: „Az egyes tárgyak között világos összefüggés van. A fizika az alap, erre épül a vegytan, erre az élettan, s az élettan fölött fog kiépülni az igazi, tudományos lélektan” [4]. A fizika tantárgy jelentősége tehát óriási a természet megismerésében, a komplex szemléletű oktatás lehetősége is e tárgy területén a legnagyobb. A környezetfizika, amely elsősorban a bennünket körülvevő természeti környezet (légkör, talaj, hidroszféra) jelenségeit értelmezi, nagy szerephez jut ebben a tárgyalásmódban.

A diákok érdeklődésének növelése az első lépés a sikeresebb munkához, amihez elengedhetetlen a természet- és alkalmazásközpontú oktatás. Ne csupán száraz definíciókat, törvényeket, képleteket tanítsunk neki – bár a megalapozáshoz ezekre is szükség van –, inkább a jelenségek természeti megnyilvánulására és technikai felhasználására helyezzük a hangsúlyt. Ehhez nyújt nagy lehetőséget a természeti jelenségek tárgyalása a fizikaórákon, hiszen valamennyi természeti folyamat (akár földrajzi, akár biológiai) fizikai alapokon nyugszik. A Nemzeti alaptantervben külön *fejlesztési területként* szerepel a *fenntarthatóság, környezettudatosság*, amely nem csupán a természet, a környezet ismeretét kell jelentse, hanem a benne zajló jelenségek megértését, magyarázni tudását is, hiszen csak így van lehetőség a környezettudatosság kialakítására, az ezzel kapcsolatos elvárások megértésére. A *kulcskompetenciák* között pedig fontos szerep jut a *természettudományos és technikai kompetenciának*.

A Nat így ír a természettudományos nevelésről: „Az egyén, a közösségek és a természet harmóniájának elősegítése a nevelés-oktatásrendszerének kiemelt feladata. A kísérletezés, a megfigyelés, a természettudományos gondolkodás differenciált fejlesztése és alkalmazása, a műszaki ismeretek hétköznapi életben is használható elemeinek gyakorlati elsajátítása a Nat kiemelten fontos tartalma. Cél, hogy a természettudo-



Sós Katalin főiskolai docens 1988-ban szerzett kémia-fizika szakos középiskolai tanári diplomát a JATE-n (ma SZTE). Egy év középiskolai tanítás után került a szegedi Juhász Gyula Tanárképző Főiskola (ma SZTE JGYPK) Fizika Tanszékére. 2007-ben szerzett PhD-fokozatot *Földtudományból*. Fő kutatási területe a *Környezetfizika* és annak oktatása, valamint a fizika többi tantárggyal összehangolt tanítása. 2016-ban szerkesztésében jelent meg a *Környezetfizika* című egyetemi tankönyv.

1.táblázat

A Nat ajánlásai az egyes műveltségi területek arányaira

műveltségi terület	1–4.	5–6.	7–8.	9–10.	11–12.*
magyar nyelv és irodalom	27–40	15–22	10–15	10–15	10
idegen nyelvek	2–6	10–18	10–15	12–20	13
matematika	13–20	13–18	10–15	10–15	10
ember és társadalom	4–8	6–10	10–15	8–15	10
ember és természet	4–8	6–10	15–20	8–15	10
Földünk – környezetünk	–	2–4	4–8	5–8	–
művészetek	14–20	10–16	8–15	8–15	6
informatika	2–5	4–8	4–8	4–8	4
életvitel és gyakorlat	4–8	4–10	4–10	4–8	–
testnevelés és sport	20–25	20–25	15–20	14–20	15

* Minimális óraszám.

mány ismeretei és módszerei úgy épüljenek be a diákok gondolkodásába és tevékenységrepertoárjába, hogy előhívhatók legyenek a mindennapi problémák értelmezése és megoldása során. Az átlagosnál elmélyültebb természettudományos érdeklődés felkeltését és a tehetséggondozást a kerettantervekben megjelenő emelt óraszámú tantárgyi programok biztosítják” [5]. A problémamegoldó alkalmazás azonban csak a miértek ismeretében érhető el, ezért bármilyen jelenségről is van szó, a fizikai alapokon nyugvó magyarázat ismeretére – és főleg értésére – szükség van.

Nézzük meg a Nat ajánlását a műveltségi területek arányaira vonatkozóan (1. táblázat).

Az *Ember és természet*, valamint a *Földünk és környezetünk* műveltségi területeket az 5 korosztályra összevontan tekintve jutó együttes arány önmagában jónak mondható, de ha figyelembe vesszük, hogy ezen az arányon több tudományág is osztozik, akkor már kevésnek tűnik. Ez az arány, a hozzá tartozó óraszámokkal nem biztosít elég időt és lehetőséget a megalapozott, gyakorlat- és problémacentrikus tudás kialakítására.

A részletezett közműveltségi tartalmak hordozzák mindazokat az ismereteket, amelyekre a diákoknak szükségük van. Igen átfogó természetszemléletet biztosít, kihangsúlyozva a környezetvédelem jelentőségét, és mindazokat az alaptevékenységeket is, amelyekkel mi magunk is hozzájárulhatunk környezetünk védelméhez. Azok a technikai berendezések és működésük leírása, magyarázata is szerepel benne, amelyekkel a diákok mindennapjaikban – közvetve (erőművek) vagy közvetlenül (mobiltelefon, háztartási berendezések) – találkozhatnak. A Kerettantervi felosztásban a témához kapcsolódó tematikai egységek órászáma megfelelő. Az igazán természetközpontú oktatás azonban nem csak a kimondottan természeti vonatkozású témák tárgyalásakor jelentkezik, hanem minden jelenség, törvény tárgyalásakor kitér annak természeti, technikai megnyilvánulására. Mintegy példaként a jelenség igazolására, és ugyanakkor magyarázatként a természeti jelenségre vonatkozóan.

Erre a komplex, integrált szemléletű oktatásra azonban nincs idő.

Az ismeretszerzésen túl az is fontos, hogy a diákok a tanultakat alkalmazni tudják, és ne csak az adott tantárgyon belüli feladatok, problémák megoldására, hanem más tantárgyakban felmerülő, illetve komplex kérdések esetén is. Erre azért is nagy szükség van, mert a nemzetközi felmérésekben a magyar diákok az *alkalmazni tudás* kompetenciaterületen csak közepes eredményeket érnek el. Ez alatta marad a magyar diákoktól elvárt teljesítménynek, a

legmeglepőbb azonban az, hogy a felmérésben kimagaslóan jól teljesítő diákjaink nincsenek benne az összesített élemezőnyben. Jó eredményeket értünk el a természetmagyarázat kompetenciában; viszont a megismerés, a problémafelismerés és a bizonyítékalkalmazás kompetenciákban nem teljesítettünk jól [6]. Mindez azt igazolja, hogy az oktatás során több időt kell fordítanunk az *alkalmazd tudásod* típusú feladatok megoldására, és ezen feladatoknak életközeli-beknek, komplexebbeknek kell lenniük.

A komplex szemléletű, továbbra is tantárgyi bontottságú oktatásnak tehát elsősorban az érdeklődés felkeltése, a természet és a technika alaposabb megismertetése, valamint a tanultak hatékonyabb alkalmazni tudása a legfőbb haszna. De ezzel a módszerrel a diákok látóköre is szélesedhet, hiszen az egyik tantárgyban megismert fogalmat vagy törvényt egy másik tantárgy keretein belül, vagy akár a mindennapi életben is hasznosítani tudják. Elősegíti a fogalmi rendszerek mélyebb megismerését, a logikus gondolkodást; több aspektusból vizsgálja ugyanazt a fogalmat vagy jelenséget; analógiákra mutat rá az egyes jelenségek és vizsgálati módok között, és megteremti a szintézis lehetőségét. A komplex szemléletű oktatás során lehet legjobban alkalmazni az induktív ismeretfeldolgozási módszert. A kerettantervek szerencsére ezt a szemléletet követve már a problémafelvetésben és a fejlesztési követelményben is a gyakorlatcentrikusságot követik, sőt tartalmazzák a többi természettudományos tantárggyal való kapcsolódási pontokat is. Ezek a pontok kötik össze az egyes tantárgyakat, illetve ezeken keresztül tudnak az egyes speciális törvények, jelenségek bekapcsolódni az általános természetmagyarázatba.

A 2. táblázat erre a kapcsolódásra mutat néhány lehetőséget [7–15]. A táblázat a fizikai fogalmakhoz természeti jelenségeket, technikai alkalmazásokat, egészség- és környezetvédelmi megnyilvánulásokat rendel hozzá. A *természeti jelenségekkel* való párhuzamba hozás az egységes természetszemléleten túl erős kapcsolódást jelent a földrajz és biológia tan-

A fizikai fogalmak természeti, technika, környezetvédelmi vonatkozásai

fizikai fogalom	természeti és technikai kapcsolódás • egészség- és környezetvédelmi vonatkozás
sebesség, gyorsulás	állatok mozgása, kőzetlemezek mozgása • biológiai és kémiai folyamatok sebessége • gravitációs gyorsulások a különböző égitesteken • extrém nagy gyorsulások hatása az élő szervezetre
periodikus mozgások, hang	égitestek mozgása, földrengéshullámok, tengerhullámok • élőlények hangadása (tücsök, sáska, cincér, kabóca, halak) • élőlények hangérzékelése (delfin, denevér) • élőlények térbeli tájékozódása, egyensúlyérzékelése, perisztaltikus mozgások, szívdobogás, fonendoszkóp • ultrahang és felhasználása, infrahangok és káros hatásai, infrahangforrások • a zaj és hatásai, zajárnyékolási lehetőségek
ütközések, lendület	kőzetlemezek, kozmikus testek ütközése, medúza mozgása • sporteszközök, közlekedési balesetek
nyomás, légnyomás, hidrosztatikai nyomás, úszás	légáramlatok, a mennydörgés kialakulása • vérkeringés, keszonbetegség, frontérzékenység • a permetező, a túlnyomásos palackok működése • gázrobbanások, robbantások, lökéshullámok • talajvíz mozgása, szilárd kőzetburok úszása • vízi élőlények mozgása, repülés • szemnyomás • természetes vizek rétegződése • hidraulikai berendezések, vízhálózatok, kutak, öntöző berendezések, olajfűtőtornyok, vizek olajszennyezése, gátszakadások • tűzoltás olajok esetén • cseppentő, pipetta, fecskendő
áramlások	légáramlatok, tengeri áramlatok, örvények • véráram, egyensúly-érzékelés félkörös ívjárral • porlasztó, öntözőberendezések, szélérőművek, vízierőművek • mozgó járművek körüli szívó hatás
kapillaritás, felületi feszültség	talajtípusok, talajvíz, talajművelés • madarak tollazata, vízimolnárika • nedvszívó anyagok, épületek vizesedése • írás tintával, habképző anyagok
diffúzió, ozmózis, viszkozitás	légzés, sejtlégzés, növények vízfelvétele, sejtek vízforgalma, öntözés • tápanyagok felszívódása • infúziós oldatok, szem, láb stb. duzzanata, borogatások • sós ételek hatása, tartósítás sóval, a só élettani jelentősége • dialízis, ivóvízgyártás fordított ozmózissal
viszkozitás	magma viszkozitása, vér viszkozitása • izületi folyadék, kocsonyásodás • motorolajok, kenőanyagok, kötőanyagok • ételek sűrítése, állaga, köhögés elleni szerek • ragasztók, festékek, tisztítószerek viszkozitása
tömegvonzási erő	esőcseppek mozgása, jégeső és kivéde • bolygók mozgása, bolygók légköre, árapályjelenség • üledékek lerakódása • ásványi lelőhelyek felkutatása, mesterséges holdak (GPS)
rugalmas erő	az izomerő → élőlények mozgása • a kovalens kötés • sporteszközök, lengéscsillapítók, lökhárítók, mechanikus mérlegek
Coulomb-erő	atommag-elektron kölcsönhatás, kémiai kötések • fénymásoló, elektrosztatikus portalanítók, szűrők • részecskegyorsítók
sűrűdési erő, közegellenállási erő	kőzetlemezek sűrűdése, járás (gekkó) • folyómeder kopása, repülés, esőcseppek mozgása • elhalt hámréteg hámlása • hőtermelés sűrűdés következtében (gyufa), energiaveszteségek, kenőanyagok, a kerék jelentősége, ízületek kopása • járművek fékezése, járművek alakja • szennyező részecskék ülepedése
centrifugális erő (Coriolis-erő)	a Föld alakja, földi légkörzések iránya • jobb (bal) oldali folyómeder erősebb eróziója • szabadon eső test eltérülése • centrifugák működése

tárggyal. A *technikai alkalmazások* tárgyalása az érdeklődés felkeltése miatt is jelentős, de a tudományok hétköznapi életben való megjelenését, és – ezáltal – emberközelibbé válását is elősegíti. Az *egészségvédelmi vonatkozások* megemlítése egyrészt a biológia tantárggyal való kapcsolódást teszi lehetővé, másrészt rávilágít arra, hogy az élővilágban és saját testünkben is, ugyanazok az alapvető fizikai törvények érvényesülnek, mint az élettelen világban. A *környezetvédelmi vonatkozások* nagyon fontosak a környezettudatos magatartás kialakításában, és felhívják a figyelmet arra, hogy a környezetvédelem nem csupán egy „életérzés”, ezen a területen megalapozott ismeretek nélkül, elhamarkodottan nem lehet sem nyilatkozni, sem cselekedni.

A felsorolt példák is mutatják: a természetben és a technikai életben azonos elven alapuló folyamatok léteznek. Sok olyan emberi találmány van, amely a természet megoldásait adaptálja [16]. A diákok figyelmét mindenképpen fel kell hívni erre a párhuzamra, hiszen ezzel nem csak a természet egyetemességét, a fizikai jelenségek élővilágban való megnyilvánulását hangsúlyozzuk, hanem a technikai találmányokat is emberközelibbé, érthetőbbé tudjuk tenni. A 3. táblázat néhány ilyen természeti-technikai analógiát mutat be.

Milyen módszerekkel lehet megvalósítani a természetközponitű fizikaoktatást? Az alap, hogy az egyes fizikai fogalmak, jelenségek tárgyalásakor térjünk ki azok földrajzi, biológiai és kémiai vonatkozásaira. Emellett nagyon fontos, hogy a klasszikus feldolgozási módok mellett (amelyek sokszor hatékonyak és célravezetőek) alkalmazzuk azokat az új szemléletű módszereket is, amelyek önállóbb munkára, a technikai eszközök fokozottabb alkalmazására alapoznak, amelyek komplexebb gondolkodás- és látásmódot igényelnek, és ez által nagyobb motiváltságot, gyakorlatiasabb tudást biztosítanak [17]. Erre jó példa a *kutatás alapú oktatás*, amely során akár egyé-

ni, akár csoportmunkában egy-egy környezeti fizikai jellemző mérésére lehet megvalósítási ötletet összegyűjteni, esetleg a mérést megvalósítani [18]. Akár általános iskolában is felvethetőek például a következő mérési feladatok:

- a víz iontartalmának mérése,
- a levegő nedvességtartalmának mérése,
- talajminták hőszigetelésének mérése,
- folyóvíz áramlási sebességének mérése,
- talajvíz áramlási sebességének mérése,
- mágneses tér kimutatása és mérése.

A fizikai fogalmak természeti, technika, környezetvédelmi vonatkozásai

fizikai fogalom	természeti és technikai kapcsolódás • egészség- és környezetvédelmi vonatkozás
hőtágulás	légtér mozgások, kőzetaprózódás • a bőr összehúzódása hidegben (libabőr), erek kitágulása • sínek, vezetékek, hidak hőtágulása
halmazállapot-változások	földmag halmazállapota, kőzetolvadékok • fagyás feszítő hatása, csapadékképződés, szikesezés • élőlények hőháztartása, élőlények testméretei és az éghajlat • hűtőgép, hűszivattyú, védekezés a fagyhatás ellen, korcsolya • kőolaj-feldolgozás, desztillálás • a szélsőséges hőmérsékletek hatása az emberi szervezetre (hypothermia, hóguta, napszúrás, fagyási és égési sérülések)
fajhő	a víz éghajlat-módosító hatása, part menti szelek kialakulása • a víz alkalmazása hűtőközegként
hőáramlás	az asztenoszféra áramlása, termik, légmozgások • óceáni áramlatok, a vér mint hőközvetítő közeg • fűtőrendszerek működése (központi fűtés, kémények) • tökéletlen égés, kéményhatás
hősugárzás	napsugárzás, a földfelszín és a légkör felmelegedése • üvegházhatás • hőképek orvosi, ipari alkalmazása, épületek hőképe, napkollektorok • a napsugárzás hatása az élőlényekre
hővezetés	a jég, a talaj mint hőszigetelő • állatok zsírrétege, bundája, tollazata • hőszigetelési lehetőségek • öltözködés, energiatakarékosság
elektromos és mágneses jelenségek	égitestek, kőzetek mágnessége, a magnetoszféra és jelentősége • légtér elektromosság, élőlények mágneses érzékelése • bioáramok és jelentőségük, membránpotenciál • elektromos élőlények • az elektromos áram biológiai hatása és orvosi alkalmazása, EKG, EEG, röntgensugárzás, CT, NMR • érintésvédelem, szigetelések • rádióhullámok, mikrohullám, radar, mobiltelefonok • az elektromágneses hullámok hatása az élő szervezetre • az ózonréteg védőhatása és fogyása • az ózon mint káros vegyi anyag
fény	fénytani jelenségek a természetben • különböző élőlények látása • a fény és a színek biológiai fontossága, fotoszintézis • madarak, rovarok színe, lepkeszárnyak színhatása • a lóvóhal, a halászó gázlómadarak és a fénytörés • világító állatok (szentjánosbogár, egyes mélytengeri élőlények) • lézerek és alkalmazásaik, száloptika, endoszkópia • fénymásolók, nyomtatók, CD, DVD, monitorok • napelemek • UV-sugárzás és hatásai • hologram
atom- és magfizika, radioaktivitás	a Föld belső hője • természetes radioaktív háttérsugárzás • élőlények saját sugárterhelése • radioaktív kormeghatározás • a Nap hőtermelése • fúziós reaktor – Nap • izotópdiaгностика, PET, terápiás lehetőségek izotópokkal • épületeink radioaktivitása, radioaktív hulladékok • atomipari balesetek

- Az alsólégköri ózonmenyiség miért nagyobb a kis-településeken, mint a nagyvárosokban?

De a számolási feladatok körébe is bevonhatók a természeti jelenségek vagy a környezetvédelem. A földrajz tantárgy sok olyan számítási feladattal foglalkozik, amelyek átnyúlnak a fizika és természetesen a matematika területére; ezek az érettségi feladatok között is szerepelnek (hosszúsági és szélességi fok-, zónaidő-, látószög-, légnyomás-, páratartalom-, hőmérséklet-, vízmennyiség-, demográfiai számítás) [19]. De szerepelhetnek a fizikaórákon is földrajzi jellegű számítások, mint például:

- porszemcsék, esőcseppek mozgása,
- csillagok, bolygók felszíni hőmérséklete,
- artézi kút működése, milyen magasra vihető fel a kútból a víz,
- nehézségi gyorsulás az egyes szélességi körökön,
- víz fagyásakor fellépő feszítőerő,
- felemelkedő légtömeg hőmérsékleti gradiense,
- üvegházhatás energiamérlege,
- kőzetlemezek ütközésekor fellépő erő,

Ismert, hogy az okostelefonok már több mérési funkcióval rendelkezhetnek, akár az előbb felsorolt vizsgálatokra vonatkozóan is. A készülék nyújtotta segítséggel végezhetünk méréseket, kutatásokat az iskolában, otthon, terepen; de a „hogyan működik” kérdést mindig tegyük fel!

Ugyancsak hatékonyan alkalmazható a *probléma alapú oktatás*, amelyben egy-egy természeti jelenségre vagy érdekességre keressük a választ, akár egyéni vagy csoportmunkában, akár tanórai közös megbeszélés formájában. Ilyen megválaszolható problémák lehetnek:

- Mi okozza az égitestek mágnességét? Miért következik be, és milyen következményekkel járhat a földi mágnesség megszűnése?
- Milyen módszerekkel lehet előjelezni a vulkánokat, a földrengéseket, a viharokat?
- Mi okozza a vulkánoknál a kőzetek megolvadását?
- Hogyan alakul ki a mennydörgés? Ha nem halljuk, miért nem?
- Miért a sarkok felett nagyobb az ózonkoncentráció és nem az Egyenlítőnél?

- élet a magas hegyeken (olvadáspont, hangsebesség, fénysebesség, légnyomás, nehézségi gyorsulás stb. változása),
- talaj, víz, levegő aktivitáskoncentrációja,
- kőzetek radioaktív hőtermelése.

Az igazán komplex szemléletű oktatást az jelenti, ha nem csak a reáltudományok fonódnak össze, hanem a humán- és reáltárgyak. Erre ad lehetőséget például a tudománytörténet, egy-egy felfedezés és találmány történelmi korban való elhelyezése, esetleg az adott időszakra jellemző művészeti alkotások bemutatása – amelyekben fellelhetők a kor technikai szintjének jellemzői. Az építészeti eljárások fejlődése például nagyon jó követője a kor anyagtudományi, statikai stb. fejlettségi szintjének, csakúgy, mint a hadászati, közlekedési technológia. A képzőművészeti, vagy akár az irodalmi alkotásokban felbukkanó fizikai, kémiai vonatkozás színfoltot jelent a reálérdeklődésűeknek, az inkább humán beállítottságú diákokhoz pedig közelebb hozhatja az amúgy „nem szeretett” reáltárgyakat. A művészetek és a tudományok szoros kapcsolatára jó

3. táblázat

Természeti és technikai analógiák	
természet	technika
madarak, halak	repülő, hajók
vízipók	búvárharang
bogáncs	tépőzár
lótuszlevél	lepergető bevonatok
jegesmedve bundája	vízhatlan szövetek
medúza	rakétameghajtás, egyensúlyozás
gejzír	kávéfőző
rovarok járása	lépegető erőgép
hernyó	lánctalp
delfin bőre	torpedók bevonata
pitypang	ejtőernyő
elefántfül	hőleadó felületek
fülkagyló, dobhártya	amfiteátrum, mikrofon
gekkó	„nanopad”
térdkalács	állócsiga, protézisek

példát mutathatunk például *Leonardo* és *Dürer* munkásságán keresztül. A sport és a fizika köteléke nyilvánvaló, és mindenképpen nagy lehetőséget rejt magában az érdeklődés növelése terén.

Az itt felsorolt példák és lehetőségek csak ízelítőt adnak ahhoz, miként tehetjük oktatásunkat nyitottabbá, életközelibbé, érdekesebbé azáltal, hogy a merev tantárgyi határokat feloldjuk, és párhuzamot keresünk a különböző tudományterületek között. Németh László szerint – aki elsőként foglalkozott az integrált szemléletű oktatás lehetőségével, sőt azt a gyakorlatban is megvalósította 1945–1948 között a hőmezőv-

sárhelyi Bethlen Gábor Gimnáziumban – az elaprózott tanulás a tanulás és a tudás szenvedélyét is elaprózza. Ezt a szenvedélyt kell nekünk, pedagógusoknak újraélesztenünk, hogy a természettudományi ismeretek jelentősége és társadalmi megítélése újra fellendüljön napjainkban.

Irodalom

1. Németh L.: *Pedagógiai írók*. Kriterion Kiadó, Bukarest, 1980.
2. Papp K., Józsa K.: Legkevésbé a fizikát szeretik a diákok? *Fizikai Szemle* 50/2 (2000) 61.
3. Papp K.: Ami a számszerű eredmények mögött van. *Fizikai Szemle* 51/1 (2001) 26.
4. Németh L.: *Életmű szilánkokban*. Magvető és Szépirodalmi Könyvkiadó, Budapest, 1989.
5. Nemzeti alaptanterv 2012. *Magyar Közöny* 2012. évi 66. szám
6. http://oecd-pisa.hu/pisa_2006.php (2008. 10. 28.)
7. Sós K., Nánai L.: A fizika szerepe a természettudományok oktatásában. *A fizika tanítása* 17/2 (2009).
8. Jakucs L.: *Természetföldrajz*. Mozaik Oktatási Stúdió, Szeged, 1995.
9. Rontó Gy., Tarján I.: *A biofizika alapjai*. Semmelweis Kiadó, Budapest, 1999.
10. Kémia, fizika, biológia és földrajz tankönyvek.
11. *Környezetvédelmi Lexikon I. II.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 1993.
12. Bonifert D.-né, Vaizer E.: Fizika és környezetvédelem. *A fizika tanítása* 5/5 (1997)
13. Simon T.: *Csillagászat, természetföldrajz*. A Pedagógus Szakma Megújítása Projekt kiadása, Budapest, 1994.
14. Sós K., Bálint Á., Nánai L., Dóka O., Német B., Papp Z., Ujfaludi L., Varga K.: *Környezetfizika*. Szegedi Egyetemi Kiadó JGYFK, Szeged, 2016.
15. Kedves F.: *Fizika az élővilágban*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1998.
16. Dömötör Cs.: Csak természetesen! *Műszaki Szemle* (2008) Különszám, 120.
17. Papp K., Nagy A.: Public relation és a fizikatanítás – avagy hogyan tegyük vonzóvá a fizikatanítást. *Fizikai Szemle* 57/1 (2007) 18.
18. Radnóti K. (szerk.): *A természettudomány tanítása*. Mozaik Kiadó, Szeged, 2014.
19. Unger J., Horváth J., Sümegey Z.: *Földtudományi és földrajzi számítási feladatok*. Szegedi Egyetemi Kiadó, 2010.

HÍREK – ESEMÉNYEK

NOBEL-DÍJAS (BÁR CSUPÁN IG-) ÍRÁS A SZEMLÉBEN

– egy hír, amellyel meg kellett várni az áprilist

Egy kilenc fős magyar, spanyol, svéd és svájci kutatócsoport (*1. ábra*) kapta 2016-ban a fizikai IgNobel-díjat két cikkükért. Az egyik tanulmány arról szól, hogy miért vonzódnak egyes szitakötők a temetői fekete sírkövekhez [1], míg a másik dolgozat a fehér lovak elenyésző bögölyvonzásáról számol be [2]. Az utóbbi cikk magyar változatát a *Fizikai Szemle* közölte, címlapján a magyar pej csodalóval, *Overdose*-zal [3]. A lovas-bögölyös cikk eredményeit többek között a *Nature*

magazin is méltatta [4]. A fehér lovak és zebrák minimális bögölyvonzásának fölfedezését *Sir David Attenborough* is megemlítette a *Natural Curiosities* filmsorozata zebrákról szóló epizódjában, amelyben egy szokolyai terepkiérletben használt ragacsos ló- és zebramakettekről készített fényképeket is bemutatta.

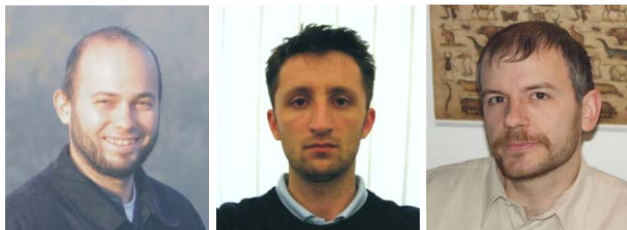
Az IgNobel-díjat (*ignoble*, angol: nem nemesi származású, alantás) évente, immár 26. alkalommal olyan kutatásokért adják, amelyek először mosolyt fakasztá-



Horváth Gábor

Kriska György

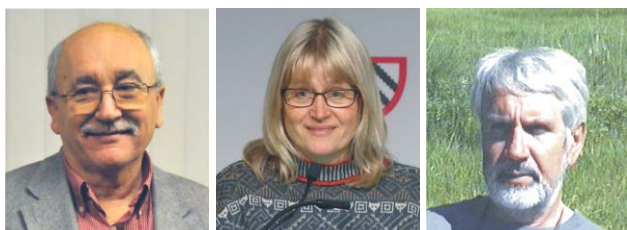
Malik Péter



Hegedüs Ramón

Blahó Miklós

Gerics Balázs



Farkas Róbert

Susanne Åkesson

Hansruedi Wildermuth

1. ábra. A 2016. évi fizikai IgNobel-díjasok.

nak, majd gondolkozásra készítenek. Az IgNobel Bizottság célja, hogy minél több ember érdeklődését fölkeltse a természettudomány, a medicina és a technológia iránt. E díjat *Marc Abrahams*, az *Annals of*

3. ábra. A fénypolarizációs elven működő TabaNOid® csapdacsalád két különböző bögölycsapdája.



2. ábra. Ennek csak a tizede, mintegy 1000 forintnyi, 10 billió zimbabwei dollár volt a jutalom.

Improbable Research tudományos (vice)folyóirat szerkesztője alapította az amerikai Massachusetts állambeli Cambridge-ben.

A fizikai IgNobel-díjat a 2016. szeptember 22-én cambridge-i Harvard Egyetem Sanders Színházában tartott ceremónián – társszerzői képviseletében – a lundi *Susanne Åkesson* vette át (nem Ig) Nobel-díjasoktól. A humorral átszótt átadó ünnepségen a díjazottak 10 billió zimbabwei dollárt (2. ábra) is kaptak, ami 4 amerikai dollárt, mintegy ezer forintot ér.

A díjazott cikkek tudományos folytatásaként a szerzők fölfedezték a poláros fényszennyezés jelenségét, valamint egy kísérletileg is igazolt új magyarázatát adták a zebracsíkok biológiai hasznának. Európai Unió kutatás-fejlesztési támogatással a szerzők kifejlesztették a fénypolarizációs elven működő bögölycsapdákat (3. ábra), továbbá lovas kellékeket gyártó cégek piacra dobták a vérszívó bögölyök ellen tökéletes védelmet nyújtó zebracsíkos lóruhákat (4. ábra).

Irodalom

1. Horváth G., Malik P., Kriska G., Wildermuth H., *Freshwater Biology* 52 (2007) 1700–1709.
2. Horváth G., Blahó M., Kriska G., Hegedüs R., Gerics B., Farkas R., Åkesson S., *Proceedings of the Royal Society B* 277 (2010) 1643–1650.
3. Blahó M., Horváth G., Hegedüs R., Kriska Gy., Gerics B., Farkas R., Åkesson S., *Fizikai Szemle* 60 (2010) 145–155. + címlap
4. Research Highlights – Ecology: Why horses wear white. *Nature* 463/7283 (2010) 852., doi:10.1038/463852b

4. ábra. Sötét színű lovakra ajánlott, bögölyök ellen védő, zebracsíkos lóruha.



FROM TEACHERS
FOR TEACHERS



2017. JÚNIUS 29. – JÚLIUS 2.

INVENTING THE FUTURE OF SCIENCE EDUCATION

SCIENCE ON STAGE FESZTIVÁL 2017, DEBRECEN

Több mint 400 európai és néhány Európán kívüli tanár jön mintegy 300 projekttel Debrecenbe, a Kölcsey Központba a jubileumi, tizedik Science on Stage Europe fesztiválra, hogy kiállításon, műhelyeken, illetve színpadi előadásokon bemutassák egymásnak leginnovatívabb módszereiket, amelyekkel a természet-tudományos tárgyakhoz csinálnak kedvet a fiataloknak. A nagyközönség a Nyílt Napon tekintheti meg a fesztivált. További információk magyar nyelven: <http://szinpadon-a-tudomany.hu> és angolul: <http://sons2017.eu>

SCIENCE ON STAGE 2017
DEBRECEN

THE EUROPEAN NETWORK OF SCIENCE TEACHERS

SZERVEZŐK:

