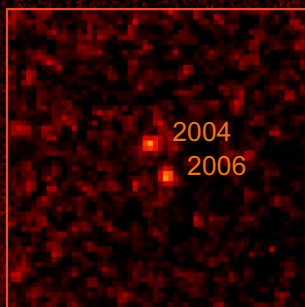


fizikai szemle

2019/10



EÖTVÖS LORÁND MŰSZEREI AZ EMLÉKGYŰJTEMÉNYBEN – 5.

Mágneses transzlatométer

Idézve *Eötvös Lorándot*: „feladatúl tűztem ki magamnak a földi mágneses erő térbeli változásait teljességükben mérhetőkké tenni, olyan értelemben, mint az nekem a nehézségre vonatkozólag sikerült”, illetve „ezen vízszintes erő-összetevők lemérésére egy, a Coulomb-féle mérleg elvére alapított eszközt használok, melyet mágneses transzlatometernek neveztem el”. Az elnevezés feltehetően onnan ered, hogy a mágneses tér helyi változásai miatt egy mágneses anyagra (mágneses momentumra) ható erőt Eötvös idejében „translatorius erőnek” nevezték.

Eötvös Loránd a gravitációs tér helyi változásainak mérésére alkotott ingához hasonló ingát fejlesztett ki, amellyel a különféle anyagok mágneses momentumát lehetett kimérni. E műszer abban különbözik a torziós ingától, hogy a lelógó súly helyén egy rúd mágnes függ, amelynek vízszintessel bezárt szögét változtatni lehet, továbbá a mágneses transzlatométert nem a mérőszál, hanem a mágneset tartó szál körül kell forgatni. Az első, 1891-es műszer továbbfejlesztett változata 1898-ban készült el. Eötvös nagy érzékenyséű eszközével régi téglák, agyagedények és kőzetek lehűlésekor megmaradt mágneses tér irányát és nagyságát kimérve a földmágnesség korabeli inklinációjára következtetett, megalapozva a hazai paleomágnesség-kutatást. (Fotó: Kármán Tamás)

Cserti József



Eötvös Loránd Emlékgyűjtemény
Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat
1145 Budapest, Columbus utca 17–23.
telefon: 06-1-2524999
e-mail: muzeum@mbfsz.hu
web: <https://mbfsz.gov.hu/kiallitasok/eotvos-lorand-emlekgyujtemeny>



DÍJAK

Jelen lapszámunkban részletesen beszámolunk az augusztusban Sopronban megrendezett XXX. Magyar Fizikus Vándorgyűlésről, ahol a hagyományoknak megfelelően átadták az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 2019 évi kitüntetéseit és díjait, köztük a Fizikai Szemle Nívódíjait. Évente legfeljebb 2 nívódíj adható ki a Szemle Szerkesztőbizottságának a javaslata alapján: egy a fizika új eredményeit bemutató vagy fizikatörténeti témájú és egy, a fizika tanításával foglalkozó, előző évben megjelent írásért. Idén *Horváth Dezső* és szerzőtársa *Trócsányi Zoltán*, illetve a tanári kategóriában *Szabó László Attila* kapta a díjat.

Szeptember végén érkezett az örömteli hír az American Physical Society-től, hogy *Vicsek Tamás* akadémikusnak, az ELTE professzor emeritusának ítelték oda a 2020. évi Lars Onsager-díjat. Ezen elismerést két amerikai kutatótársával, *John Tonerrel* és *Yuhai Tuval* együtt kapta „azokért az alapvető kutatási eredményekért, amelyek a csoportos mozgás elméletének kidolgozásával megalapozták az aktív anyagokra vonatkozó tudományterület létrejöttét és fejlődését, és ezáltal rávilágítottak a statisztikus fizika centrális szerepére az élő rendszerekben lejátszódó önszerveződő folyamatok megértésében”. A díjat 1995 óta évente ítelik oda, elsősorban az elméleti statisztikus fizika területén elért kiemelkedő jelentőségű tudományos eredményekért. *Vicsek* professzor munkásságának bemutatására az ELTE általa alapított Biológiai Fizika Tanszékének három fiatal munkatársát kértük fel, akik maguk is részt vesznek a csoportos mozgások vizsgálatában. Érdekes, helyenként – érthetően – személyes hangvételű írásuk a 343. oldalon kezdődik.

A Svéd Királyi Tudományos Akadémia október 8-án jelentette be, hogy idén *James Peeblesnek*, illetve *Michel Mayor*nak és *Didier Queloz*-nak ítelték oda a fizikai Nobel-díjat. Az indoklás szerint a díjazottak eredményeikkel az Univerzum evolúciójának, szerkezetének, illetve a Világegyetemben elfoglalt helyünk alaposabb megértéséhez járultak hozzá. *Peebles* a fizikai kozmológiában ért el jelentős elméleti felfedezéseket, *Mayor* és *Queloz* pedig olyan exobolygót azonosítottak, amely egy Naphoz hasonló csillag körül kering, címképünkkel nekik tisztelgünk. A díjak háttérének ismertetésére a két terület kiváló hazai szakértőit kértük fel, írásuk majd a következő, novemberi számban jelenik meg.

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:
Lendvai János

Szerkesztőbizottság:

Bencze Gyula, **Bíró László Péter**,
Czitrovsky Aladár, **Füstöss László**,
Gyürky György, **Hebling János**,
Horváth Dezső, **Horváth Gábor**,
Iglói Ferenc, **Kiss Ádám**, **Koppa Pál**,
Ormos Pál, **Papp Katalin**, **Simon Ferenc**,
Simon Péter, **Sükösd Csaba**,
Szabados László, **Szabó Gábor**,
Takács Gábor, **Trócsányi Zoltán**,
Ujvári Sándor

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:

A 25 fényévre levő Fomalhaut (a Déli Hal csillagkép legfényesebb csillaga) körül keringő Fomalhaut b exobolygó közvetlen képfeltárással is látható (a kis négyzetben). A bolygó két évnnyi elmozdulása a kiemelt képen követhető. A csillag ki van takarva, hogy az őt övező törmelékcorong és a halvány bolygó előtűnjön. (Balra fent egy távoli háttércsillag vetül a képre.) Forrás: NASA, ESA, P. Kalas, J. Graham, E. Chiang, E. Kite (UC Berkeley), M. Clampin (GSFC), M. Fitzgerald (LLNL), K. Stapelfeldt, J. Krist (JPL).

A hátsó borítón:

A megújult Standard modell-poszter (hamarosan letölthető a honlapról).

Lendvai János: Díjak	329
Radnai Gyula: Hogyan kezdte tanítani Eötvös Loránd a fizikát? 2. rész – Általános Kísérleti Természettan A kezdő egyetemi oktató Eötvös 1880/81-es tanévben tartott előadásai alapján készült jegyzet áttekintése.	331
Vidovszky István: Az atomreaktorok fajtái A felhasználás alapján megkülönböztetett négy reaktortípus ismertetése.	340
Vásárbelyi Gábor, Nagy Máté, Zafeiris Anna: Lars Onsager-díj – 2020 Vicsek professzor tanítványai az Onsager-díjjal jutalmazott munkásságról.	343
Tóth Miklós: Az atomnál kisebb méretű részecskék összefoglaló rendszerezése A szubatomi részecskék összefoglaló, táblázatos áttekintése.	345
SiPM-teszteléssel a pontosabb mérésért Beszélgetés Ujvári Balázssal szilícium alapú fotonszámológó minősítéséről, a National Instruments laboratóriuma adta lehetőségekről.	348
A FIZIKA TANÍTÁSA	
Lendvai Dorottya, Czövek Márton, Forrás Bence: Beteges kertecske Egy gyümölcsöskert fáit károsító fertőző betegség terjedésének modellje a tanulók számára is érdekes.	352
Vannay László, Fülöp Ferenc: A 2018. évi Fizika OKTV harmadik fordulója az első kategória részére Két kísérleti feladat ismertetése és a tanulságok.	357
Hasznosi Tamásné: Sasszárnyakon a fizika népszerűsítéséért A sashalmi Sas Elemér Kerületi Fizika Csapatverseny-sorozatáról.	361
HÍREK – ESEMÉNYEK	
Sólyom Jenő: XXX. Magyar Fizikus Vándorgyűlés	363
A Társulat 2019. évi kitüntetései és tudományos díjai	364

J. Lendvai: Awards

Gy. Radnai: How Roland Eötvös started his university lectures in physics?
– Part 2

I. Vidovszky: Different types of nuclear reactors

G. Vásárbelyi, M. Nagy, A. Zafeiris: 2020 Lars Onsager prize awarded to Tamás Vicsek

M. Tóth: Survey of subatomic particles

SiPM test for more precise measurements – an interview with B. Ujvári

TEACHING PHYSICS

D. Lendvai, M. Czövek, B. Forrás: Sick garden

L. Vannay, F. Fülöp: Third round of the 2018 National Secondary School Physics Competition

T. Hasznosi: The Elemér Sas physics competition series

EVENTS

J. Sólyom: The 30th triennial meeting of Hungarian physicists

Awards of the Eötvös Society



HOGYAN KEZDTE TANÍTANI EÖTVÖS LORÁND

A FIZIKÁT? – 2., befejező rész

Általános Kísérleti Természettan

Radnai Gyula
ELTE Fizikai Intézet

Akár szimbolikusan is tekinthetnénk, hogy az idei „Eötvös-évet” megelőző évben, mintegy nyitányként bukkant fel egy több mint 700 oldalas, kézírásos, litografált kiadvány talán utolsó, megmaradt példánya, az egykori első éves egyetemi hallgatók számára, Eötvös Loránd egyetemi előadása alapján készült jegyzet.¹

Címe:

Általános Kísérleti Természettan.

Méltóságos Dr. B. Eötvös Lóránd egyetemi tanár úr előadásai nyomán. (1880/81-dik tanévben.)

Előző, szeptemberi számunkban áttekintettük *Eötvös Loránd* fiatalkori éveit, amikor – három, egymást követő tanévben – a fenti címmel hirdette meg két féléves, heti 5 órás előadását az egyetemen. Most az ennek alapján készült jegyzetet fogjuk áttekinteni.

Eötvös Loránd a fizikát Heidelbergben *Gustav Kirchhoff*tól és *Hermann Helmholtz*tól tanulta, az ő előadásaiából, valamint Kirchhoff laboratóriumában szerette meg, sajátította el a fizikát. Königsbergben egy félévig *Franz Neumann* előadását hallgatta és az ő laborjába Kirchhoff tanácsára járt, aki maga is Neumann tanítványa volt annak idején Königsbergben. Neumann éppen 50 évvel volt idősebb Eötvösnél, Kirchhoff és Helmholtz életkora pedig kettőjük közé, majdnem középre esett. Ez három generáció, de hogy még érdekesebb legyen az összehasonlítás, volt egy korban Neumannhoz illő másik fizikus, *Wilhelm Weber*, akit pedig fiatal korában nem kisebb tudós vett maga mellé és fogadott el egyenrangú partnernek, mint a matematikusok fejedelme, *Carl Friedrich Gauss*. Közös kutatásuk eredménye az egyvezetékes távíró feltalálása, de a fizikai mértékrendszerek felállítására is nagyrészt hozzájuk köthető. Weber jelölte először *c*-vel az elektrosztatikus és az áramra alapozó elektromágneses töltésegység hányadosát, és

mérte meg ennek értékét *Koblrausch* segítségével 1852-ben. Évekkel később *Maxwell* hívta fel a figyelmet arra, hogy ez pedig egyenlő a fénysebesség mért értékével!

Az elektromosság és az optika fejlődésében különösen érdekes az az út, amely elvezetett Gausstól Weberhez és Neumannhoz, tőlük Kirchhoffhoz és Helmholtzhoz, tőlük pedig Eötvöshöz, s a vele együtt Heidelbergben tanuló diákokhoz, például a későbbi manchesteri híres kísérleti fizikushoz, *Arthur Schuster*hez, vagy a viszonylag fiatalon elhunyt hazai fizikatörténészhez, *Heller Ágost*hoz. De ne szaladjunk annyira előre, kezdjük az első félév tananyagával, a mechanikával és a hőtannal, de mindenekeelőtt a *Bevezetéssel*.

◆

A *Bevezetésben* Eötvös megfogalmazza: „Ha az összes természettudományok célját akarjuk kifejezni, ezek célja nem egyéb, mint a természetet megismerni és megérteni. E két utóbbi szóban a sorrend is benn van, mert a megismerés a megértést mindig meg fogja előzni.” Ezzel azonnal állást foglal a kísérleti természettudományok mellett, szembehelyezkedve azokkal a régi görög filozófiai nézetekkel, amelyek lebecsülték a tapasztalati kutatást. Később így folytatja: „A physikai tudományoknak a többi természettudományok felett még más előnye is van, mert míg a többi természettudós csak úgy képes a természetet vizsgálni, ha az előttük áll, addig a physikus az illető körülményeket, melyek közt a tünemény létre jő, maga állíthatja elő, és ekkor mondjuk, hogy ezen tünemény előállítására kísérlet útján történt. A kísérlet éppen az, ami a physikai tudományok nagy haladását lehetővé tette.”

Mechanica

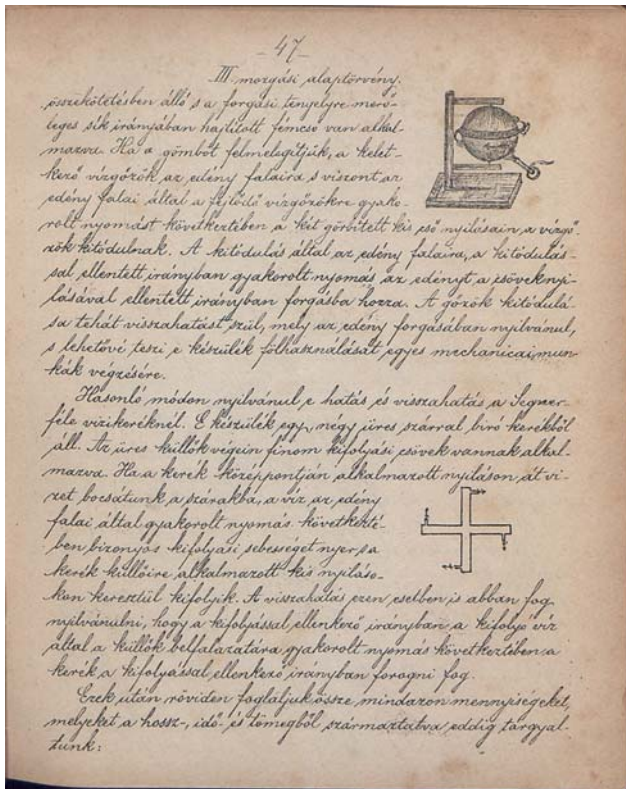
Nem véletlenül kezdi a mechanikát Eötvös a különböző mérőeszközök bemutatásával. Elmagyarázza a csavarmikrométer, a szferométer, a katetométer, a teodolit működését, külön elmagyarázza a nóniusz leolvasását, majd áttér az időmérő eszközökre. A T. Olvasó, ha ismeri az 1960-as évek óta kiadott, napjainkban is népszerű *Kísérleti fizika* egyetemi tankönyveket, nem kis meglepetéssel ismerhet rá az I. kötet első oldalaira.

Az egyenletes mozgással foglalkozva vezeti be Eötvös a sebesség fogalmát, mint a megtett út és az eltelt idő hányadosát, ahogy ez ma már középiskolában is szokásos. A jegyzet 33. oldalán kezd beszélni „A se-

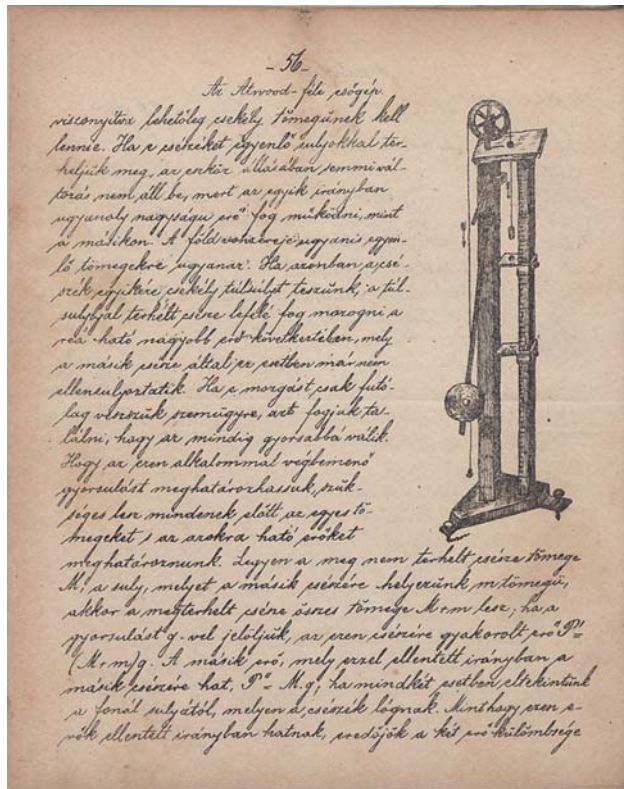
¹ A teljes jegyzet megtekinthető az ELTE honlapján: <https://edit.elte.hu/xmlui/handle/10831/39533> webhelyen.



Radnai Gyula ny. egyetemi docens, a fizikai tudományok kandidátusa, matematika-fizika tanári szakon végzett 1962-ben. Az ELTE Kísérleti Fizika tanszékén kapcsolódott be a tanárképzésbe, a fizika hazai kultúrtörténetének kutatásába pedig *Simonyi Károly* ösztönzésére fogott a '70-es években. *Physics in Budapest* című – *Kunfalvi Rezső*vel közös – könyve, valamint a *Fizikai Szemlében* és a *Természet Világában* megjelent számos, ma már az interneten is elérhető publikációja hitelesíti ezt a tevékenységét.



Newton III. törvénye.



Az Atwood-féle esőgép.

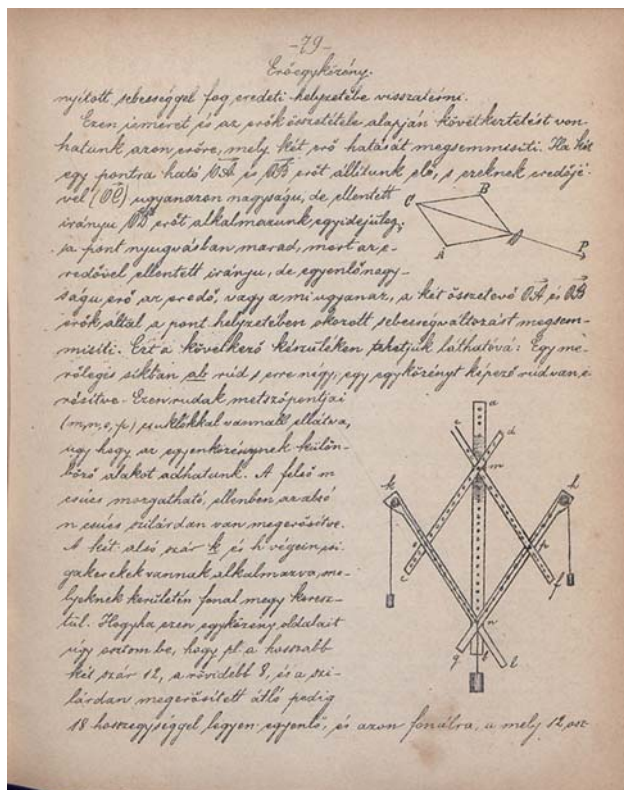
bességről a nem egyenletes mozgásnál”, majd a sebesség irányának és nagyságának diszkutálása után következik „A sebességek összetevése és szétbontása”.

A 41. oldalon új fejezet kezdődik: „A mozgási törvények”. Ez döntő újítás az akkor szokásos hazai tárgyalásokhoz képest; még *Jedlik* 1850-ben kiadott egyetemi tankönyvében, a *Súlyos testek természetében* sem szerepeltek mechanikából a Newton-törvények. Csak találgatni lehet, miért nem. Tény, hogy még Németország középiskolai tankönyveiben is leginkább csak az optikánál került elő *Newton* neve (Newton-gyűrűk), a magyar könyvek számára pedig a német könyvek voltak az irányadók. *Newton Principiáját* is csak 1872-ben fordították le németre! (Talán az infinitezimális számítás kezdő lépései során kialakult Newton–Leibniz prioritási vita kompromittálta Newtont a németek szemében? Franciául *Du Chatelet* asszony már jó 130 évvel előbb lefordította és megjelentette Newton latinul írt művét.) Heidelbergben természetesen megtanították a Newton-törvényeket, amelyeket Eötvös is olyan fontosnak ítelt, hogy még latinul is lediktálta ezeket az egyetemi előadásán! (Honnan tudta Eötvös latinul a Newton-törvényeket? Newton eredeti kiadású, latinul írt könyvéből! Még hivatkozott is rá egy másik alkalommal, amint az ebben a jegyzetben olvasható.)

A III. törvény (hatás-visszahatás) kapcsán kerül elő a Segner-féle vízikerék, de rakétákról persze nem esik szó. „A mechanikai egységek rövid összefoglalása” után kezdődik a szabadesés tárgyalása. Fontos szerephez jut az „Atwood-féle esőgép”. Táblázatba foglalt sebesség- és útadatokat segítségével, kétoldalu kö-

zelítéssel jutnak el az útképlethez, benne már *g*-vel jelöli Eötvös a nehézségi gyorsulást. A hajtások tárgyalását a függőleges hajtással kezdi, majd a vízszintessel folytatja és ez után jön a ferde hajtás. Közben

Az „Erő egykötény”, azaz erőparallelogramma.



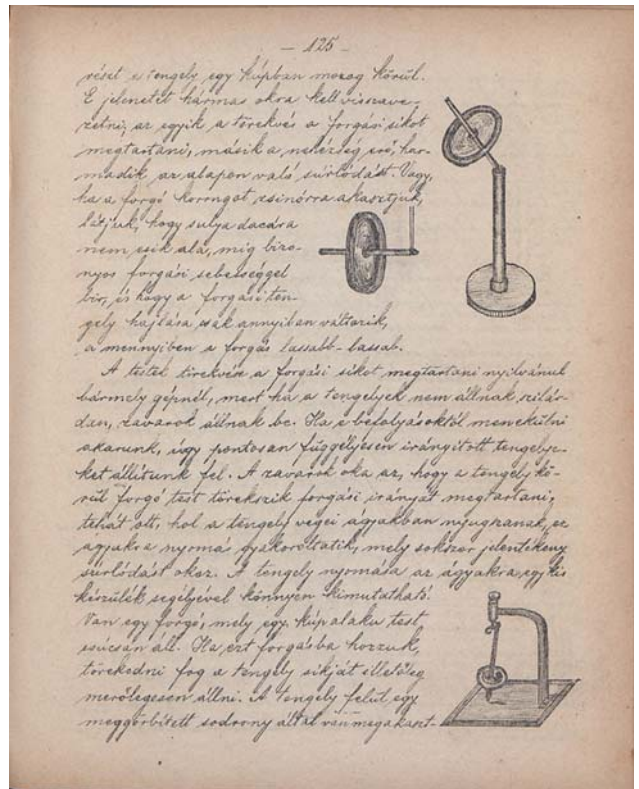
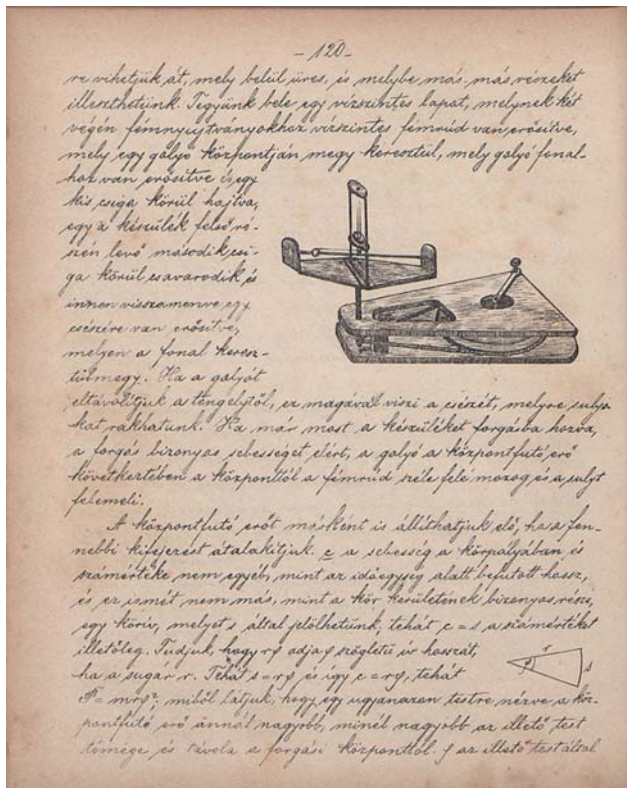
beveti a „Morin-féle hajító készüléket”, amellyel egy egyenletesen forgó hengerre felcsavart papírra lehet felrajzoltatni a függőlegesen mozgó, például a felhajított test pályáját. Levéve a papírt a hengerről és kismítva a táblán, jól látszik a parabola.

A hajítások tárgyalása után a 76. oldalon kezdődik „Az erők összetevése és felbontása”. Ennek kapcsán kerül elő az „Erő egyközény”. Mi lehet ez? Erőparallogramma – erőteljesen megmagyarosítva. „Mozgás a lejtősíkon” következik utána, ahol a nehézségi erő kell megfelelő irányú összetevőkre felbontani.

Eötvös ekkor látja megfelelőnek az időt, hogy megismertesse a hallgatóit egy fontos új fizikai mennyiséggel: itt következik „A munka fogalma”. Maga a „munka” szó nem is olyan régi, mintegy fél évszázaddal Eötvös előadása előtt vezette be Jean Victor Poncelet francia fizikus, az erőgépek dinamikájának tárgyalásához. Érdekesség: Eötvös a munkát A -val jelöli, ezzel is követve a német irodalmat (Arbeit), ahogy ma mindenütt W -vel jelöljük, az angol-amerikai szóhasználatot (work) követően. Közben volt egy időszak, amikor latinus műveltséggel L -lel jelöltük a munkát, ez a szép latin szó a labor szavunkban él tovább még ma is (laboratórium = munkahely).

Az egyensúlyról szóló fejezetben kerül elő az álló és a mozgó csiga, de itt kerül sor a „mennyiségteni inga” tárgyalására is. Eötvös nemcsak súlytalan fonalat, hanem súlytalan pálcát is használ, amelyre több kis testet is rá tud erősíteni, különböző távolságokra a forgástengelytől. Eljut a súlypont fogalmához, majd egy merész váltással áttér egyik kedvenc témájára, a „mérleg elméletének” tárgyalására.

A „központfutó (centrifugal)” erőt szemléltető forgattyús gép.



Pörgettyűk mozgása.

„A testek forgó mozgásáról” fejezet a 114. oldalon kezdődik. Előkerül az a még ma is sok középiskolai szertárban megtalálható, szíjjátéttel hajtott forgattyús gép, amelyet kézi erővel lehet forgásba hozni és a „központfutó (centrifugal)” erőt lehet vele szemléltetni. Tárgyalásában Eötvös alig használ képleteket, de a jelenségek közül számos érdekeset bemutat, a lejtőn való mozgástól kezdve egészen a pörgettyűk mozgásáig. Ez utóbbi „tüneményeket” ma is élvezettel bámulják meg a hallgatók az egyetemen.

A 130. oldalon kezdődik meg az ERÉLY fizikai fogalmának tárgyalása. Ezt a szép magyar szót találta meg Eötvös az energia kifejezésére!

Az energia szót Thomas Young vezette be 1806-ban, ezzel helyettesítette az „eleven erő” kifejezést, amelyet pedig Leibniz talált ki 1695-ben. Igaz, Leibniz latinul, a „vis viva” nevet adta ennek a fogalomnak, akkoriban még latin volt a tudomány nyelve. Newton is latinul írta meg fő művét, s már meg sem érte, hogy könyvét angol fordításban is kiadják. Eötvösre Helmholtz lehetett nagy hatással, aki 1847-ben *Über die Erhaltung der Kraft* (Az erő megmaradásáról) címmel jelentette meg az energia megmaradásának általános törvényét ismerető tanulmányát. Ezt az energiaként funkcionáló „erőt” nevezte el Eötvös Loránd erélynek. Sajnos az erély szó nem honosodott meg nálunk, néhány év múlva maga Eötvös is áttért az energia szó használatára. Napjainkra pedig „az energia” kifejezés már annyira átment a köznyelvbe, hogy „a zenergia” (!) formájában még a zenei propaganda szótárába is bekerült.

Az erély segítségével szépen lehet a bolygók mozgását tárgyalni, előkerülhetnek a Kepler-törvények.

Ezután következnek a jegyzetben azok a mérések, amelyekkel a Newton-féle gravitációs törvényben szereplő állandót lehet minél pontosabban meghatározni. Még csak az 1870-es években vagyunk, még szó sincs arról, hogy Eötvös Loránd saját torziós ingájával hozakodna elő, azt majd még ki kell találnia, több mint egy évtizeddel később. Mégsem lehet egészen véletlen, hogy Eötvös a gravitációs állandó meghatározását követően tér rá a szilárd testek rugalmasságára, amelyben külön figyelmet szentel a csavarásnak. Tudvalévő, hogy *Henry Cavendish* 1798-ban saját csavarási ingájával határozta meg a gravitációs állandót.

A mechanika zárásaként a szilárd testek után jöhetnek a folyadékok, különös tekintettel a felületi feszültségre, amelyet ekkoriban választ Eötvös saját kutatási témájának, és jöhet a folyadékok sűrűségének pontos mérése Mohr–Westphal-mérleggel. Ezután következhetnek a gázok, a légnyomás kimutatására és mérésére a Torricelli-kísérlet, de nem maradhat el az állandó hőmérsékletű levegő nyomásának logaritmikus magasságfüggése és gyakorlati alkalmazásként a légszivattyúk működésének megtárgyalása sem. A jegyzet első 250 oldala tartalmazza a mechanikát, ez után következik a hőtan, amellyel befejeződik az első félév.

Hőtan

Kézenfekvő lenne a gázok mechanikai viselkedésének tárgyalása után ezek hőtani viselkedésével kezdeni a témát, Eötvös mégse így jár el, hiszen ehhez hőmérőre lenne szükség. Kísérletileg vizsgálja meg előbb egy fémrúd, majd egy kapillárisban végződő gömblombikban lévő folyadék hő okozta tágulását, utána mutatja be a levegő hőtágulását egy másikat ötletes kísérlettel. Ezután tér rá a hő, illetve az általa először csak „hőmérsék”-nek nevezett hőmérséklet mérésére. Elméletileg bevezeti a „hőtani egység” fogalmát, gyakorlatilag pedig külön fejezetben foglalkozik a hőmérők készítésével és kezelésével, nem feledezve el a „léghőmérőről” sem.

Az elkészített hőmérők segítségével most már pontos mérésekkel lehet megvizsgálni a különböző szilárd anyagok és folyadékok „terjeszkedését”, összehasonlítva az ezeket jellemző állandókat. A vízzel külön foglalkozik. Gázok pontos vizsgálatára a 259. oldaltól kerül sor, itt jelenik meg *Mariotte (Boyle nélkül)* és *Gay-Lussac* törvénye. Utána hosszan foglalkozik a gázok fajsúlyával és sűrűségével, külön a „lég” sűrűségével.

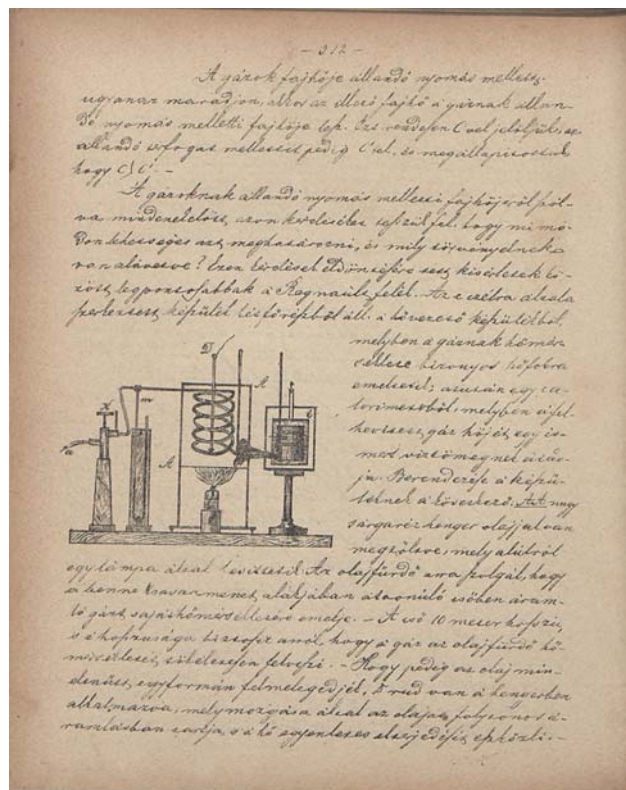
A 298. oldalon kezdődik „A hőegység megállapítása”. Érdekes módon Eötvös mindvégig „hőegységről” beszél, de a kalória szót meg se említi. A 300. oldaltól kezdve tárgyalja a fajhő meghatározását, míg végre a 309. oldalon eljut *Dulong* és *Petit* törvényéhez. A gázok állandó nyomás melletti fajhőjének mérésére *Regnault* összeállítását mutatja be.

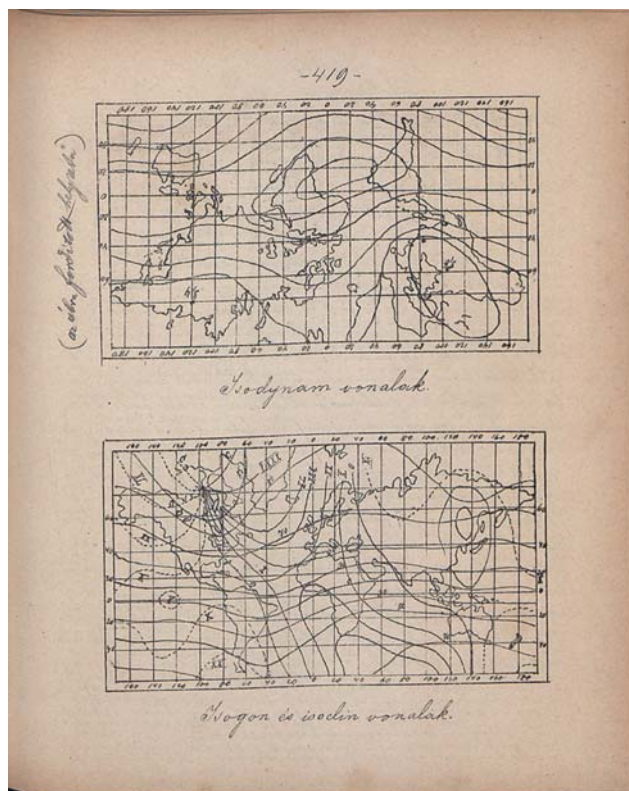
A 318. oldalon kezdődik a gőzök tárgyalása. Eötvös külön beszél a gőzök „feszültségéről” (így nevezi a

telített gőz nyomását, amely természetesen hőmérsékletfüggő), majd a gázok „folyósításáról”, míg végre a 325. oldalon jutunk el a párolgáshoz, s mindjárt a következő oldalon kezdődik a forrás tárgyalása. Ismereti *Regnault* mérőkísérletét a gőzök feszültségének meghatározására. Szó esik a folyadékok túlhevítéséről, a szilárd anyagok olvadásáról, az olvadáspont meghatározásáról. Kitér a Föld belsejének állapotára, de a jéghegyek létrejöttére, s ennek kapcsán az újrafagyás (regeláció) jelenségére is. Az olvadáshőt „lapangó hőnek” nevezi Eötvös, ismerteti ennek is a mérését. Előkerül a légnedvesség fogalma, az ennek mérésére szolgáló „hygrometer” és az „August-féle psychometer” is.

A hőtant lezáró, mintegy 20 oldalas fejezet „A hőtan erőműtani elmélete”. (Erőműtan a mechanikára kitalált magyar kifejezés volt.) Itt esik szó a Joule-kísérletről, a hő és a munka egyenértékéről. A hő és a munka egysége közötti összefüggést $[Q] = k[A]$ alakban adja meg, ahol k valamilyen 410 és 444 közötti érték a különböző mérések szerint, de „legközelebb a 425 áll hozzá” ... Előkerülnek „a hő forrásai”, ennek kapcsán „a nap sugárzó hője”, s az utolsó két és fél oldalon „a hőgépek munkája” is. Igazán nem jelentős terjedelem ez a két és fél oldal az egész hőtani fejezet 120 oldalához képest. *Carnot*-ról, *Clausius*ról, a hőtan második főtételéről szó se esik, de hát ne felejtjük el: *Carnot* munkáját, valamint *Clausius* entrópiáját akkor még a fizika professzorai egymás között vitatták meg, s ebben Eötvös csak távoli megfigyelőként vett részt. Igaz, 1872-ben *Helmholtz* és *Kirchhoff* mellett *Clausius* is tiszteleti tagjának választotta a Magyar

A gázok fajhője állandó nyomáson.





A magneticus görbék.

Tudományos Akadémia, de Clausius akkor Bonnban működött, vele nem is találkozott Eötvös Loránd. Tiszteleti tagnak talán Szily Kálmán javasolta Clausiust, miközben a második főtétel mechanikai megalapozásán fáradozott. Ez azután csak Boltzmann-nak sikerült.

Az első félév összesen 370 oldalt foglal el az Eötvös-jegyzetben. Szinte ugyanennyit tesz ki a második félév, benne a teljes elektromágnesség-tan és optika, sőt még a hangtan is. Mivel pedig a középkor óta az imponderábilis jelenségek között első helyen szerepeltek a mágneses jelenségek, Eötvös is ezzel kezdte a második félévet, íme a fejezet főcíme:

Delejesség

Semmi kétség – a mágnes szó is áldozata lett az erőltetett nyelvújítási törekvéseknek. Más helyen Eötvös maga is kikelt a túlzásba vitt magyarosítások ellen, például amikor Helmholtz népszerű tudományos előadásait fordította. Az 1874-ben megjelent könyv előszavában így fogalmazott: „Meggyőződésem az, hogy ha tudományos tárgyról írunk, akkor a tudomány érdekeit a nyelvtisztaság igényeinek feláldozni nem szabad... Így megtartottam az elektricitás és a magnetizmus elnevezéseket, és nem használtam azok helyett a villanyosság és a delejesség szavakat...” Itt azonban tankönyvről, egyetemi jegyzetről volt szó, amely a nemzeti öntudattól áthatott bölcsészeti kar hallgatói számára készült: ha csak lehet, mondjunk mindent magyarul!

Vasreszelékes kísérletekkel szemléltetve vezeti be Eötvös a „delejes pólusok” fogalmát, majd rögtön utána következik „A delejesség magyarázata”. Ez a magyarázat az a modell, melyet *Coulomb* nyomán Weber vezetett be, majd Neumann segítségével került tovább Kirchhoffhoz – tőle tanulta meg Eötvös. Eszerint a delejezett testekben kétféle „súlytalan mágneses folyadék” található, amelyeket akár a „delejes pólusokban” felhalmozódva is el lehetne képzelni. Azt a tapasztalatot viszont, hogy egy mágnesrudat kettétörve két újabb mágnesrúd keletkezik, úgy magyarázza Eötvös, hogy az anyagban „mágneses molekulák” (értsd: molekulák) képezik az említett mágneses folyadékot, s ezek a piciny részecskék egymás mellett sorba rendeződnek. Eötvös itt már vegyesen használja a „mágneses” és a „delejes” szavakat, de ami a legfontosabb: ez a modell az elektromosságra bevezetett kétféle fluidum mágneses megfelelője. A mágneses molekulákat később a súlytalan elektromos fluidum örvényeinek is elképzelték. „A delejes sarkok kölcsönös hatása” után következik a jegyzetben „A delejes távolhatás”.

Eötvös Loránd 1877-ben, a most tárgyalt egyetemi előadással nagyjából egyidőben a Magyar Tudományos Akadémián olvasta fel dolgozatát *A távolhatás kérdéséről*. Érdekes ez a dolgozat azért is, mert a tudomány akkori felfogását tükrözi, szép magyar nyelven megfogalmazva. A tanulmányt – gondosan ellátott (*Marx Györgytől* származó?) szerkesztői megjegyzésekkel – *Környei Elek* újra közölte *Eötvös Loránd, a tudós és művelődéspolitikus írásai* című, 1964-ben kiadott könyvében. Eötvös maga állítja itt a természettudományról: „A mágnes helyébe feltevésekre alapított képet helyettesít, mely különössége által valóban meglepő; s mert az elősorolt tények vizsgálata több tudományág körébe tartozik, ezek mindegyike hozzájárul valamivel a magyarázatot szolgáló képhez.”

E tudományos elképzelések megismertetése a különböző egyetemi előadások feladata, az előadások tartalma azután megjelenik az előadásról szóló jegyzetekben. Ebben az Eötvös-jegyzetben például a delejtű mechanikáját a delejes rúd mechanikája követi, majd a bevezetett mágneses nyomatek segítségével a delejes rúd lengésidejének meghatározása. A méréshez Coulomb-féle csavarási mérleget használ Eötvös, majd definiálja a „magn. folyadék egységet”. Ezután, a 400. oldalon tér át a Föld magn. erejének, mai kifejezéssel mágneses térerősségének a vizsgálatára. (A magn. rövidítés egyaránt olvasható mágnesesnek és magneticusnak.) Ezen hosszan elidőz, csak a 411. oldalon kezdődik „A declinatio meghatározása”, a 414. oldalon „Az inclinatio meghatározása”, majd a 419. oldalon láthatók a „magneticus görbék”. Ezekhez az érdekes, valahonnan szándékosan átmásolt görbékhez hasonlóak ma csak az egyetemi geofizika tankönyvekben fordulnak elő. Sajnos nem sikerült kideríteni, milyen forrásból dolgozott Eötvös, honnan vehették ezeket az érdekes grafikonokat. Még leginkább Gauss és Weber 1840-ben kiadott *Atlas des Erdmag-*

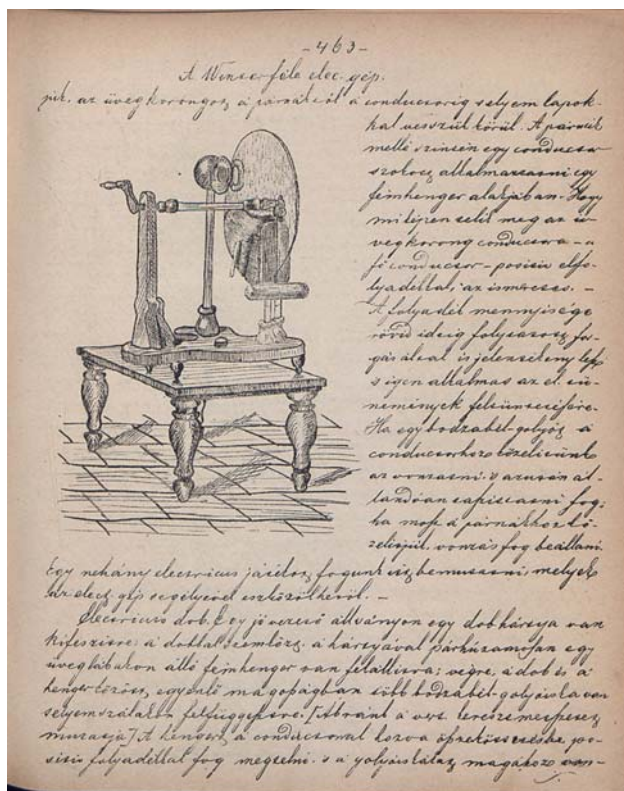
netismus, valamint Alexander Humboldt Kosmos című négykötetes munkájában találhatóak hasonlók, ha nem is ugyanazok. Ezek után tárgyalja Eötvös „a magn. folyadékok eloszlási módját”, majd a „magn. influenza törvényét”. A 438. oldalon tér át „a delejek hordképességének” vizsgálatára, majd a delejek készítésére, s végül még egyszer visszatér a Föld delejező erejére. Nem véletlenül számítjuk ma Eötvös Loránd munkásságától a hazai geofizikai kutatások kezdetét, ez ugyanúgy vonatkozik a Föld mágnességének, mint gravitációjának a vizsgálatára.

Elektricitás

Először is különböző testek „electr.” állapotának összehasonlítására kerül sor. A testek három osztályba sorolhatók: szigetelők, vezetők és félvezetők (!). Megkülönböztetjük az üveg- és a gyanta-elektromos állapotot és máris megjelenik a mérőműszer, az „electroszkop”. Az elektromos távolhatás törvénye után következnek az „electricus – pozitív és negatív – folyadékok”, bevezetésre kerül az electricus folyadékegység. (Felírásra kerül a Coulomb-törvény Gauss-rendszerben.) „Az el. folyadékok eloszlása”, majd „Az el. folyadékok sűrűsége” után „Az electricus influenza” (= megosztás), majd „Az electricus gép” következik. A Winter-féle gép bemutatását követően pedig jöhetnek a demonstrációs kísérletek: harangjáték, elektromos szökőkút, elektromos Segner-kerék, csúcshatás és villámhárító... „Az electricus influenza” jelenségét is kísérletek igazolják. A kondenzátorok elméletét a „duplicator” és az „electrophor” bemutatása követi, csak ezután kerül elő a „leydeni palack”.

Hosszú út vezet innen a „leydeni batteria” bemutatásáig, sokféle influenciagép, köztük a ma is használatos Holtz-féle gép bemutatásán keresztül. Érdekes kérdésként vetődik fel a kisütés, a „villamszikra” időtartama. Előkerülnek az elektromosság kiegyenlítő hatás kísérő hatásai: hő-, fény-, kémiai, élettani hatásokról esik szó. És ekkor, mint egyik hatás, felvetődik a „magneticus” hatás is, „A villámroham hatása a delejtűre” pedig már az elektromos áram mágneses hatásáról szól. Sőt, itt, a tulajdonképpeni elektrosztatikai tárgyalásban megjelenik már az indukció jelensége is, amint egy feltöltött leydeni palack kisütésekor egy hozzá közel elhelyezett „secunder” körben is szikra tud átvütni... Felbukkan a tekercs is, mint „multiplicator”.

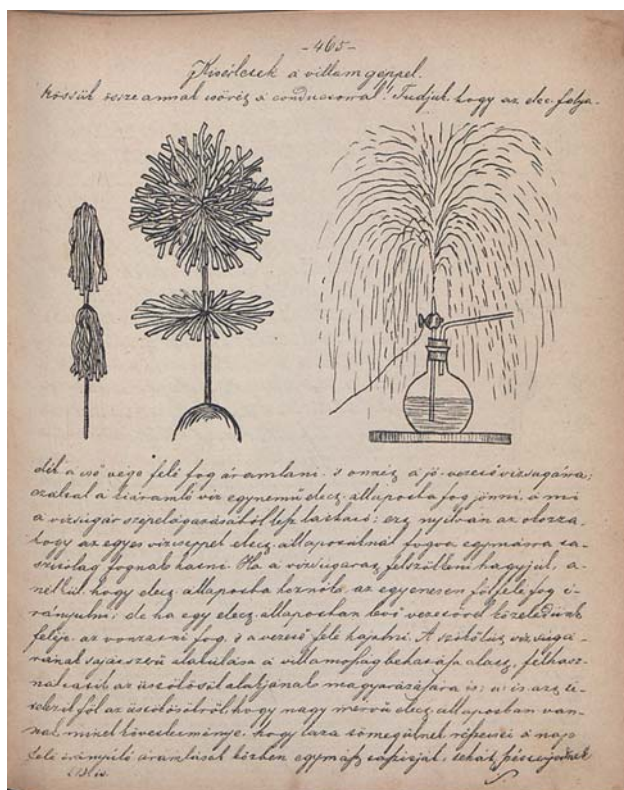
Ekkor, az 515. oldalon kerül sor a „Weber-féle törvény” felírására. Ez a törvény azt állítja, hogy két pontszerű elektromos töltés között ható erő nemcsak a töltések távolságától, hanem egymáshoz képesti mozgásuktól is függ. Olyan fontosnak tartotta Eötvös ezt a törvényt, hogy egyetemi előadásán felírta ennek matematikai alakját, az Akadémián tartott említett előadásában pedig egy * (csillag) alatti kiegészítésben részletesen is kitért rá. Szerencsére *Környei Elek* nem hagyta ki Eötvös Loránd tanulmányának újraközlésekor ezt az apróbetűs kiegészítést, és még *Simonyi*

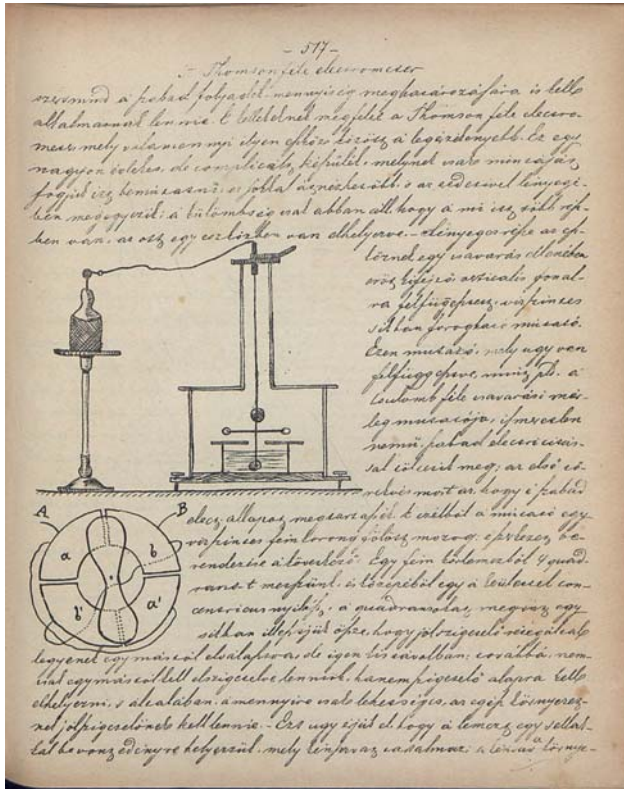


A Winter-féle elec. gép.

Károly is közölte Weber gondolatát *A fizika kultúrtörténete* című, alaposan átgondolt könyvében. Közölte, de hozzátette, hogy hibás. Száz évvel Eötvös előadása után ezt már biztosan lehetett tudni.

Kísérletek a villámgéppel.





A Thomson-féle electrometer.

Eötvös Loránd viszont még hitt benne. Ezt mondta az Akadémián 1877-ben: „Jogosan nevezhetjük a tudomány mai állása szerint Weber törvényét a távolhatás általános törvényének.” Majd így folytatta: „Igaz, hogy újabb időkben érvényességét több oldalról kétségbe vonták, így különösen Helmholtz elvetendőnek nyilatkoztatta, mint az erély megmaradásával ellenkezőt; de maga Weber s különösen a fiatalabb Neumann, ez ellentéteket megcáfolva, még biztosabb alapokra helyezték...” És megadta, most már ** alatt az e vitára vonatkozó legfontosabb értekezéseket: Helmholtzét, Weberét és Carl Neumannét, Franz Neumann elméleti fizikussá lett fiát.

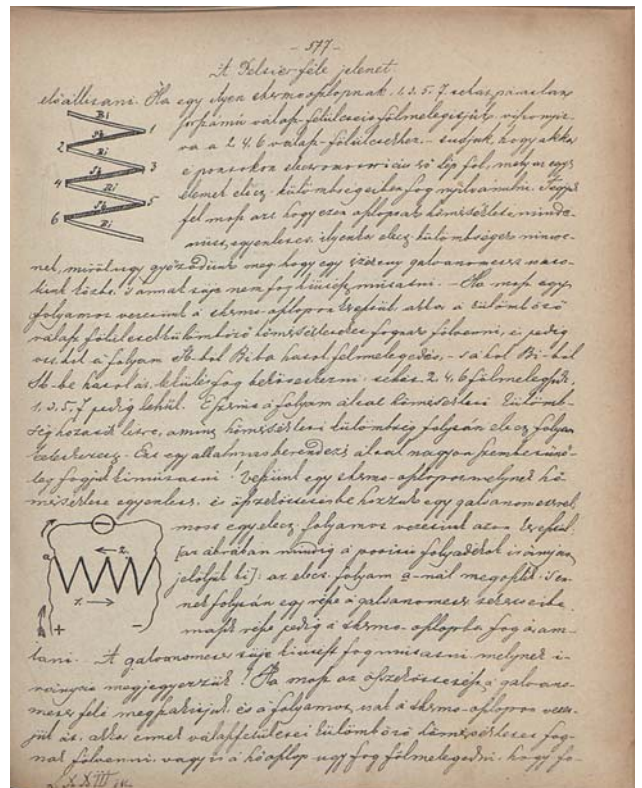
Később még hozzátette az Akadémián felolvasott tanulmányában: „Newton óta nem egy tudós kísérlette meg a két pont közötti erő kifejtését a közben lévő anyagban tovaterjedő mozgásokból magyarázni. * De mi volt a nyereség? Az eredeti feltevés helyett még összetettebb feltevések azon anyagot illetőleg, mely a hatás továbbvitelére szolgáljon.” Ez alatt az újabb * alatt, apróbetűvel pedig ezt olvashatjuk: „Ez irányban legjelentékenyebb James Clerk Maxwell: A treatise on electricity and magnetism, Oxford 1873.” Az ELTE Fizikus Könyvtárában ma is megvan Maxwellnek ez a könyve, benne Eötvös Loránd saját kezű szignójával...

De hogy milyen mélyen beivódott a szemléletbe az elektromágnesség Weber féle „két folyadék” elmélete, arra még két példát említünk. Az egyik, hogy a mágneses indukcióvektor felületi integrálját „fluxusnak”, vagyis magyarul áramlásnak nevezzük. Ez bizony a súlytalan (imponderabilis) mágneses folyadék áramlá-

sára utal! S mint tudjuk, a fluxus mértékegysége a ma is használatos SI rendszerben 1881 óta „weber” – nem véletlenül. A másik, hogy még az 1907/1908-as tanévben tartott *Az elektromosság és mágnesség általános elmélete* című egyetemi előadásában is ezt mondta Fröblich Izidor (Koren Dénes egyetemi hallgató fennmaradt jegyzete szerint): „Mi az elektromosságot a minőségre nem tekintve állapotnak vesszük. Alkalmos képet nyerünk, ha az elektromosságot súly nélküli folyadékknak tekintjük, mely a különböző anyagokban különböző gyorsan mozoghat (vezetők és szigetelők, dielektrikumok).”

Visszatérve az Eötvös Loránd előadása alapján készült jegyzetre, e jegyzet 517. oldalán kerül sor a „Thomson-féle electrometer” bemutatására. Ezt Budó Ágoston *Kísérleti fizika* tankönyvének II. kötetében kvadráns elektrométernek nevezi, de megemlíti, hogy Thomson találta fel 1860-ban. A légköri villamosság és a villámhárító működésének részletes elemzése után kerül sorra az „érintkezési villamosság”, de csak az 542. oldalon jelenik meg „Volta oszlopa” és az 560. oldalon kerülnek elő a „Stationar folyamatok”. Az „Electromotoricus erő”, majd a „Galvanismus” után a „Galvanometerek”, „Az Ohm-féle törvény”, majd „A Kirchhoff-féle tételek” következnek. Az 571. oldalon jutunk el „a rohamerősség meghatározásához”, majd néhány oldallal később „az electricus folyam hőhatásaihoz”. Ehhez kapcsolódóan kerül elő „A Peltier-féle jelenet”, és ennek alkalmazásaként „A villamos hőmérő”. Az „elektromos folyamatok” – más helyen „villamrohamok” – vegytani elméletét a „galvanicus elemek”, köztük a „Daniell-féle elem” bemutatása követi.

A Peltier-féle jelenet.

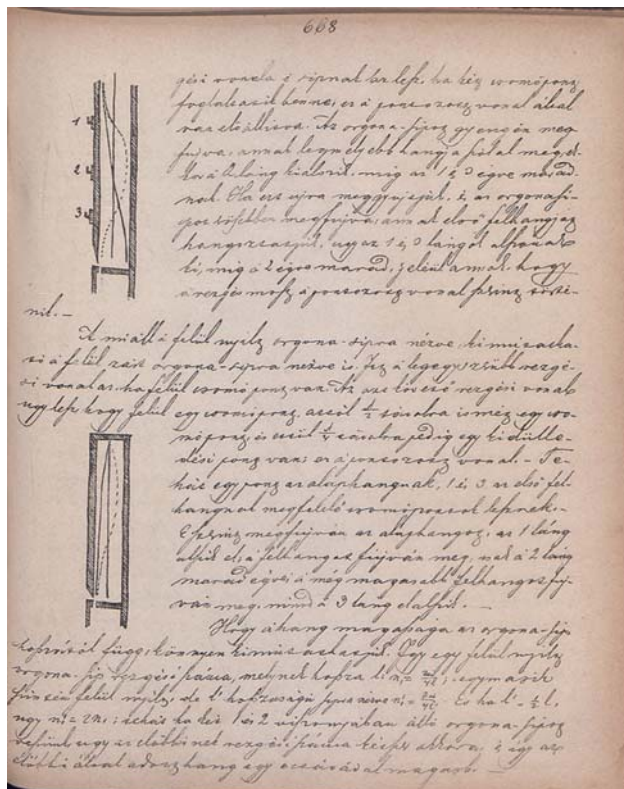


Az áramok kölcsönhatását *Ampère* nyomán tárgyalja Eötvös, fel is ír egy elég bonyolult térbeli összefüggést két áramelem kölcsönhatására, ezt azután „electrodynamikai alaptörvénynek” nevezi, és igyekszik összefüggésbe hozni a Weber-törvénnyel. Az egész gondolatmenet megérdemelne egy külön diszkusziót. Az elektromágnesek tárgyalása után áttekintést ad az elektromotorokról, majd a jegyzet 610. oldalán megjelenik „Az electromagneticus inductio”. Kiemelt figyelmet kap a Lenz-törvény, alkalmazását tekintve pedig a szikrainduktor. Ennek révén kerülnek elő a Geissler-csővek, amelyekkel valószínűleg hatásos demonstrációs kísérleteket lehetett bemutatni, s az egész elektromosságtant a Gramme-gép működésének diszkusziója zárja. Sajnos Jedlik Ányos nevét, találmányait a fiatal, pályakezdő Eötvös Loránd nem említi meg.

Hangtan

Első pillantásra meglepőnek tűnik, hogyan kerülhetett ilyen későre a hangtan tárgyalása, elkülönítve a mechanikától. Megfigyelve azonban a tananyag elrendezését a két félév között, jól látszik, hogy Eötvös mindkét félév első kétharmad részét egy-egy nagyobb témára szánta, s a megmaradó egyharmad részt fordította valamilyen ugyancsak fontos, de a fő témánál rövidebben elintézhető másik témára. Így került az első félév utolsó harmadára a hőtan, a második félév befejező harmadára pedig a hangtan és a fénytán. Ha a hangtan is az első félévre került volna, akkor a hőtant félbe kellett volna szakítani a félév végén, s a második félévet kezdeni a hőtan elmaradt részének pótlásával. Más, szakmai indok is felhozható a hangtan és a fénytán kiemelten egymás melletti tárgyalása mellett: mindkettő valamilyen módon a rezgéstanra épül, ezért elég sok közös vonást mutat – egyik segíthet megérteni a másikat. És van még egy szempont, amely talán leginkább vezette Eötvöst a tananyag ilyen elrendezésében: mind a hangtant, mind a fénytant Heidelbergben Helmholtz adta elő, ő szerettette meg a fizika ezen részeit Eötvös Loránddal.

Azon is látszik Helmholtz hatása, hogy Eötvös itt valamivel kevesebb időt fordít a demonstrációs kísérletezésre, és jobban elmerül az elméleti megfontolásokban. A hangsebesség tárgyalásánál hangsúlyozza a hőmérséklettől, levegőben pedig még a páratartalomtól való függést is, de mérést nem végez, csupán Párizsban végzett mérésekre hivatkozik. A hangforrások tárgyalását a szirénával kezdi, és nem maradhatnak el a hangvillák sem, „ráhangzó készülékekkel” együtt. A húrok rezgéseit monochordon elemzi, a hangmagasság tárgyalásánál azonnal rátér a zenei hangok („dur scala”) és hangközök (oktáv, quint, quart stb.) ismertetésére, felírja a rezgésszámok kis egész számokkal kifejezhető arányait. Amikor rátér a nyitott és zárt sípok tárgyalására, külön elemzi az orgona hangjait, a sípokban kialakuló állóhullámokat. A rezonancia tárgyalásánál többféle rezonátort is megemlít, köztük a nevezetes Helmholtz-féle rezonátorokat. A csövekben kialakuló álló-



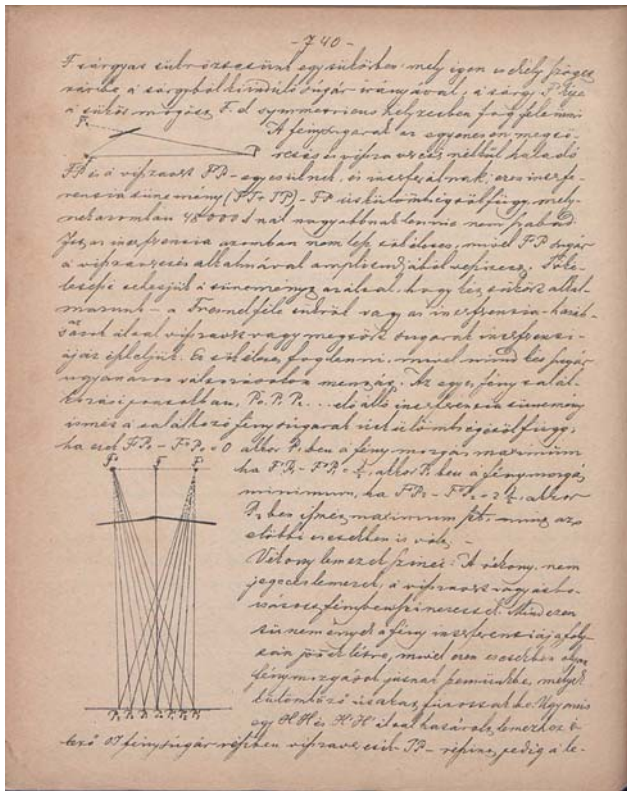
Hangtan – sípok.

hullámok demonstrálására a „König-féle manometrikus lángot” használja. Előkerül a hanglebegés jelensége is, ezt Eötvös találoan lüktetésnek nevezi. Részletesen beszél az emberi hangképzésről, majd az egész tárgykör befejezéseként arról, hogyan változik meg az észlelt hang magassága, ha a hangforrás közeledik felénk, illetve távolodik tőlünk. *Doppler* nevét sajnos nem említi, de a megfelelő formulákat levezeti.

Fénytan

E fejezet stílusa teljesen más, mint az előzőé. A hangtanról szóló rész folyamatosan írt szöveg, ritkán találunk benne képleteket, még bekezdéseket is alig, alcímeket pedig egyáltalán nem. A fénytán sokkal jobban áttekinthető, olvasását alcímek és bekezdések könnyítik meg, közben elég sok ábra, képlet, matematikai diszkuszió jelenik meg benne.

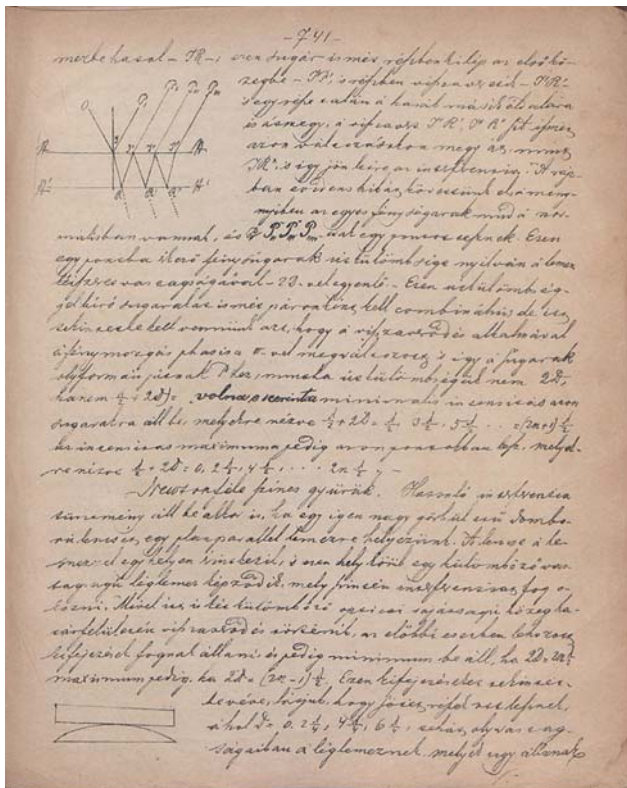
A fénysebesség mérését több forrásra hivatkozva, de csak röviden tekinti át Eötvös, nevezetesen *Römer*, *Bradley*, *Fizeau*, *Foucault*, *Cornu* módszerének és a kapott eredmények felidézésével. A fény intenzitásának kvalitatív mérésére *Rumford* és *Bunsen* fotometriai eljárását említi. A síktükör tárgyalását a gömbtüköré követi. Eötvös bevezeti a virtuális kép fogalmát, közelítő számítással határozza meg a gömbtükör fókusztávolságát. A fénytörés bevezetésekor a fénysugarat planparallel lemezek sorozatán vezet keresztül, kísérletekre hivatkozva definiálja a törésmutatót anélkül, hogy *Snell* vagy *Descartes* nevét megemlítené. Ezután tárgyalja a „hasáb” fénytörését. Mi lehet ez a hasáb? A prizma! A



Fénytan.

lencsék leképezését tárgyalva kitér a lencsehibákra is. A szem külön fejezetet kap, amelyet a nagyító és a mikroszkóp tárgyalása követ. Feltűnő, hogy a távcsövekre nem kerül sor. Erre nincs más magyarázat, mint az,

Newton-féle színes gyűrűk.



hogy a hallgatók számára külön csillagászati előadás lehetett a tanrendben, amelyen minden bizonnyal részletesen szerepeltek a különböző távcsövek – itt pedig vérszenes fogyott a tanévből még hátra lévő idő.

A fizikai optika tárgyalását a diffrakcióval kezdi Eötvös Loránd, majd az interferenciával folytatja. Matematikailag tárgyalja az azonos frekvenciájú, de különböző fázisállandójú rezgések összetételét, megmutatja, hogyan függ az eredő amplitúdó a fáziskülönbségtől. Csak ez után következik Huygens elve. Fresnel nevét itt még nem említi, de természetesnek veszi, hogy „hullámelemek” találkozásoként keletkeznek például a diffrakciós sávok. Fresnel neve az általa feltalált, kettős tükrös adta interferenciakép kapcsán kerül elő. A vékony lemezek színeinek magyarázatát a Newton-gyűrűk tárgyalása követi. Nem említi Eötvös, hogy ennek bemutatására Párizsból vásárolt eszköz áll rendelkezésére, de az egyetem szerencsére megőrizte ezt az eszközt és ma is megtekinthető a demonstrációs laboratórium féltve őrzött kincsei között.

Nagyon érdekes, hogy Eötvös Loránd végig „fényrezgésekről” beszél, az éter szót ki se ejti a száján. A mai olvasó számára is elgondolkodtatók lehetnek a jegyzet utolsó mondatai, amellyel Eötvös befejezte az előadást:

„...A rezgési elméletet nem kell úgy tekintenünk, mint az egyedül lehető, hanem mint egyikét a lehetséges elméleteknek, mely a tudomány mai álláspontjának legjobban megfelel. De nagyon téves törekvés az, ha a fénytant rezgéstannak akarják nevezni, mivel sikerül ugyan a tünetényeket az aether rezgéseivel kimagyarázni, de a feltevések, melyeket elfogadnunk kellett, kétségessé teszik azt, hogy a rezgési elmélet a fénytünetények igaz magyarázatát adná.”

Az az *Általános Kísérleti Természettan* jegyzet, amelyet a fentiekben áttekintettünk, Eötvös Loránd 1870-es években tartott előadása alapján készült. Húsz év múlva Eötvös (és a világ) már többet tudhatott az elektromágneses jelenségekről, a 80-as évek végén és a 90-es években váltak a Maxwell-egyenletek és Lorentz munkái a szakmában közismertekké. Simonyi Károly szerint „Maxwell egyenletei ugyancsak nehezen váltak a kortárs fizikusok mindennapos elméleti eszközévé annak ellenére, hogy a legnagyobbak közülük megsejtették benne az egész klasszikus elektrodinamika végső szintézisét”. Fontos volt Heinrich Hertz munkássága, akinek sikerült a Maxwell-egyenleteket könnyebben érthető matematikai nyelven megfogalmaznia, kísérletileg pedig 1886-ban a Maxwell-elméletből következő elektromágneses hullámok létét bebizonyítania. Az éter koncepció tarthatatlanságát Michelson és Morley kísérlete (1887) és Einstein relativitáselmélete (1905) bizonyította be.

A jegyzet pedig, amely Eötvös 1870-es évekbeli fel fogását tükrözi, szerencsére az ELTE rektora támogatásával, az Eötvös-év kapcsán, az Egyetemi Könyvtár tulajdonába került, sőt, digitalizálták is. Hozzáférhető, szabadon kutatható, erre akar ösztönözni, bátorítani ez a cikk is.

Az atomreaktoroknak több fajtája van, de közülük szinte kizárólag az atomerőművek reaktorai ismertek. [1]. Ez érthető, hiszen ezek termelik az energiát, ami a reaktorok fő felhasználása, ám némi figyelmet a többi reaktorfajta is megérdemel.

Néhány általános gondolat az atomreaktorokról

Atomreaktoroknak azokat a berendezéseket nevezük amelyekben maghasadás megy végbe, úgy hogy az önfenntartó láncreakció lehetősége adott.

A reaktorok osztályozása több szempontból történhet. Az egyik lehetséges osztályozási szempont a felhasználás. Így négy alapvető típust különböztethetünk meg, úgymint a reaktortechnikai és biztonságtechnikai kutatások céljára épült kritikus rendszereket, a speciális reaktorokat, amelyek többsége haditechnikai felhasználású vagy közlekedési eszközök (elsősorban hajók) energiaforrásául szolgál, a neutronfizikai kutatásokra és/vagy radioaktív izotópok előállítására alkalmas kutatóreaktorokat, valamint az energiatermelésre használt atomerőműveket. Természetesen ez a felosztás, akárcsak bármilyen osztályozás bizonyos mértékig önkényes. Önkényes hiszen előfordul, hogy alapvetően energiatermelésre szolgáló atomerőművet részben izotóptermelésre (például ^{60}Co) vagy haditechnikai célra (plutónium előállítása) használnak. Ennek ellenére hasznos lehet a fenti felosztáson alapuló tárgyalás, hiszen megkönnyíti a sokféle reaktortípus áttekintését.

A négy alapvető típus szerepe természetesen nem azonos súlyú. A legfontosabb csoportot nyilván az energiát termelő atomerőművek jelentik. Jelen írás nem kíván az atomerőművekkel foglalkozni, hiszen azok irodalma magyar nyelven is bőséges [1, 2]. A kritikus rendszerek azért építették, hogy az atomerőművek, kutatóreaktorok vagy speciális reaktorok tervezését megkönnyítsék, a biztonság néhány aspektusa (például a neutronspektrum hatása a reaktor dinamikai tulajdonságaira) így kísérletileg tanulmányozható. A speciális reaktorok nukleáris szempontból nem különböznek jelentősen az atomerőművektől. Megjegyezzük, hogy a műszaki fejlődés során egy-egy speciális célra kifejlesztett reaktorból atomerőmű is válhat.



Vidovszky István fizikus (ELTE 1972), kandidátus (1989). 1972-től 2014-ig a KFKI, majd a KFKI AEKI kutatója, 1995–2012 között igazgatóhelyettese. Reaktorfizikai kísérletekkel és a kutatóreaktorok biztonságával, hasznosításával foglalkozott. Több éven át irányította a ZR-6 nemzetközi célprogram kísérleti tevékenységét. Részt vett a hazai atomerőmű biztonságának elemzésére irányuló ÁGNES projekt munkájában. A Magyar Nukleáris Társaság alapító tagja, 2001–2003-ig elnöke.

Erre már van is példa, az ólomhűtésű gyorsreaktorokat ugyanis eredetileg tengeralattjárók hajtására tervezték, ám továbbfejlesztett változatuk szerepel a legújabb, negyedik generációs atomerőművek között. A kutatóreaktorok általában közvetlenül nem kapcsolódnak az atomerőművekhez, bár előfordul, hogy atomerőművi problémák (például a tartálykárosodás időben előrehozott tanulmányozása) megoldására is használják őket. Azonban a kutatóreaktorok – mint az általános nukleáris kultúra megtestesítői – nem választhatók el az atomerőművektől, azaz a biztonsági kultúra függ a kutatóreaktoros tapasztalatoktól is.

Kritikus rendszerek, más néven zéró-reaktorok

A kritikus rendszerek építésének célja többnyire a kifejlesztés alatt álló reaktorok (atomerőművek, kutatóreaktorok) tervezési paramétereinek ellenőrzése. Tehát ezek a reaktorok egy-egy nagyobb reaktor nukleáris modelljének tekinthetők. A nukleáris modell azt jelenti, hogy a reaktor legtöbb reaktorfizikai tulajdonsága meg egyezik a modellezni kívánt reaktoréval, azonban a reaktor teljesítménye sokkal kisebb, közel zérus, innen ered a típus másik neve. A kis teljesítmény folytán a reaktorhoz könnyebb hozzáférni, ezért számos olyan mérés elvégezhető rajta, ami a nagy reaktorokon nem. További előny, hogy viszonylag olcsón megépíthető és ezért a kísérletek már jóval a prototípus elkészülte előtt elvégezhetőek. A kis teljesítmény következtében viszont nincsenek visszacsatolások, ezért nem minden reaktorfizikai paraméter ellenőrzésére alkalmas. Természetesen olyan kritikus rendszerek is épültek, amelyek nem modelleznek semmit, ezek demonstrációs vagy oktatási célokat szolgáltattak, ilyen volt például a KFKI-ban¹ tervezett és épített ZR-4,² ami egy nemzetközi ipari vásáron reklámozta az atomtechnikát, később pedig fontos kalibrációs méréseket tett lehetővé. Érdemes megjegyezni, hogy a világ első atomreaktora, amelynek célja a láncreakció fenntarthatóságának bizonyítása volt és amelyet *Fermi* indított el 1942-ben, szintén egy kritikus rendszer volt.

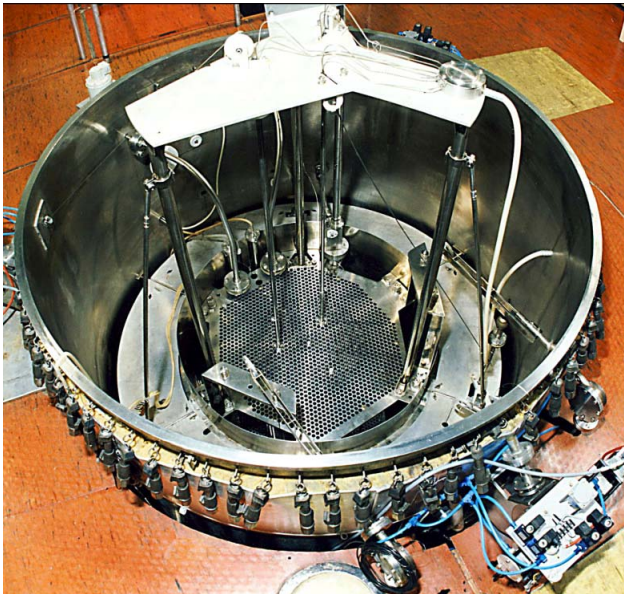
A kritikus rendszerek fontos tulajdonsága a flexibilitás. Míg a nagyobb teljesítményű reaktorok konfigurációja többé-kevésbé állandó, hiszen a konfiguráció bármilyen megváltoztatása jelentős erőfeszítést igényel, addig a kritikus rendszerekben fontos paraméterek, mint a dúsítás, a hőmérséklet, a fűtőelemek távolsága könnyen változtatható. Ezért a kritikus rendszerek sokféle szituáció modellezésére alkalmasak.

Az 1. ábrán látható a KFKI Atomenergia Kutatóintézetben létesített ZR-6³ kritikus rendszer. A ZR-6 a

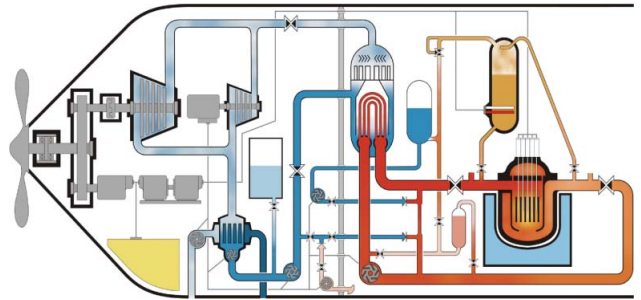
¹ KFKI – Központi Fizikai Kutatóintézet (1950–1991)

² ZR-4 – kritikus rendszer a KFKI-ban (1965–1985)

³ ZR-6 – kritikus rendszer a KFKI-ban (1972–1990)



1. ábra. A ZR-6 kritikus rendszer.



2. ábra. Speciális reaktor – tengeralattjáró energiaforrása.

VVER⁴ típusú atomerőművi reaktorok nukleáris modellje volt, 1972 és 1990 között több mint 300 különféle reaktorzóna konfigurációt vizsgáltak rajta [3]. A kísérletek eredménye bekerült nagy nemzetközi adatbázisokba [4], így hasznosult, de volt olyan eredmény is ami gyakorlati probléma, a sűrített rácsosztású tárolók biztonsága, megoldásában segített [5].

A kritikus rendszerek biztonsága jelentősen eltér a teljesítményreaktorokétól. A kis teljesítmény miatt a kritikus rendszereken bekövetkező balesetek környezeti hatása csekély, legtöbbször elhanyagolható.

A kritikus rendszerek teljesítménye nem állandó, hanem függ az éppen folyó kísérlet követelményeitől. A jellemző értékek néhány milliwatt és néhány száz watt közé esnek.

Speciális reaktorok

E csoportba sokféle és igen különböző reaktor tartozik, többségük haditechnikai célból készült és ezért viszonylag keveset lehet tudni róluk.

A speciális reaktorok legérdekesebb csoportja az, amely járművek hajtására szolgál. Tekintettel arra, hogy a reaktorok mérete nem lehet tetszőlegesen kicsi, bizonyos járműtípusok (közúti, vasúti) hajtása ma nem tűnik reálisnak. Egyelőre csak vízi járművek (hajók, tengeralattjárók) hajtását végzik reaktorok, de a tudományos fantasztikus irodalom az űrhajózásban is jelentős szerepet tulajdonít a reaktoroknak, ennek lehetősége nem cáfolható, ám ehhez több lényeges problémát kell még megoldani. A reaktorral hajtott járművek egy része hadi rendeltetésű (tengeralattjárók), ám más része (például jégtörők) békés célú. A 2. ábrán egy atom-tengeralattjáró látható.

⁴ VVER – víz-vizes energetikai reaktor (Voda-vodannij energieteszkijsz reaktor) – a PWR csoportba tartozik.

A világon elsőként épült reaktorok haditechnikai célokat szolgáltak. Később békésebb irányba fordult a helyzet, ma már a világban üzemelő reaktoroknak csak elenyésző hányada katonai felhasználású. A legfontosabb haditechnikai alkalmazás a plutónium termelése volt, a plutónium ugyanis alkalmas bomba alapanyagának, ám a természetben nem található meg. A plutónium termelése több évtizeden át jelentős intenzitással folyt. Mára minden nagyhatalom jelentős mennyiségű felesleges plutóniummal rendelkezik, ezért a katonai célú gyártást néhány éve teljesen megszüntették, és e tekintetben egymást ellenőrzik. A nemzetközi egyezmények tiltják a többi ország nukleáris fegyverkezését, ezen belül a plutónium termelését is, ezért, ha van is plutónium termelés valahol, arról tudni nem lehet.

A speciális reaktorok biztonsága nehezen megítélhető, hiszen a hadi felhasználás más biztonsági követelményeket támaszt, mint a békés, a járművek biztonságát pedig nem lehet kizárólag azok energiaforrásának biztonságához kötni. A speciális reaktorok teljesítménye kisebb az atomerőművek átlagos teljesítményénél ám sok esetben megközelítik azt.

Kutatóreaktorok

A kutatóreaktorok vagy a neutronfizikai kutatások eszközei, vagy a radioaktív izotópok előállítására alkalmas berendezések. Gyakori, hogy a két cél egy reaktorban valósítható meg (így van ez a Budapesti Kutatóreaktor esetében is), de vannak kizárólag neutronfizikai kísérleteket szolgáló és csak izotópot termelő reaktorok is. Kutatóreaktorok szolgálják az oktatás, képzés, továbbképzés céljait is. Szokás külön kategóriaként említeni a főleg vagy kizárólag oktatási célokat szolgáló oktatóreaktorokat. Mi ezt a megkülönböztetést nem tesszük meg, hiszen sem felépítésben, sem egyéb tulajdonságaiban nem különböznek a kutatóreaktorok és az oktatóreaktorok egymástól, a felhasználás pedig nem állandó és nem kizárólagos jellemzője egy reaktornak, hiszen egy kutatóreaktor bármikor használható oktatási célokra is, és egy oktató reaktor is alkalmas neutronfizikai kísérletekre.

A kutatóreaktorokon végezhető kísérletek spektruma igen széles. A már említett sugárkárosodás tanulmányozásán túl például neutronaktivációs analitika segítségével, igen kis mennyiségű anyag felhasználá-

sával határozható meg egy minta összetétele. Ennek fontos alkalmazása van például a bűnüldözés (nyomok elemzése) és a régészet (eredetmeghatározás) területén. A neutronradiográfia a röntgenradiográfiához hasonlóan fontos roncsolásmentes vizsgálati módszer, így vizsgálhatók például helikopterrotorok, amelyek épsége a helikopterek üzemben tarthatósága szempontjából elengedhetetlen. A neutronszórás (különösen a küsszőgű szórás) vizsgálata ugyancsak sok gyakorlati probléma megoldására alkalmas a különböző iparágak területén. E területen különösen a kisenergiájú neutronok hatékonyak, ezért alkalmaznak úgynevezett hidegneutron-forrásokat a kutatóreaktorok mellett. A hidegneutron-forrás lelke egy cseppfolyós hidrogén- vagy héliumtartály, amelyben az alacsony hőmérséklet (néhány kelvin) folytán a neutronok az egyébként elérhetőnél jóval kisebb energiára lassulnak le. A Budapesti Kutatóreaktor is rendelkezik hidegneutron-forrással.

A kutatóreaktorok felhasználásának másik fontos területe a radioaktív izotópok ellátása. Ezek az izotópok ma már nélkülözhetetlenek a gyógyászatban, mind a diagnosztika, mind a terápia számára. A radioaktív izotópok az iparban is fontos szerepet játszanak, sokféle vizsgálat (például csővezetékek, tartályok épségének ellenőrzése) más módszerrel nem vagy csak nehezen végezhető el. Azonban meg kell jegyezni, hogy a legtöbb radioaktív izotóp előállításának az a feltétele, hogy a reaktor teljesítménye (neutronfluxusa) elegendően nagy legyen és emellett a reaktor hosszabb ideig folyamatosan üzemeljen. A Budapesti Kutatóreaktorban állítanak elő radioaktív izotópokat, ám e területen még van tér a fejlődésre. A legfontosabb diagnosztikai célú izotóp, a ^{99}Tc előállítása még csak a tervek között szerepel.

A kutatóreaktorok teljesítménye jóval nagyobb a kritikus rendszerekénél, de lényegesen kisebb az átlagos atomerőművéknél. Jellemző teljesítményük 500 kW és 100 MW között van. Teljesítményen itt mindig hőteljesítményt értünk, hiszen kutatóreaktorok általában nem termelnek villamosenergiát. A kutatóreaktorok teljesítménye nem feltétlenül állandó, hanem függ az éppen folyó kísérletek igényeitől. A legtöbb kutatóreaktor az esetek többségében a maximális teljesítményen üzemeltetik, ám vannak impulzusreaktorok is (például TRIGA⁵) ahol egyes kísérletekben rövid ideig az állandó teljesítmény sokszorosán is lehet üzemelni.

Meg kell jegyezni, hogy a kisebb teljesítményű reaktorok kihasználtsága általában problematikus. Ennek oka nem feltétlenül a reaktor teljesítményében keresendő, hanem abban, hogy ilyen reaktorok többnyire iparilag fejletlenebb országokban üzemelnek. A tíz MW feletti teljesítményű reaktorok általában olyan keresettek, hogy azokon nyalábidőt kapni csak kiemelkedően jó mérési programmal lehet. A fél – két MW teljesítményű reaktorok viszont gyakran kihasználatlanok és alig néhány órát üzemelnek évente. A 3. ábrán a Budapesti Kutatóreaktor [6] látható.

⁵ TRIGA – oktató-, kutató-, izotóptermező-reaktor, a General Atomics gyártmánya (Training, Research, Isotopes, General Atomics).



3. ábra. A Budapesti Kutatóreaktor.

A reaktortömböt körülvevő narancssárga kádak bórsavat tartalmaznak és az egyes csatornáknál kialakított mérőhelyek árnyékolását szolgálják. A képen jól látszik, hogy a reaktor kihasználtsága jó, hiszen teljesen körbe van építve mérőhelyekkel. A Budapesti Kutatóreaktor teljesítménye 10 MW.

A kutatóreaktorok biztonsága kiemelkedő. Ennek oka az, hogy a kutatóreaktorokkal szemben általában ugyanazokat a követelményeket támasztják, mint az atomerőművekkel szemben, viszont a kutatóreaktorok kisebb teljesítménye és egyszerűbb szerkezete (az energiatermelő részek hiánya miatt) folytán a kockázat még kisebb. Nincsen tudomásunk kutatóreaktorban bekövetkezett jelentős balesetről.

A kutatóreaktorok száma nagyjából megegyezik az atomerőművi blokkok számával, azaz néhány száz. A fejlett atomtechnikával rendelkező országokban általában jóval kevesebb a kutatóreaktor mint az atomerőmű, viszont sok atomerőművet nem üzemeltető ország rendelkezik kutatóreaktorral.

Irodalom

1. Király Márton, Radnóti Katalin: Az atomerőművek működéséről egyszerűen, típusaik és jövőjük – 1–3. rész *Fizikai Szemle* 66 (2016) 331–336., 372–377., 403–407.
2. Elter J., Gadó J., Holló E., Lux I. (szerk.) *Atomreaktorok Biztonsága*. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest (2013) 53–76. (ISBN:978-963-312-180-1)
3. Bárdoš J., Becker R., Dabrowski C., Gácsi L., Gadó J., Józefowicz E. T., Kravchenko Iu. Ia., Krinizs K., Stanolov A., Szatmáry Z., Turi L., Vidovszky I.: *Final report of TIC, Volume 1. Experimental Investigations of the Physical Properties of WWER-type Uranium – Water Lattices*. Akadémiai Kiadó, Budapest 1985.
4. OECD NEA: *International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments*.
5. J. Gadó, I. Vidovszky: Influence of Water Density Change on Criticality Parameters in Special Fuel Lattices. *Nuclear Science and Engineering* 104 (1990) 217.
6. Vidovszky I.: The Budapest Research Reactor. *Science & Technology in Hungary* 10 (2000) 176.

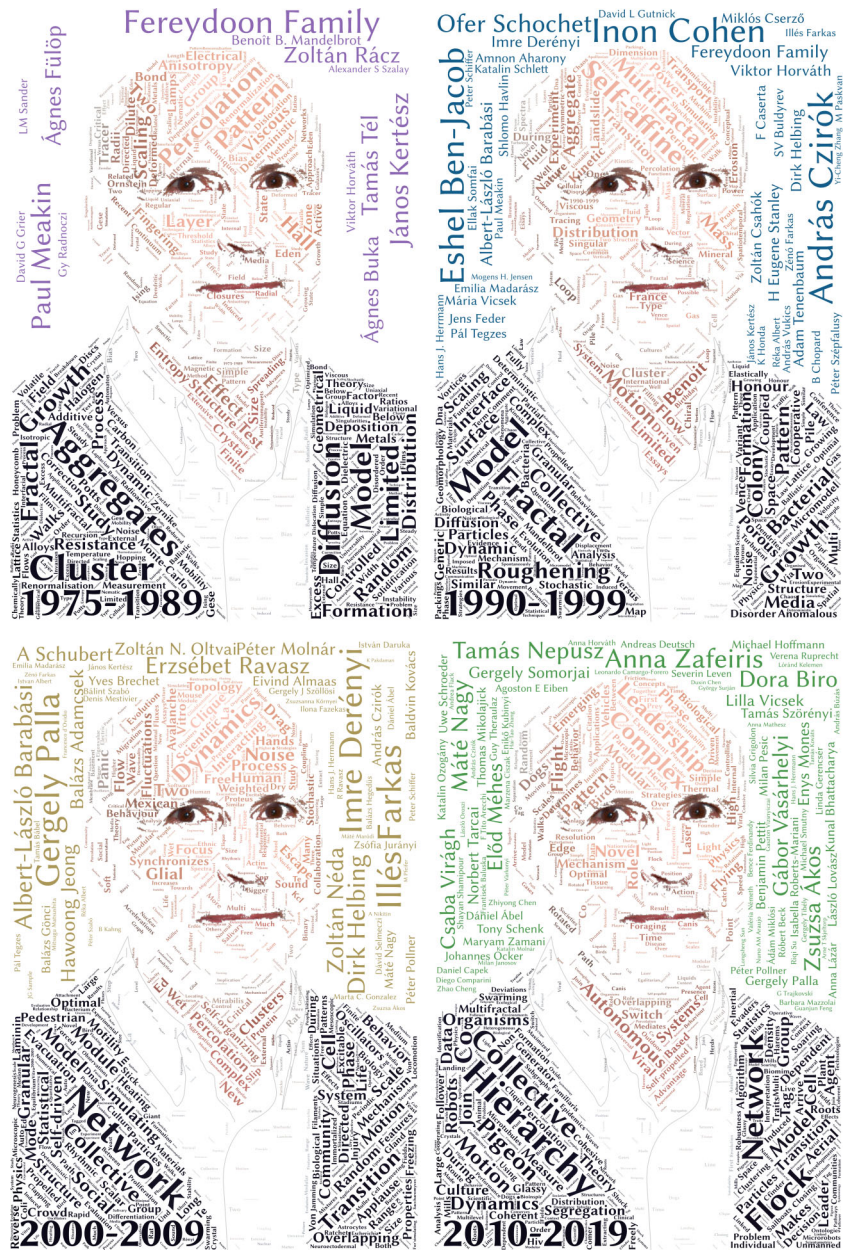
LARS ONSAGER-DÍJ – 2020

Vicsek Tamásnak, John Tonernek és Yubai Tunak ítelték oda a 2020. évi Lars Onsager-díjat [1]. Az American Physical Society (APS) által 1995 óta évente kiosztott rangos elismeréssel elsősorban a statisztikus fizika kiemelkedő jelentőségű képviselőit díjazták. Vicsek Tamás az első hazai díjazott.

Az Onsager-díj odaítélését az APS – a Magyar Tudományos Akadémia honlapján megjelent közlemény szerint [2] – a következőkkel indokolja: „azokért az alapvető kutatási eredményekért, amelyek a csoportos mozgás elméletének kidolgozásával megalapozták az aktív anyagokra vonatkozó tudományterület létrejöttét és fejlődését, és ezáltal rávilágítottak a statisztikus fizika centrális szerepére az élő rendszerekben lejátszódó önszerveződő folyamatok megértésében”.

Vicsek Tamás eddigi életműve rendkívül érdekes és kiemelkedően szerteágazó, a fraktáloktól [3] kezdve a hálózatkutatáson [4] át a csoportos mozgás [5] vagy a hierarchia [6] elméletének kutatásáig (1. ábra). A Google Scholar szerinti ötvenezer feletti hivatkozásának oka a valódi úttörő gondolkodás, amivel minden életszakaszában új tudományterületek létrehozását serkentette, folyamatos újdonságkereséssel és az ehhez szükséges végtelen kitartással és türelemmel. Aki ismeri, tudja, hogy Tamás igazi pionír gondolkodó, sohasem áll meg, öt-tíz évente merőben új irányokba vág bele és a nyomdokaiban kialakuló közösségekre hagyja a születő új tudományterületek részleteinek kidolgozását.

A csoportos mozgás statisztikus fizikai kutatását Vicsek Tamás és társszerzői leghivatkozottabb, ötezer feletti citációval rendelkező 1995-ös cikke indította útjára [7] (2. ábra), amit Tamás saját elmondása szerint többek között az akváriumában úszkáló halai inspiráltak. Statisztikus fizikusként a halak (és mint azóta kiderült: többek között a sejtek, baktériumok, rovarok, madarak, különböző emlősállatok és az emberek is) felfoghatók olyan különleges „részecskéknek”, amelyek két rendkívüli



1. ábra. Vicsek Tamás változatos munkásságának bemutatása „évtizedes” bontásban a cikkek címeiben megjelenő szavak és a társszerzők segítségével. Angol nyelvű és legalább 1 hivatkozással rendelkező 287 cikk összegzése látható 4 periódusra bontva (1975–1989, 1990–1999, 2000–2009 és 2010–2019). Félkövér betűvel ábrázoltuk Vicsek Tamás szerzőségével írt cikkei címeiben megjelenő szavakat, amelyek mérete az előfordulásukkal arányos. Normál betűvel (Tamás mellett) a társszerzői láthatók, a nevek mérete az adott szerzőtárs Tamással közös cikkeinek összegzett hatását mutatja a következő módon. Egy cikk járulékanak számolásánál a szerzők számával leosztva súlyoztuk a cikkekre kapott hivatkozások átlagos éves számát. A szerzőtársak nevének méretéhez ezt összegeztük, és súlyoztuk továbbá egy logaritmikus skálán a cikkekre kapott átlagos éves, társszerzőre vonatkoztatott hivatkozásszámmal (adatok: Pollner Péter és Nagy Máté, fotó: Báthory Péter – wikipedia).

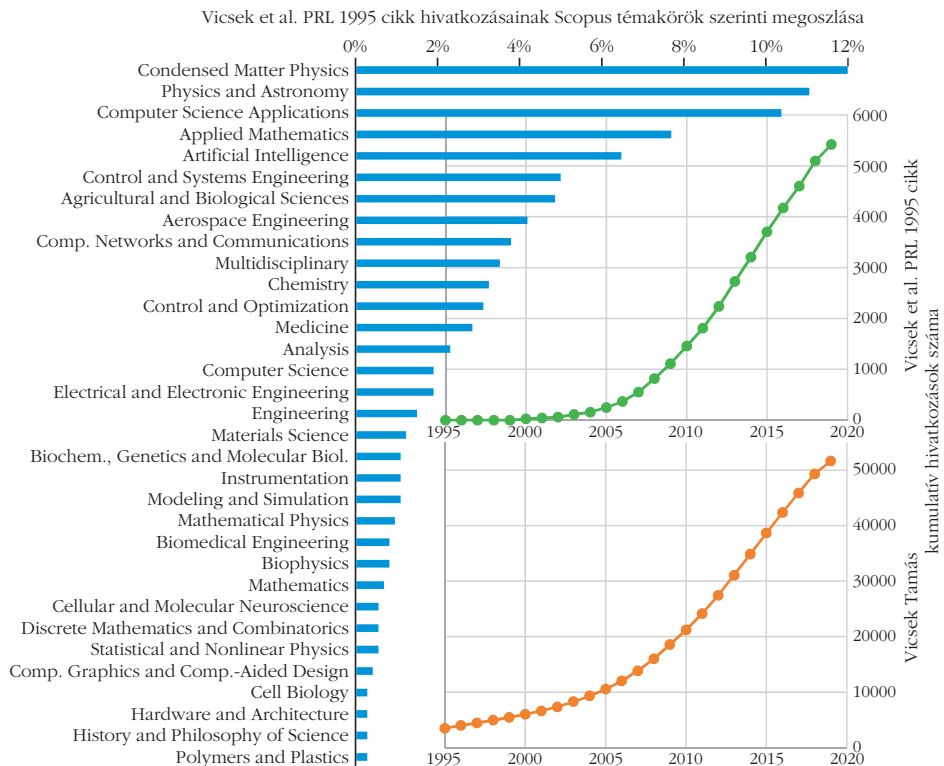
tulajdonsággal bírnak az egyensúlyi rendszerekből jól ismert Brown-mozgást létrehozó „passzív” részecskékhez képest: egyrészt önhajtók, azaz „aktív” részecskék, másrészt fizikai kontaktus nélkül is képesek egymáshoz igazodni.

A statisztikus fizikai analógiákat ezekre az aktív, azaz nemegyensúlyi rendszerekre kiterjeszteni a kilencvenes években merőben új gondolatnak számított, és ezen új gondolat első képviselője volt Vicsek Tamás, aki ezekben az önhajtott rendszerekben az akkor új trendnek számító, ház méretű szuperszámítógépek segítségével, szimulációkkal vizsgálta a klasszikus statisztikus fizikából ismert fázisátalakulások analógiáit. Toner és Tu pedig – Tamás eredményeire alapozva – egy folytonos hidrodinamikai modellel először írta le az élőlények csoportos mozgását és a rendszer skálázhatóságát [8].

Érdekesség, hogy Tamástól függetlenül, egészen más nézőpontból jutott az élőlények mozgásának leírásához Reynolds [9]. Ő olyan modellt dolgozott ki, amely valóságosan mozgó, szimulált rajokat és csordákat hozott létre a számítógépes grafikában használt vizuális effektekhez. Harmadik, szintén független szálon Aoki alkotott halak mozgásának reprodukálására számítógépes modellt [10]. Tamás azt is felismerte, hogy élőlények csoportos rendszerében a zaj nem valamiféle szükséges rossz, hanem a rendezett-rendezetlen állapotok közötti átmenethez nélkülözhetetlen faktor. Az igazán érdekes – és sokszor a természetben releváns – folyamatok pont a rendezett-rendezetlen átmenet határának közelében valósulnak meg, mivel zaj nélkül a raj túlságosan „befagyott” lenne, nem tudna adaptívan reagálni.

A csoportos mozgás, a csoportos viselkedés, az aktív anyagok és a nemegyensúlyi statisztikus fizika mára óriási, szerteágazó tudományágak halmazává fejlődött, ahol egy dolog nem változott: azóta is aktív téma a végtelenül egyszerű, mégis lenyűgözően gazdag dinamikát nyújtó „Vicsek-modell” valamilyen továbbfejlesztett módozatának alapos vizsgálata.

Tamás csoportos mozgással kapcsolatos munkásságát az ELTE Biológiai Fizika Tanszék alapító tanszékvezetőjeként, később az MTA–ELTE Statisztikus és Biológiai Fizika Kutatócsoport vezetőjeként bontakoztatta ki. A statisztikus fizika alapelveinek komplex biológiai rendszerekre történő alkalmazása igazi multidiszciplináris kihívást jelentett, ami azonban sokrétű sikert hozott. Igazi iskolateremtői munkássága révén tanítványai közül sokan mára egy-egy önállóvá vált



2. ábra. Az Onsager-díj odaítélését is motiváló 1995-ös *Physical Review Letters* cikk hivatkozásai az azok téma szerinti megoszlása. A hivatkozó cikkek Scopus témaköreinek relatív gyakorisága az MTMT adatai alapján. Szerteágazó tudományterületeket inspirált a cikk, a statisztikus fizikán kívül, a számítástechnika, a mérnöki tudományok vagy akár a biológia területén. A megjelenített lista nem teljes, csak az 1% (átlagosan 5 hivatkozás) feletti témaköröket tüntettük fel. Belül: a cikk és Vicsek Tamás kumulatív hivatkozásainak idő szerinti eloszlása. A cikk úttörő jellegét mutatja az is, hogy a hivatkozások számának jelentős növekedése a 2000-es évek közepétől indult meg.

tudományterület kiemelkedő alakjai. Tamás leghivatkozottabb cikkeinek diákként nála kezdett társszerzői közé tartozik Barabási Albert László bostoni hálózatkutató, Derényi Imre, a Biológiai Fizika Tanszék jelenlegi tanszékvezetője, Palla Gergő hálózatkutató, a Biológiai Fizika Tanszék tudományos főmunkatársa, valamint Czirók András kansasi sejtbiológus, aki az Onsager-díj odaítélését motiváló 1995-ös cikkhez is jelentős mértékben – többek között a szimulációk programozásával – járult hozzá.

A különböző csoportdinamikával kapcsolatos alapvető kutatási eredmények ezen túlmenően az élet számtalan területén váltak gyors ütemben hasznos segéd-eszközzé és innovatív alkalmazássá. Példaként, a pánik-menekülés szimulációs vizsgálatával olyan tudásra tett szert az emberiség Tamás által, amivel azóta – a tudatos épülettervezéssel – emberi életek felesleges kioltását lehetett megelőzni [11]. A biológiai rendszerek statisztikus fizikai vizsgálatával az etológusok olyan adatfeldolgozási eszköztárhoz jutottak, amely számos komplex élő rendszer működésének megértéséhez nyitott ki addig zárt kapukat. Mára tudjuk, hogy a vezető és követők olyan dinamikusan változó, mégis robusztus rendszere szerint repül együtt egy galambcsapat, amit akár egy jól menő nagyvállalat vezetése is megirigyelhetne [12]. Érdekes megemlíteni továbbá a sejt szintű csoportos mozgások kutatását, ami mind az embrionális fejlődés

dés, mind a normális (például sebgyógyulás [13]) és a kóros folyamatok (például rákos sejtek viselkedése) megértéséhez alapvető fontosságú [14]. A csoportos mozgás alapelveinek mesterséges egyedekbe ültetésével pedig a világ első sokegyedes önszerveződő drónrajai is Tamás keze közül kerültek ki [15].

A kezdetben szigorúan alapkutatási eredmények tényleges piaci hasznosításában is kiemelkedő példa Tamás munkássága, aki az ELTE-n számos startup-céget is alapított, amelyek közül több azóta is gyors ütemű sikeres növekedési szakaszban van, például a hálózat kutatás (Maven7) vagy a drónrajok (CollMot) világában.

A díjhoz ezúton is gratulálunk és kívánunk további hosszú, eredményes és örömteli kutatómunkát!

Vásárhelyi Gábor, Nagy Máté, Zafeiris Anna

Irodalom

1. <https://www.aps.org/programs/honors/prizes/onsager.cfm>
2. https://mta.hu/mta_hirei/vicsek-tamas-az-mta-rendes-tagja-elnyerte-az-onsager-dijat-109990
3. Vicsek, T.: *Fractal growth phenomena*. World Scientific, 1992.
4. Palla, G., Derényi, I., Farkas, I., Vicsek, T.: Uncovering the overlapping community structure of complex networks in nature and society. *Nature* 435/7043 (2005) 814.
5. Vicsek, T., Zafeiris, A.: Collective motion. *Physics Reports* 517/3–4 (2012) 71–140.
6. Zafeiris, A., Vicsek, T.: *Why We Live in Hierarchies?: A Quantitative Treatise*. Springer, 2017.
7. Vicsek, T., Czirók, A., Ben-Jacob, E., Cohen, I., Shochet, O.: Novel type of phase transition in a system of self-driven particles. *Physical Review Letters* 75/6 (1995) 1226.
8. Toner, J., Tu, Y.: Long-range order in a two-dimensional dynamical XY model: how birds fly together. *Physical Review Letters* 75/23 (1995) 4326.
9. Reynolds, C. W.: Flocks, herds, and schools: A distributed behavioral model. *Computer Graphics* (1987) 25–34.
10. Aoki, I.: A simulation study on the schooling mechanism in fish. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 8 (1982) 1081–1088.
11. Helbing, D., Farkas, I., Vicsek, T.: Simulating dynamical features of escape panic. *Nature* 407/6803 (2000) 487.
12. Nagy, M., Akos, Z., Biro, D., Vicsek, T.: Hierarchical group dynamics in pigeon flocks. *Nature* 464/7290 (2010) 890.
13. Szabo, B., Szöllösi, G. J., Gönci, B., Jurányi, Z., Selmeczi, D., Vicsek, T.: Phase transition in the collective migration of tissue cells: experiment and model. *Physical Review E* 74/6 (2006) 061908.
14. Méhes, E., Vicsek, T.: Collective motion of cells: from experiments to models. *Integrative Biology* 6/9 (2014) 831–854.
15. Vásárhelyi, G., Virágh, C., Somorjai, G., Tarcai, N., Szörényi, T., Nepusz, T., Vicsek, T.: Outdoor flocking and formation flight with autonomous aerial robots. In *2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. IEEE (2014) 3866–3873.

AZ ATOMNÁL KISEBB MÉRETŰ RÉSZECSKÉK ÖSSZEFOGLALÓ RENDSZEREZÉSE

Tóth Miklós
Budapest

Az alábbi írás bemutatja az atomnál kisebb méretű részecskék áttekinthető, összefoglaló rendszerezését. Áttekintjük azokat a fogalmakat, amelyek alapján a részecskék osztályozása és tulajdonságai összefoglalhatók.

Kvantumszám a kvantummechanikában a részecskéknek valamely tulajdonságát kifejező mennyiség, a részecskék megkülönböztetésére is használjuk.

A *részecskék* alapvető *osztályozása* két szempont alapján történhet. Az egyik szempont a *spin*, a másik a *részecske szerkezete*.

Köszönetemet fejezem ki Raics Péternek és Trócsányi Zoltánnak a hasznos tanácsokért és a lektori munkáért.



Tóth Miklós (1940) BME-n szerzett vegyészmérnöki és irányítástechnikai szakmérnöki oklevelet. Mérnöki munkái során részt vett a magyar papíripar és nyomdaipar hazai és külföldi legnagyobb beruházásai technológus tervezői, illetve a beruházások tervezői munkáit fogta össze, mint létesítményfőmérnök.

A *spin* a részecske sajátperdület, amely azonban nem a részecske forgásából származik, hanem annak az *elemi* (a mozgásához nem köthető) *mágneses momentumát leíró kvantumszáma*. A spin alapján megkülönböztetünk 0 és pozitív egész számú, valamint feles spinű részecskéket. Előbbiekbe a *bozonok*, utóbbiakba a *fermionok* tartoznak. Az atomok elektron-szerkezeténél már megismert *Pauli-elv* – természetesen – a részecskefizikában is érvényes. Eszerint két vagy több fermion összes kvantumszáma nem egyezhet meg. A *bozonokra a Pauli-elv nem érvényes*: akárhány bozon lehet ugyanabban az állapotban, vagyis megengedett, hogy két vagy több bozon minden kvantumszáma megegyezzen.

A *részecske szerkezete alapján* megkülönböztetünk *elemi részecskéket* – amelyek mai ismeretünk szerint – további részekre nem bonthatók, valamint *összetett részecskéket*, amelyek az előbbiekből épülnek fel.

Az elemi részecskék a *leptonok* és a *kvarkok*, amelyek között a mértékbozonok közvetítik az erőket (kölsönhatásokat). A táblázat *kölsönhatás* oszlopában az szerepel, hogy az általánosan elfogadott *standard modellben* az egyes részecskék milyen kölsönhatásokban vesznek részt: elektromágneses (e.m.), erős, gyenge, gravitációs.

osztályozás		név	jel		elektromos töltés (Q/e)	kvarkösszetétel	kölsönhatás	spin, paritás, izospin								
spin alapján	szerkezet alapján		részecske	anti-részecske				spin (h/2π)	paritás P	izospin						
	elemi részecske									összetett részecske	I	I ₃				
bozon	térvákuum (mértékbozon)		foton		γ		0		e.m.	1	-					
			gyenge bozon		W ⁺		+1		gyenge	1						
					W ⁻		-1			1						
					Z ⁰		0			1						
					Higgs-bozon	H ⁰	0			0						
			graviton				0		gravit.	0						
			gluon		g _i (i=1-8)		0		erős	2	+					
	mezon		pi-mezon (pion)		π ⁰		0	(1/√2)(uū-dđ)		1	-	0				
			K-mezon (kaon)		π ⁺	π ⁻	+1	-1		uđ	uđ	0	-	1	0	
					K ⁺	K ⁻	+1	-1		us	us	0	-	1/2	+1	-1
			éta-mezon		K ⁰	K ⁰	0			dš	dš	0	-	1/2	+1/2	-1/2
					ró-mezon		η ⁰			0	(1/√2)(uū+dđ)	0	-	0	0	0
			J-psi mezon		ρ ⁰		0	(1/√2)(uū-dđ)		1	-	0	0	0		
			J-psi mezon		J/ψ		0	cđ	1	-	0	0	0			
fermion	hadron	barion	nukleon		proton	p	p̄	+1	-1	uud	uūđ	1/2	+	1/2	+1/2	
					neutron	n	n̄	0		udd	uđđ	1/2	+	1/2	-1/2	
			lambda-hiperon		Δ ⁰		0		uds		1/2	+	0	0		
					delta-baron		Δ ⁺⁺		2	uuu		3/2	+	3/2	+3/2	
			szigma-hiperon		Σ ⁺	Σ ⁺	+1	-1	uus	uūš	1/2	+	1	+1		
					Σ ⁰	Σ ⁰	0		uds	uđš	1/2	+	1	0		
					Σ ⁻	Σ ⁻	-1	+1	dds	dđš	1/2	+	1	-1		
	kszi-hiperon		Ξ ⁰	Ξ ⁰	0		uss	ušš	1/2	+	1/2	+1/2				
			Ξ ⁻	Ξ ⁻	-1	+1	dds	dđš	1/2	+	1/2	-1/2				
	omega-hiperon		Ω ⁻	Ω ⁻	-1	+1	sss	ššš	3/2	+	0	0				
	lepton		ízek													
			I. család													
			elektron-neutrínó		ν _e	ν̄ _e	0			gyenge	1/2					
			elektron		e ⁻	e ⁺	-1	+1		e.m., gyenge	1/2					
II. család																
műon-neutrínó			ν _μ	ν̄ _μ	0			gyenge	1/2							
műon			μ ⁻	μ ⁺	-1	+1		e.m., gyenge	1/2							
III. család																
tau-neutrínó			ν _τ	ν̄ _τ	0			gyenge	1/2							
tau			τ ⁻	τ ⁺	-1	+1		e.m., gyenge	1/2							
kvark		ízek														
		I. család														
		u-kvark		u	ū	+2/3	-2/3		e.m., gyenge, erős	1/2	+	1/2	+1/2			
		d-kvark		d	d̄	-1/3	+1/3			1/2	+	1/2	-1/2			
		II. család														
		c-kvark		c	c̄	+2/3	-2/3			1/2	+	0	0			
		s-kvark		s	s̄	-1/3	+1/3			1/2	+	0	0			
		III. család														
t-kvark		t	t̄	+2/3	-2/3		1/2	+		0	0					
b-kvark		b	b̄	-1/3	+1/3		1/2	+		0	0					

kvantumszámok										Pauli- elv	
gyenge izospin		szín	íz (flavour, zamat)				leptonszám	barionszám			
T	T ₃	a = r, g, b anti: $\bar{a} = \bar{r}, \bar{g}, \bar{b}$	C	S	T*	B*	L	B			
							0	0		nem érvényes	
							0	0			
							0	0			
							0	0			
							0	0			
							0	0			
		$\bar{a}_i \bar{a}_j$ $\bar{a}_i, \bar{a}_j = r, g, b \quad a_i \neq a_j$									nem érvényes
		$\bar{a}\bar{a}$	0	0	0	0	0	0			
		$\bar{a}\bar{a} \quad \bar{a}\bar{a}$	0	0	0	0	0	0			
		$\bar{a}\bar{a} \quad \bar{a}\bar{a}$	0	+1 -1	0	0	0	0			
		$\bar{a}\bar{a} \quad \bar{a}\bar{a}$	1	+1 -1	0	0	0	0			
		$\bar{a}\bar{a}$	0	0	0	0	0	0			
		$\bar{a}\bar{a}$	0	0	0	0	0	0			
		$\bar{a}\bar{a}$	0	0	0	0	0	0			
		rgb $\overline{\text{rgb}}$	0	0	0	0	0	+1	-1		
		rgb $\overline{\text{rgb}}$	0	0	0	0	0	+1	-1		
		rgb	0	-1	0	0	0	+1			
		rgb	0	0	0	0	0	+1			
		rgb $\overline{\text{rgb}}$	0	-1 +1	0	0	0	+1	-1		
		rgb $\overline{\text{rgb}}$	0	-1 +1	0	0	0	+1	-1		
		rgb $\overline{\text{rgb}}$	0	-1 +1	0	0	0	+1	-1		
		rgb $\overline{\text{rgb}}$	0	-2 +2	0	0	0	+1	-1		
		rgb $\overline{\text{rgb}}$	0	-2 +2	0	0	0	+1	-1		
		rgb $\overline{\text{rgb}}$	0	-3 +3	0	0	0	+1	-1		
										érvényes	
1/2	+1/2 -1/2						+1 -1	0			
1/2	-1/2 +1/2						+1 -1	0			
1/2	+1/2 -1/2						+1 -1	0			
1/2	-1/2 +1/2						+1 -1	0			
1/2	+1/2 -1/2						+1 -1	0			
1/2	-1/2 +1/2						+1 -1	0			
1/2	+1/2 -1/2	a \bar{a}	0	0	0	0	0	+1/3	-1/3		
1/2	-1/2 +1/2	a \bar{a}	0	0	0	0	0	+1/3	-1/3		
1/2	+1/2 -1/2	a \bar{a}	+1 -1	0	0	0	0	+1/3	-1/3		
1/2	-1/2 +1/2	a \bar{a}	0	-1 +1	0	0	0	+1/3	-1/3		
1/2	+1/2 -1/2	a \bar{a}	0	0	+1 -1	0	0	+1/3	-1/3		
1/2	-1/2 +1/2	a \bar{a}	0	0	0	-1 +1	0	+1/3	-1/3		

Az összetett részecskék közé a hadronok tartoznak. A részecskék kvarkösszetétele csak itt játszik szerepet. A hadronok a spin alapján két csoportra oszthatók: a 0 és egész spinű mezonokra, amelyek egyúttal bozonok is, valamint a feles spinű barionokra, amelyek a fermionok közé tartoznak.

A barionok közül az atommag két fontos alkotórészét, a protonokat és neutronokat gyűjtő néven nukleonoknak, a többi pedig hiperonoknak nevezik.

A részecskék elektromos töltése az elemi töltés előjeles egységében szerepel.

A részecskék színtöltése nem megfigyelhető, mert a detektorok által észlelt részecskék mindig színsemlegesek. Így a feltüntetett színkvantumszámok az elemi részecskék esetén az elvi lehetőségeket fejezik ki, az irodalomban szokásos r, g és b jeleket használva a három lehetőségre. Az összetett részecskéknél pedig a lehetőségeken túl a színsemlegességet is tartalmazza a jelölés. A mezonok esetén ugyanaz a szín- és antiszíntöltés (a \bar{a} , a = r, g vagy b) biztosítja a színsemlegességet, a barionokban pedig a három kvark három különböző színtöltése (rgb) lesz a színsemleges kombináció. A gluon különleges: mindig egy színből és a tőle különböző antiszínből áll.

A táblázatban a jelenleg ismert több ezer összetett részecskének csak töredéke szerepel, de az osztályozás szempontjai és a részecskék tulajdonságait kifejező, jelenleg ismert és használt kvantumszámokkal

minden részecske beilleszthető e rendszerbe. A ma már ismert, de a táblázatból jelenleg hiányzó részecskék elhelyezése egyszerűen újabb sorok beszúrásával megoldható. Ha a részecskefizika a jövőben újabb részecskéket fedez fel és emiatt esetleg újabb kvantumszámokat kell bevezetni, akkor az egyszerűen újabb sorok és oszlopok beszúrásával megoldható. Ugyanis a részecskefizikában eddig az volt a gyakorlat, hogy ha olyan részecskét fedeztek fel a kísérletek során, amelynek tulajdonságai az addig használt kvantumszámokkal nem voltak értelmezhetőek, akkor új kvantumszám és esetleg új megmaradási törvény bevezetésével sikerült a kísérletek tapasztalataival összhangba hozni az elméletet.

Úgy véljük, hogy a táblázat gyors áttekinthetősége és rendszerszemlélete elősegíti, hogy az új eredményeket hatékonyan illeszthessük be a meglévő ismereteink közé.

A részletesebb fizikai alapok és a felhasznált adatok a következő munkákban találhatóak:

Fényes Tibor: *Atommagfizika II. Részecskék és kölcsönhatásaik*. 3. korszerűsített kiadás, Debreceni Egyetemi Kiadó, 2013.

M. Tanabashi et al. (Particle Data Group), *Phys. Rev. D* 98 (2018) 030001., http://pdg.lbl.gov/2018/html/computer_read.html

Raics Péter: *Atommag- és részecskefizika*. eMagreszfiz.pdf és kiegészítő anyagai a <http://falcon.phys.klte.hu/~raics/public/11eMagReszFiz/>

Horváth Dezső, Trócsányi Zoltán: *Bevezetés az elemi részecskék fizikájába*. Typotex, Budapest, 2017.

SiPM-TESZTELÉSSEL A PONTOSABB MÉRÉSÉRT

– a precíziós orvosi képalkotásban és a részecskefizikában

A SiPM (Silicon PhotoMultiplier, szilícium alapú foton számláló) egy félvezető-technológiával gyártott érzékelő, ami nagy sebességgel, másodpercenként akár milliárdszor is képes a felületére érkező fotonok számával arányos jelet adni. Ezt fogják használni az Európai Nukleáris Kutatási Szervezet (CERN) CMS (Compact Muon Solenoid) detektorának precíziós időmérő eszközében. A fizikai célok eléréséhez elengedhetetlen a szenzorok alapos tesztelése, és a CERN projektjében való részvétel számos kutatócsoport álma, egy igazi minőségi jelző az ipar számára is. *Ujvári*

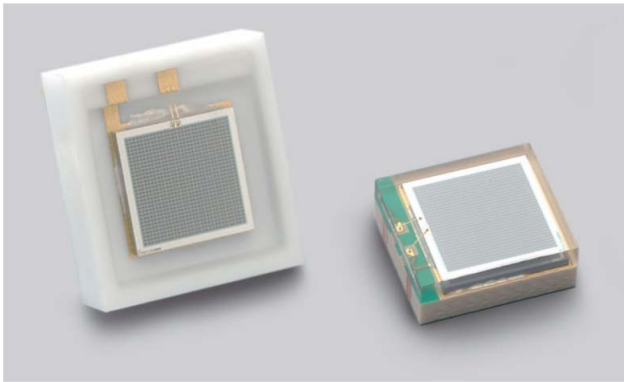


Ujvári Balázs fizikus, adjunktus lassan 20 éve a Debreceni Egyetem oktatója. Két nagy részecskefizikai központ, a CERN és a BNL csoportok vezetője. Évente tucatnyi egyetemista – BSc/MSc – és PhD-hallgató témavezetője, általában a részecskefizika és a detektorok témaköréből.

Balázs vezetésével a Debreceni Egyetem CMS csoportja ezért jelenleg százezernyi SiPM tesztelését vállalta egy másik projekt keretében, amely fontos mérföldkő lehet számukra, hiszen esélyt adhat bekerülni a CERN projektjébe. Erről és a SiPM tesztelés precíziós orvosi képalkotásban várható jelentőségéről beszélgettünk Ujvári Balázzsal, a Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológia Kara Fizikai Intézetének adjunktusával.

– *Miért különleges az Ön által vezetett kutatás, amelynek során SiPM félvezető technológiával gyártott érzékelőt tesztelnek?*

– A fotonok számlálásának sok évtizedes múltja van, az ipar több jól működő szenzort képes tömegtermelésben előállítani, ezzel segítve a költséghatékony detektorok elterjedését a fizikában, de még inkább az orvosi képalkotásban (például PET). A felhasználási feltételek azonban sokat változtak, ma erős mágneses térben is működő, nagyon gyors és vékony, nagy dinamikai tartományban lineárisan mérni képes érzékelőre van szükség. Ezeket az igényeket ma csak SiPM szenzorokkal lehet lefedni, de



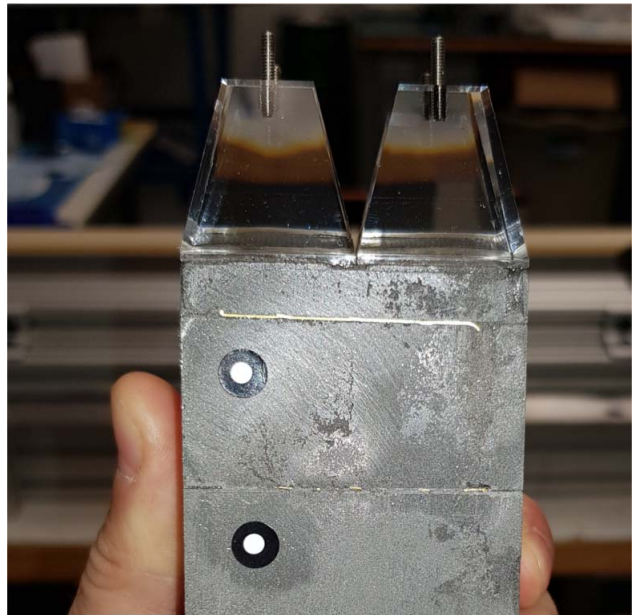
Egy 3×3 mm-es SiPM, amelynek felületén 14 400 darab 25 μm-es pixel képes a fotonokat érzékelni, elektromos impulzussá alakítani.

ezek – gyártástechnológiájuk miatt – elsősorban hőmérsékletre, de például a felületüket ért radioaktív sugárzás intenzitására, fajtájára, energiájára is érzékenyek. A SiPM-eket eddig a gyári, részleges, inkább csak minőségbiztosítási mérések alapján válogatták, csoportosították és építették be, de egyes precíz mérésekhez ez kevés. Ilyen esetben alapos tesztelésre, ennek a kiértékelésére, majd a válogatásra lehet szükség, hogy olyan detektorok készüljenek, amelyek ezáltal pontosabbak lesznek. A SiPM-eket ritkán használják egyenként, egy lapkára legtöbbször 16-32-64 darabot szerelnek fel, közös a tápfeszültségük, fizikailag egy dobozba kerülnek, így azonos a hőmérsékletük, a felületüket érő sugárzás, emiatt úgy tekinthetjük, mintha egy nagy SiPM-et alkotnának. Ezért e lapkákon a lehető legtöbb tulajdonságban nagyon hasonló SiPM-eket kell elhelyezni, hiszen kiértékelhetetlenné teszi mérést, ha a környezet – például hőmérséklet – változására eltérően reagálnának. Az eltérés egy szintig ugyan kompenzálható, de az mindig hibaforrás a mérésben, a pontos mérés eléréséhez egyszerűbb, ha minden tulajdonságukban eleve nagyon hasonló vagy azonos SiPM-ekkel szerelni a lapkákat.

Több kísérlet is teszteli a SiPM-eket, miután többet felszereltek egy nyomtatott áramkörre, de ezek már csak utólagos minőség-ellenőrzések. Fejlesztésünk ezekkel szemben abban egyedi, hogy képesek vagyunk a gyárból kapott SiPM-eket nagy tételben, gyakorlatilag az összes fontos paraméterre tesztelni, így ezen tesztek kiértékelése után kerülnek a SiPM-ek felszerelésre. Akkor lehet pontos detektort készíteni, ha az alkatrészeket úgy rendeljük, teszteljük, válogatjuk, hogy folyamatosan a kívánt pontosság van a szemünk előtt, és minden lépésünket ez alapján tervezük meg.

– *A projekt egyik célkitűzése, hogy sikerüljön egy CERN programba is bekerülni. Ez pontosan mit jelenthet az Önök számára?*

A CERN a részecskefizika „Vatikánja”. Hihetetlen verseny folyik azért, hogy ki kerüljön be. Magyarország szerencsére időben belépett, nekünk a legfontosabb, hogy jelenlétünk folyamatos legyen. Eddig is sok sikeres kisebb projektet fejeztünk be Debrecenből, ez most egy jó lehetőség, hogy a következő né-

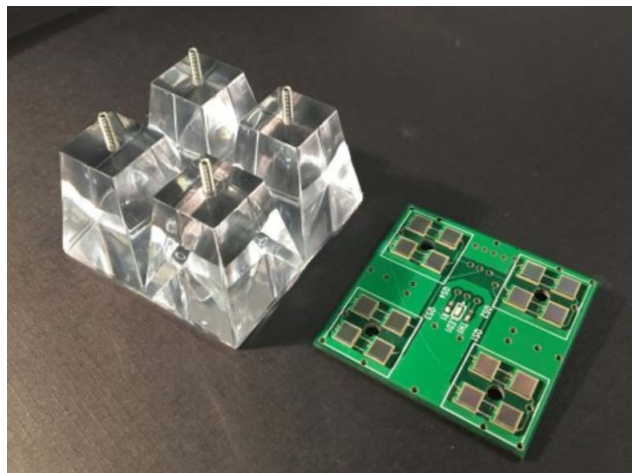


Egy részecskefizikai detektor elemi egysége (annak is részlete), ebből több tízezer lesz beépítve.

hány évben is „látszódjunk”. Ez a SiPM tesztelés még egyáltalán nem terjedt el. Túl sok gépész-, villamosmérnöki vonzata van, és mivel nem elterjedt, nincsenek cégek, amelyek ehhez gyártanának (fél)kész megoldásokat, hozadékához képest pedig túl drága egy nyugati egyetemnek. A kalibrációk különösen alkalmasak, hogy évekre jelen legyünk, hiszen amelyik csoport kalibrált, az szinte biztosan ott lesz a detektor működése során végzett utólagos kalibrációknál is.

– *A fejlett nyugati országokban az utóbbi években jelentős összegeket költöttek a képalkotó diagnosztikákra, amelynek eredményeképp javultak az orvosi képalkotó módszerek és ennek köszönhetően a gyógyítás folyamata is. Az ön által vezetett kutatás gyakorlati hasznosulásában milyen területen javíthatja a képalkotást?*

Az előző ábrán látható detektorelem tetejére teszik a SiPM-eket tartalmazó nyomtatott áramkört, itt 16 SiPM jelent egy kiolvasási egységet, ezeket úgy kell összeválogatni, hogy letörési feszültségük és erősítésük gyakorlatilag azonos legyen.

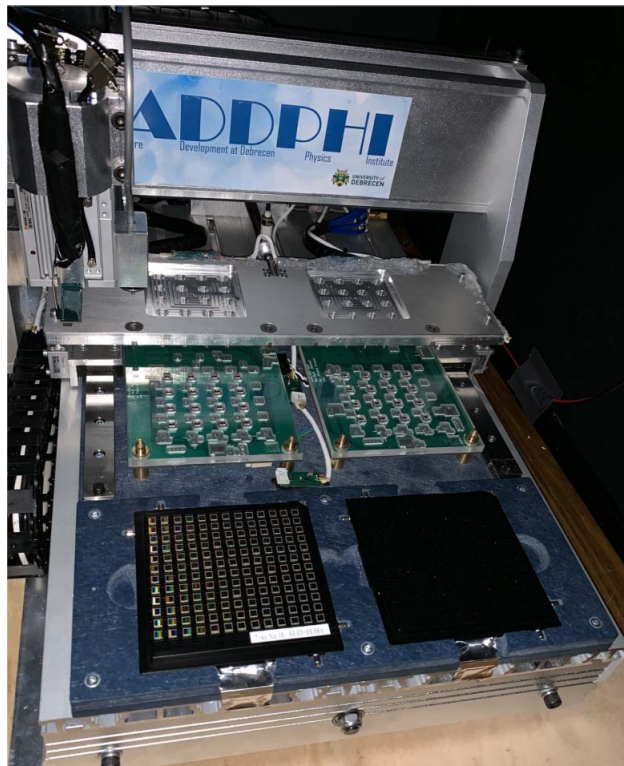


– Egy PET (pozitronemmissziós tomográf) pontossága több dologtól függ. Lehet újabb és újabb fajta kristályokkal kísérletezni, a mérő és kiértékelő elektronikát fejleszteni, az utólagos adatfeldolgozás algoritmusait jobbra tenni, és lehet azt is, amit mi csinálunk: kalibráljuk a SiPM-eket és ezáltal lesz pontosabb a mérés. A gyártóknak végig kell gondolniuk, melyik lépés számukra az optimális. Véleményem szerint a SiPM-ek tesztelése és időben pontosabb kiolvasása az egyik út ahhoz, hogy javuljon a térbeli felbontás.

Meg kell jegyezni, hogy a SiPM-ek kalibrálása, válogatása magában nem elég, ha a kiolvasásuk menetén nem változtatnak, ez az előny elveszhet vagy marginalizálódhat. Ma a legtöbb gyártó nem egyenként olvassa ki a SiPM-et, hanem mondjuk a 64 SiPM jeléből négy úgynevezett sarokjelet képez. Bár a kalibrációk ilyenkor is hasznosak, elveszítjük azt a lehetőséget, hogy a mérések adatai alapján nyomon kövessük az egyes SiPM-ek tulajdonságainak változását. Elérünk egy pontosságot, de utána a mérések alapján látjuk, hogy rendszerként működve miként változnak a fontos paraméterek, és egy idő után újra kalibrálunk. Általában egy év elteltével pontosabb a detektor, mint az első nap, pedig ha valami elromlik, akkor a hiba csak bekerül a konfigurációs adatbázisba. Nem tudunk mérés közben cserélni, és néha csak 2-3 évente szedjük szét a detektort. Ha minden SiPM-et ki lehetne olvasni egy PET-nél, akkor a mérések alapján még tovább lehetne finomítani a kalibrációkat. Ez azonban azt is jelenti, hogy jóval több adatunk keletkezik, a feldolgozó algoritmusokat is újra kell gondolni, ezek így együtt már egy viszonylag nagy fejlesztést jelentenek a gyártónak.

– *A tudományos projekt sikeres megvalósításának egyik fontos kritériuma a megfelelő szakmai és anyagi háttér kialakítása. Mit jelentett ebből a szempontból a National Instruments (NI) bekapcsolódása?*

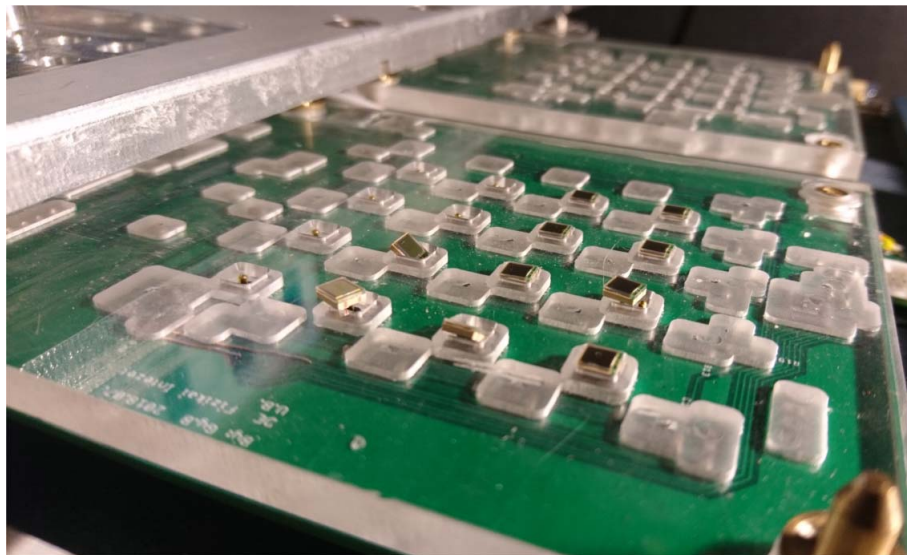
– Legnagyobb előnyünk abból származott, hogy az NI már az első beszélgetésünk során megértette a feladat lényegét, tétjét, és a megfelelő hardverrel valamint mérnöki támogatással is ellátott. Mérőhelyet alakítottak ki nekünk a Nyitott Laboratóriumban, és rendelkezésünkre bocsátották a legmodernebb eszközeiket. Ezek használatában két mérnök is folyamatosan segített, a mérés komplexitása miatt olyan megoldást választottak (TestStand), ami még nem része az oktatási anyagunknak. Januárban kezdtük a fejlesztést, hónapokra beköltöztünk az NI-hoz, és március végére letünk kész annyira, hogy ki-

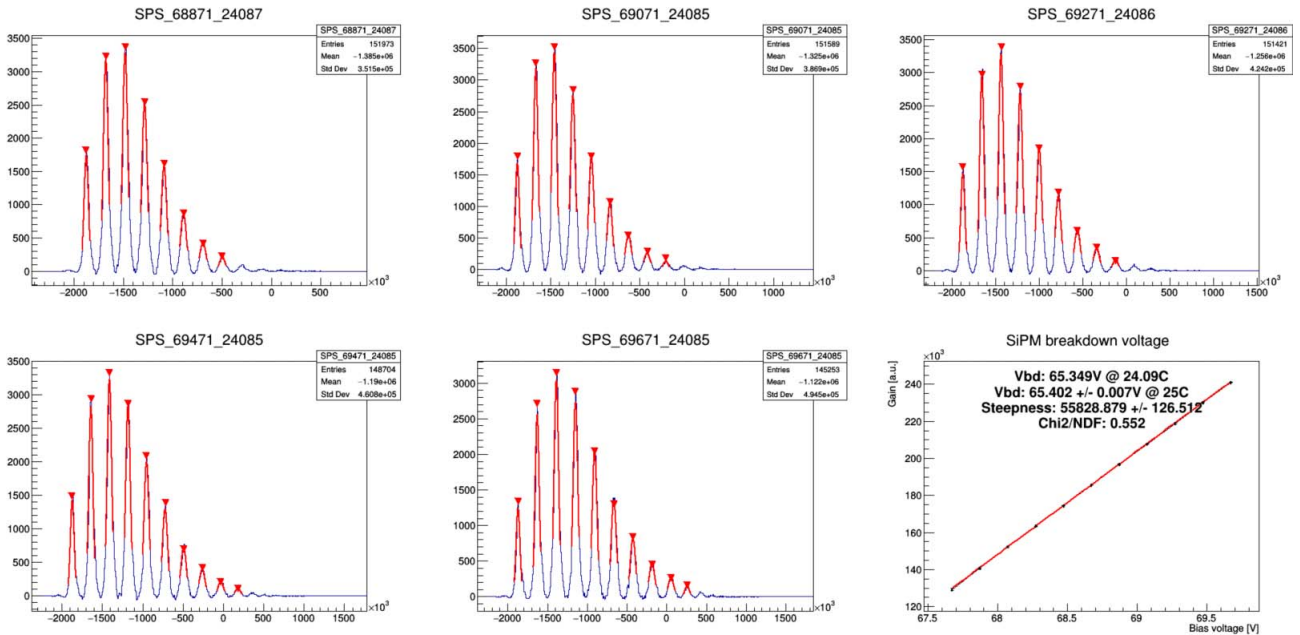


A Debreceni Egyetemen kifejlesztett tesztelő rendszer. A gyári, fekete tárolókban (balra lent) 156 darab SiPM található, ezeket 8 óra alatt teszteli le, majd rakja vissza a helyükre.

szállíthattuk a tesztelőt arra az amerikai egyetemre, amelyik a diákjaival vállalta az egy évnyi tesztelést. Azóta több alkalommal mi is kimentünk, és rendszeresen konzultálunk az NI-os mérnökökkel, ha valami a tervezetthez képest meg kell változtatni. A legnagyobb segítség természetesen az lett, hogy a több hónapos fejlesztés közben állandóan változó konfigurációkon keresztül eljutottunk egy optimális elektronikához, és ezt a végén adományként megkaptuk.

Néha nehéz egy SiPM-et a helyére tenni, a gépészet a leggyengébb pont, a mai napig egy operátor felügyelete szükséges. A következő rendszer – reméljük – teljesen automatikus lesz.





A SiPM-eket használják az SPS – single photon spectrum – módszernél, ez a mai legpontosabb mérés. Több, sokat tapasztalt fizikus felzsiszent, mert ennyire pontosat még nem látott korábban. A következő tesztelő eredményeként pedig még sokkal precízebb lesz!

Ez az elrendezés évekig biztosítja, hogy a legmodernebb elektronikával tudjunk további SiPM tesztekben megjelenni.

– Az NI Hungary Kft.-t gyakran tudásközpontként említik. Mennyire ismeri Önöket ebből a szempontból a magyar tudóscsoporthoz, hogyan tudnak például segíteni a Debrecenben működő Nyitott Laboratóriumokon keresztül?

E kérdésre Ábrahám László, az NI Hungary Kft. ügyvezetője válaszolt.

– Azt gondolom, hogy valóban hatalmas tapasztalat és értékes tudás halmozódott fel vállalatunknál – így a Nyitott Laboratóriumunkban is – amelyre egyre többször támaszkodnak akár egyetemi kutatócsoportok, akár startup vállalkozások. Természetesen e koncentrált tudás projektben való hasznosítását óriási mértékben támogatja az amerikai cég high-tech hardver- és szoftverparkja. Minimális éves díjért cserébe nyújtjuk a teljes szoftverállományunkat, a 6-7 ezer eszközből álló saját technológiánkat. Itt helyben pedig az is meghatározó tényező, hogy diplomás munkavállalóink 75%-a a Debreceni Egyetemről érkezett.

2001-ben, amikor az anyacég az NI Hungary Kft. telephelyéről hozott döntést, Debrecen egyetemi város szerepe meghatározónak bizonyult, mivel már akkor több feltétel adott volt a tudásközponttá válásunkhoz. Ezt az NI azóta is értékeli és épít rá. 2014-es megnyitása óta a Nyitott Laboratórium kihasználtsága egyre nagyobb, azaz fokozatosan nő az érdeklődés irántunk. Fontos kiemelni, hogy az NI semmilyen formában nem tart igényt a Magyar Innovációs Program keretében a Nyitott Laboratóriumában kifejlesztett és majd elkészülő szellemi termékekre, ezek mindig a fejlesztő szervezetek kizárólagos tulajdonát képezik. Meggyőződésem, hogy a jövő nagy mérnöki kihívásainak megoldása közös feladatunk, amelyhez az NI hatékony és rugalmas eszközöket tud biztosítani. Külön öröm a számomra, hogy egy olyan egyedülálló kutatást, mint az Ujvári Balázs DE TTK Fizikai Intézetének adjunktusa által vezetett projekt, az NI Hungary Kft. sikeresen támogathat. Ez is azt igazolja, hogy a Nyitott Laboratórium nélkülözhetetlen láncszem a magyar innovációban, tudományos kutatásban.

(x)



BETEGES KERTECSKE

Az alábbi írást *Néda Zoltán*,¹ az ELTE TTK Fizika Doktori Iskola Fizika Tanítása Program² keretében *Kooperatív jelenségek és interdiszciplináris vonások* címmel tartott előadássorozatához kapcsolódó projektfeladat alapján készítettük. *Czövek Márton* és *Forrás Bence* – a projekt idején a budapesti Berzsényi Dániel Gimnázium végzős diákjai – készítették a témához kapcsolódó szimulációs programot, valamint a részletek pontos kidolgozásában is aktívan részt vettek.

Projektünk alapját egy, 1986 decemberében, a *Középiskolai Matematikai és Fizikai Lapokban* megjelent feladat³ adta: „Képzeld el egy gyümölcsöskeretet, amelyben a fák szabályos négyzetrácsban helyezkednek el. Ha egy betegség valamelyik fánál felüti fejét, akkor az átterjedhet a szomszédos fákra. Az átterjedés véletlenszerű és p valószínűséggel következik be. Ez a p függ a fák egymástól mért távolságától: minél közelebb vannak egymáshoz a fák, annál valószínűbb, hogy a fertőzés átterjed. Hogyan lehet a fákat elég közel ültetni egymáshoz, hogy sok gyümölcsfánk legyen és ugyanakkor elkerülni, hogy az egész kertre kiterjedő járványok keletkezzenek?”

Külön köszönet Néda Zoltánnak a probléma részletesebb kidolgozása során tett javaslatait, kritikai észrevételeit és minden további segítségét, amelynek köszönhetően a modell tárgyalása a jelenlegi formát ölthette.



Lendvai Dorottya, a budapesti Berzsényi Dániel Gimnázium matematika-fizika szakos tanára, 2009-ben végzett az ELTE-n. Jelenleg az ELTE Fizika Doktori Iskola Fizika Tanítása Program PhD hallgatója.



Czövek Márton programozó a budapesti Berzsényi Dániel Gimnázium 2014-ben érettségizett, egykori speciális matematika tagozatos tanulója. Jelenleg a BME Irányítástechnika és Informatika Tanszéken végzi mesterképzését Vizuális Informatika szakirányon. Számos szimulációs programot készített különböző projektek keretében, többek között 2018-ban a BSc szakdolgozatát is kiterjedt vízfelületek hatékony és élethű szimulációjából írta *Szécsi László* témavezetésével.

A feladat pontosítása

Képzeld el egy $L \times L$ -es, négyzet alapterületű gyümölcsöskeretet, amelyben egy $n \times n$ -es négyzetháló rácspontjaiban, az egész területen egyenletesen gyümölcsfák helyezkednek el. Gyümölcsöskertünkben járvány tör ki. Kezdetben a gyümölcsfák p_0 valószínűséggel betegek. Ha egy betegség valamelyik fánál felüti fejét, akkor az átterjedhet a kertben lévő többi fára. Az átterjedés véletlenszerű, és minden beteg fa p_i valószínűséggel terjeszti a betegséget, ahol i az i -edik beteg fát jelöli. Ennek értéke (a legegyszerűbb esetben véve) lineárisan változik az adott beteg fától való távolság függvényében. Minél közelebb vannak egymáshoz a fák, annál valószínűbb, hogy a fertőzés átterjed. Ha egy egészséges fa az adott napon bármely beteg fa által megfertőződik, akkor elkapja a betegséget és a következő naptól kezdve további fákat betegíthet meg. Egy fa az adott napon esetleg több fa által is megfertőződik, de ennek nincs jelentősége. Továbbá tegyük fel, hogy minden egyes megbetegedett fa a megbetegedést követően minden további, de legfeljebb x napon át, adott z valószínűséggel meg is gyógyulhat. Ennek oka lehet valamiféle emberi beavatkozás (például permetezés), földrajzi vagy időjárási körülmények (nyári zápor, jégeső, szélvihar), spontán gyógyulás stb. Ha egy fa ezen x nap alatt meggyógyul, akkor egyben immunissá is válik a fertőzéssel

¹ <http://www.phys.ubbcluj.ro/~zneda/>

Néda Z., Boda Sz., Káptalan E.: Rend a rendezetlenségből, játékos metronomokkal. *Természet Világa* (2013) II. különszám – Káosz, Környezet, Komplexitás.

Néda Z., Káptalan E.: A sokaság ritmusa. *Fizikai Szemle* 59/9 (2009) 301–305.

² <http://csodafizika.hu/fiztan/>

³ Kertész János: A rendezetlen kapcsolatok fizikája – A perkolációs modell. *Középiskolai Matematikai Lapok – Fizika Rovattal* 36/10 (1986. december) 465–469.



Forrás Bence, a budapesti Berzsényi Dániel Gimnázium 2014-ben érettségizett, a speciális matematikatagozat tanulója volt. 2017-ben az ELTE matematika alapszakán szerzett BSc diplomát matematikus szakirányon. Jelenleg a bonni Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität matematikus mesterszakos hallgatója.

szemben, tehát a betegséget nem kaphatja el ismét. Ha egy megbetegedett fa x nap alatt nem tudott meggyógyulni, akkor sajnos menthetetlen lesz, elpusztul és nem terem gyümölcsöt.

Vizsgálatunk tárgya a betegség elterjedése lesz bizonyos paraméterek függvényében. A megvizsgálandó kérdésünk pedig az, hogy legfeljebb hány fát érdemes elültetni az adott területre, vagyis egymáshoz mennyire közel lehetnek ezen fák anélkül, hogy egy járvány túlságosan könnyen elterjedjen a kertben? A járványelterjedés mértékének jellemzésére szolgál majd a q -val jelölt *rendparaméter* (amit a későbbiekben részletesen fogunk tárgyalni).

A számunkra érdekes – az eredeti feladat szövegében szereplő kérdést egy lehetséges módon számszerűsítő – rendparaméter megfelelő vizsgálatához szükség van egy – az eredeti *KöMaL* feladatban nem említett – gyógyulási mechanizmus beépítésére. Enélkül ugyanis csak idő kérdése, hogy mikorra betegszik meg, majd pusztul el a kert összes fája. A feladat végiggondolása, kidolgozása, valamint a hozzá készült program készítése közben sok probléma, ötlet, észrevétel felmerült. Ezek többségét sorra implementáltuk a programba.

Szeretnénk hangsúlyozni, hogy ez egy „egyszerűsített” modell, aminek legfőbb érdekessége – amellett, hogy középiskolás diákokat mozgató újszerű fizika-feladat –, hogy „szép” eredményre vezet, amit viszont előre egyikünk sem tudhatott, csak nagyon „halkan” remélt. Mivel azonban a probléma túl bonyolult ahhoz, hogy analitikusan tanulmányozzuk, ezért Monte-Carlo-típusú számítógépes szimulációt tekintünk a továbbiakban.

Paraméterek és kezdeti értékek

Méretetek, sűrűségi jellemzők:

$L = 1$ egység – a négyzet alapterületű kert oldalának hossza.

n az egy sorban/oszlopban levő gyümölcsfák száma, ahol $n \in [n_{\min}; n_{\max}]$.

$n_{\min} = 1, n_{\max} = 20$.

Tehát valójában $n/L (= n)$ – a fák (lineáris) sűrűségét jellemzi a kertben.

Betegségterjedés / gyógyulási jellemzők:

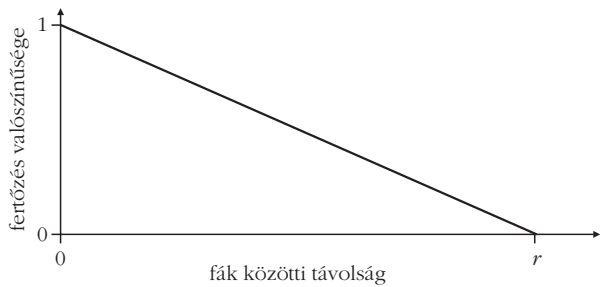
$p_0 = 0,025$, azaz 2,5% – kezdeti fertőzöttség valószínűsége.

$p_i(r_i)$ – az adott (még) egészséges fára vonatkozó fertőzésselkapás valószínűsége az i -edik beteg fától, ha az egészséges fa attól r_i távolságban helyezkedik el.

A fertőzés valószínűségének távolságtól való lineáris függését az alábbi módon definiáljuk:

$$p_i(r_i) = -\frac{1}{r} r_i + 1,$$

ahol $r_i \in (0, r]$, $r = 0,1$ egység – a betegség (egy adott megfertőzött fától származó) terjedésének hatósugara (1. ábra).



1. ábra. A fertőzés valószínűségének lineáris függése a távolságtól.

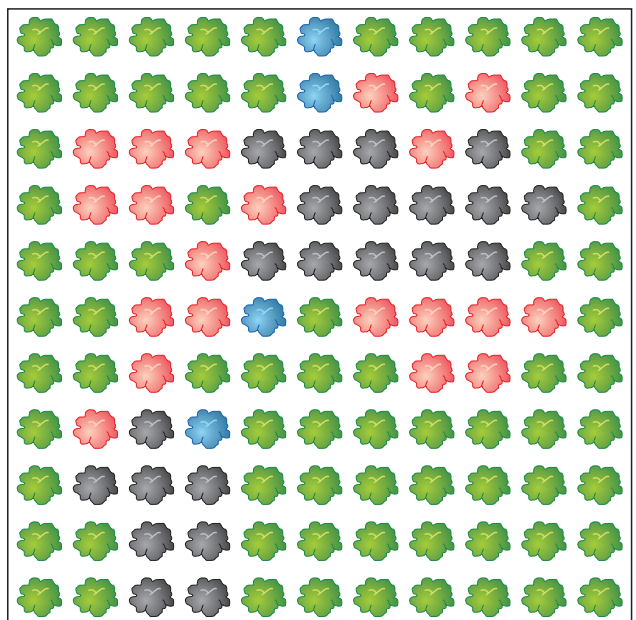
Tehát valójában az $r/L (= r)$ – dimenzióatlanított paraméter megadja, hogy a betegség egy adott fertőzött fától kiindulva, a kert méretéhez viszonyítva milyen messzire terjedhet. Ezt a valószínűséget minden lépésben (minden egyes nap) az összes beteg-egészséges fapárosra meg kell vizsgálni egészen addig, amíg az egészséges fáink sorsa bizonyossá nem válik.

$z = 0,01$, azaz 1% – a megbetegedett fák napi gyógyulási valószínűsége (amennyiben egy fa meggyógyul, immunissá válik a betegségre, nem betegszik meg újra és nem is fertőz).

$x = 7$ nap = 1 hét – a beteg fák meggyógyulási lehetőségének napszáma (x nap betegséget követően a fa elpusztul, a továbbiakban sem meggyógyulni, sem újra fertőzni nem tud).

A fák sorsát meghatározó néhány esemény lefolyásának menetét önkényesen, ám realiztikusan próbáltuk megválasztani (például: lineáris betegségterjedés, gyógyulási valószínűség stb.). A modellhez készült – a későbbiekben részletesen tárgyalt – szimulációs programban [1] felsorolt paraméterek (L értékének kivételével, ami a távolságegységet szabja meg) mind változtathatók. A program vizuális megjelenítést és egy grafikus elemzést is tartalmaz. A szimuláció adott

2. ábra. Szimuláció: egy lehetséges állapot, $n = 11$ esetén a 22. napon. (Kezdeti értékek: $p_0 = 0,025$; $r/L = 0,1$; $z = 0,01$; $x = 7$ nap.)



(beállítható) kezdeti feltételek mellett, tetszőleges n értékre „napról napra” időben változó ábrán mutatja meg a betegség terjedésének részleteit. A fák állapotát különböző színekkel jelöltük: zöld – egészséges, piros – beteg, kék – immunis, valamint fekete – elpusztult fa (2. ábra).

Ez egy sokparaméteres modell, amelyek közül a konkrét vizsgálathoz (a fentiek alapján) többet rögzítettünk és a továbbiakban csak néhány paraméter függvényében tanulmányozzuk a rendszer viselkedését. A változókat mindössze két vizsgálandó paraméterre szűkítettük le: először a betegségterjedést csak a fák n sűrűségének függvényében vizsgáljuk egy két-dimenziós q - n grafikont szerkesztve, majd a napi gyógyulás z valószínűségével együtt egy háromdimenziós q - n - z ábrát is készítünk. A korábban megadott kezdeti (a szimulációban alapbeállítási) értéket – a futtatás során tapasztalt észrevételek alapján – egy konkrét eset vizsgálatához választottuk ki. A „szép”, valamint nem szélsőséges eredményekhez viszonylag nagy tartományból válogathatjuk a p_0 , z , x , r ($= r/L$) értékeket. A program megfelelő működéséhez, valamint az eredményeket demonstráló ábrák elkészítéséhez szükséges „munkamennyiséget” tapasztalati úton választottuk meg: a grafikonok jellegében már sem lényegi változást, sem felesleges időkiésést nem okozva állítottuk be az iterációk, illetve lépésközök számát.

A vizsgált kérdés

(különböző megfogalmazásokban)

Mekkora területen (terjedelemben) fut végig a vírus a rendszeren (kerten)?

Legfeljebb milyen „sűrűn” ($n/L = n$) helyezhetők el a fák a kertünkben úgy, hogy benne (a fertőzés következtében) a betegség ne terjedjen el „túláságosan”?

Egy hasonló paraméterekkel leírható vírus terjedése során, a fák sűrűségének függvényében a gyümölcsöskert hányad része válik gazdaságilag haszталanná?

Ennek vizsgálatához ábrázoljuk a q rendparamétert az n függvényében!

Mi is az a rendparaméter?

A rendparaméter fogalmát eredetileg a másodrendű (rend-rendezetlenségi) fázisátalakulások esetén a rendezett fázisban való rend mértékének jellemzésére vezették be (mint például a ferromágnesség elvesztése a Curie-pont körül, ugyanis a makroszkopikus rendezettség, például a mágnesezettség, a hőmérséklet emelkedésével megszűnhet) [2]. Később ezt a fogalmat kiterjesztették nemegyensúlyi folyamatokra is, ahol a rendparaméter nagy értéke mindig valamilyen koherens viselkedésre utal [3].

Esetünkben a q rendparaméter értéke azt adja meg, hogy a fertőzés lefutásának végére a fák hányad része pusztult el a járványban:

$$q = \frac{\text{elhalt fák száma}}{\text{összes fa száma}} = \frac{\text{fekete}}{\text{fekete} + \text{kék} + \text{zöld}},$$

ahol $q \in [0; 1]$.

A feladat jelenlegi megfogalmazása mellett minden esetben beáll egy végállapot, hiszen a fertőzés terjedése addig tart, amíg beteg fáink el nem pusztulnak, vagy meg nem gyógyulnak (tehát, amíg a piros fák el nem fogynak), ezek valamelyike pedig a gyógyulási idő véges volta miatt mindenképpen bekövetkezik. Ekkorra minden fa sorsa egyértelműen determinálttá válik: egészséges maradt (zöld), kigyógyult (immunis kék fa), vagy belepusztult (fekete) a járványba. Ilyenkor a betegséget nincs, ami tovább terjessze, és a továbbiakban nincs is kinek meggyógyulnia/elpusztulnia.

Adott kezdeti feltételek mellett a fák sűrűségét (azaz n értékét) változtatva megnézzük minden egyes (érdeemi) esetben, hogy a betegség miként terjed el a kertben. (Érdeemi eseten azt értjük, hogy a fák számát egy bizonyos ponton túl nincs értelme növelni, mivel túl nagy sűrűség esetén a járvány gyors terjedése miatt egészen biztos, hogy „mindenki” nagyon hamar megbetegszik és q értéke maximálissá válik: $q \approx 1$.)

A keresett jelenség

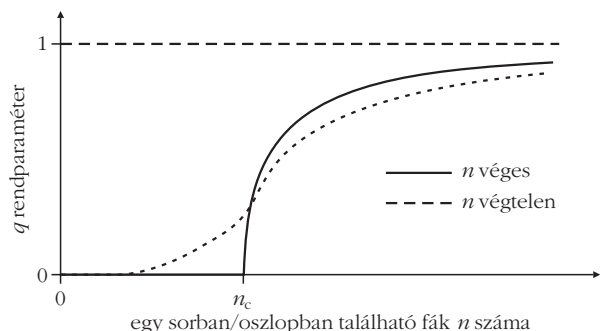
Vajon létezik-e olyan n_c kritikus („fasűrűség”) érték, amelynél kisebb n (kevesebb fa) esetén a q rendparaméter értéke zérushoz közeli, azonban nagyobb n értékekre (több fa) a q rendparaméter értéke drasztikusan megnő? (Ferromágneses anyagokban a Curie-hőmérsékleten bekövetkező ferro-para mágneses fázisátalakuláshoz hasonló átmenetet keresünk.)

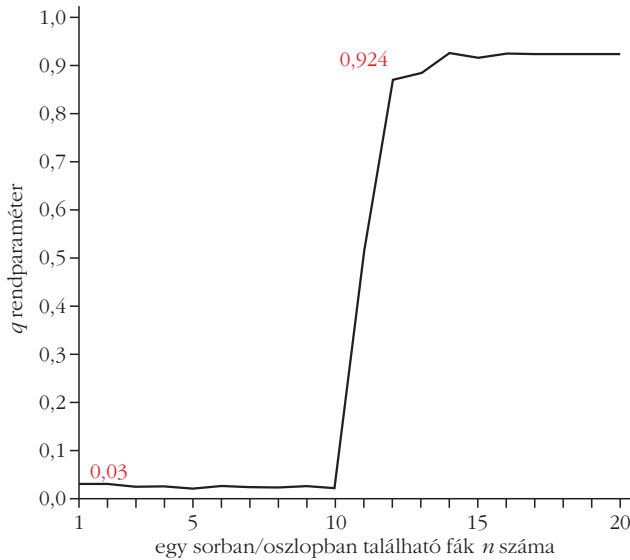
Összefoglalva (3. ábra):

- ha $n \ll n_c \Rightarrow q \rightarrow 0$
- ha $n \gg n_c \Rightarrow q \rightarrow 1$

Az „elvárás” logikus lehet, hiszen minél több fa van az adott kertben (minél sűrűbben helyezkednek el), a fák annál közelebb vannak egymáshoz és az átterjedés valószínűsége annál nagyobb, míg kevés fa esetén éppen ellenkezőleg történik. (A gyógyulási mechanizmus minden esetben minden egyes fára külön-külön azonos valószínűségű.) Vizsgáljuk először a q rendparamétert az n függvényében!

3. ábra. A keresett átmenet: a q rendparaméter ábrázolása az egy sorban/oszlopban található fák n számának függvényében.





4. ábra. A q rendparaméter az adott területen lévő fák sűrűségét jellemző n értékének függvényében. (Kezdeti értékek: $p_0 = 0,025$; $x = 7$; $z = 0,01$; $r/L = 0,1$; $n \in [1; 20]$; $q \in [0; 1]$, pontosság: 100 futtatás.)

A kapott eredmények

A *TreeDisease* program (és annak forráskódja) letölthető a [1] weboldalról. A program egy Java alkalmazás (Java Runtime Environment⁴) segítségével futtatható. A szimuláció egy kiértékelő programrészt is tartalmaz, amely a szükséges grafikont is elkészíti: ábrázolja q rendparaméter értékét minden egyes $n \in [1; n_{\max}]$ fasűrűségekre úgy, hogy minden esetet $f = 100$ -szor futtat le, és a rendparaméterekre kapott értékek átlagát ábrázolja a futtatások átlagaként (4. ábra). Tapasztalataink szerint nagyobb pontosság (több futtatás) esetén a grafikon alakjában lényegi változás már nem történik.

A „sejtés” valósnak bizonyult: valóban úgy tűnik, hogy létezik olyan n_c kritikus fasűrűség, amely alatt a kert elenyésző része lesz beteg, és amely felett a betegségarány nagyon hirtelen 1-hez közeli értéket vesz fel. Kis n -ekre, amikor a fák elég távol helyezkednek el egymástól, a kert meggyógyul (vagy meg sem betegedik); nagy n -ekre, amikor a fák távolsága csökken, a járvány terjedésének valószínűsége nő, és a kertünk faállománya odavész. A köztes helyzetekben, a kritikus n_c érték körül változatosabb az eloszlás. A vizsgált paraméterekre $n_c \approx 11 \pm 1$ körül van.

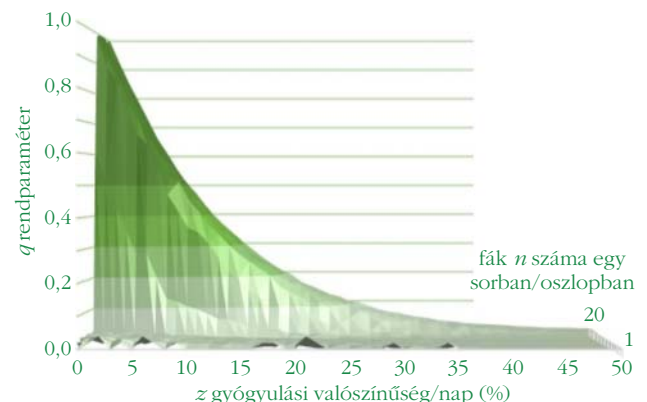
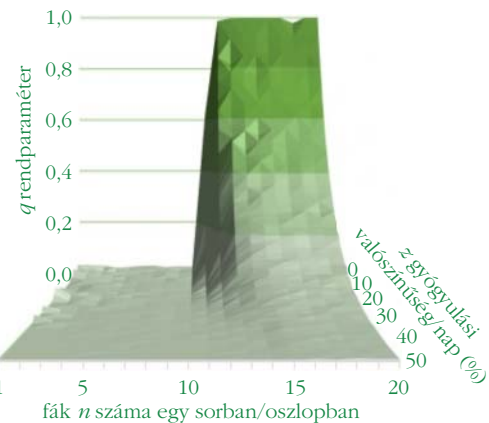
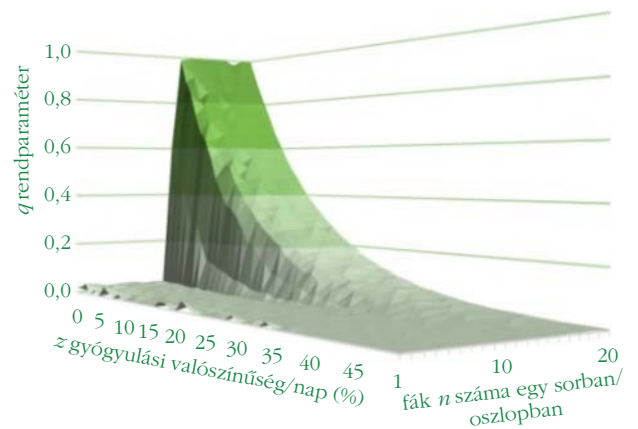
Megjegyzés: további vizsgálatot igényelne az n_c kritikus pont körüli viselkedés, a $q \approx 1$ -hez tartó relaxáció hossza. Ez nálunk egy nem túl széles tartomány (2–3 fa/sor), amely a paraméterek állításával nagyon kicsit lesz szélesebb-keskenyebb, azonban általánosságban is elmondható, hogy a függvények alakja (a szélsőséges esetektől eltekintve) úgy tűnik, lényegében nem különbözik egymástól.

⁴ https://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/jre8-downloads-2133155.html?fbclid=IwAR2xEC7nGYjX-7IkNYcg5wYzUhBaPI6lBwMJZMMOIaGq2X_0W0-gI0eilvo

Kritikus viselkedés a z - n paramétertérben

A programból extra funkcióként kinyerhetők az adatok egy 3D-s grafikon elkészítéséhez is („Export 3D” gomb), ahol nem csak n , hanem a z gyógyulási paraméter függvényében is megvizsgáljuk a rendparaméter változását. A megnövekedett dimenzió a program számolási igényeit megsokszorozza és akár több percig is eltarthat, ameddig a szerkesztéshez szükséges megfelelően átlagolt rendparaméter értéket megkapjuk, amely egy Jegyzettömbben vagy Excel táblázatban megnyitható. A vizsgálatához a kinyert adatokból ábrázolhatjuk a q rendparamétert a ko-

5. ábra. A rendparaméter vizsgálata a fák sűrűsége és a gyógyulási valószínűség függvényében különböző perspektívákból. (Az adatsorhoz beállított értékek: $n \in [1; 20]$; $z \in [0; 0,5]$ 0,01 lépésközzel, $p_0 = 0,025$; $x = 7$; $r/L = 0,1$; pontosság: 50 futtatás.)



rábban megadott kezdőfeltételek mellett minden $z \in [0; 0,5]$ esetén 0,02 lépésközökkel az $n \in [1; 20]$, n egész szám függvényében egy háromdimenziós ábrán, minden pont esetén $f = 20$ futtatás átlagából. Ezen átlagolás elégségesnek bizonyult ahhoz, hogy aránylag kis fluktuációk legyenek és a futtatási idő se legyen feleslegesen nagy. A 3D grafikon elkészítése már nincs beépítve a Java programba, ehhez például az Excel „háromdimenziós felület” diagram funkcióját ajánljuk.

Az 5. ábrán különböző nézetekből is bemutatjuk (az említettnél egy kicsivel jobb felbontási/futtatási adatokból) a rendparaméter változását a z - n térben. Nem meglepő ugyan, mégis észrevehető és egyben „szép” eredmény, hogy a q rendparaméter a z gyógyulási valószínűség függvényében exponenciálisan csökkenő jellegűt mutat.

A programból kinyerhető egyéb információk

A szimuláció futása közben a program folyamatosan kiírja, hogy az adott napon mekkora a beteg fák aránya (százalékban kifejezve), valamint az addig eltelt napok közül megadja mikor és mekkora részben volt a csúcson a vizsgált populációban a fertőződési arány. Ezekből az értékekből a betegség terjedési mechanizmusára is lehet következtetni.

Az x gyógyulási időkeret véges volta miatt q értéke nagy fasűrűség esetén nem 1-hez tart, azonban tény, hogy minden esetben van valamekkora q_{\max} maximuma. A kezdeti feltételeinkkel ez valóban 1-hez közeli (90% feletti). Hasonlóan a q_{\min} minimumérték – a p_0 kezdeti betegségearány és a véges gyógyulási valószínűség következtében – sem 0-hoz tart, a kezdeti feltételeinkkel ennek értéke valóban 0 közeli (5% alatti). (A programban készült grafikonokon ezeket az adatokat a függőleges skála melletti piros értékek jelzik.) Ezen értékeknek is van valamekkora szórása, így például néha előfordul a $q_{\min} = 0$ is. A következő fejezetben ezeket matematikai úton is pontosan kiszámítjuk, amivel a program helyes működését is „igazoljuk”.

Középiskolásokkal is kiszámítható információk

Az alább kiszámolt értékeket a korábban megadott paraméterek behelyettesítésével kapjuk.

1. Egy frissen megfertőzött fa elpusztulásának (fekete) valószínűsége:

$$P_{\text{fekete}} = (1 - z)^x \approx 0,932, \text{ azaz } 93,2\%.$$

2. Egy frissen megfertőzött fa gyógyulásának (kék) valószínűsége:

$$P_{\text{kék}} = 1 - P_{\text{fekete}} = 1 - (1 - z)^x \approx 0,068, \text{ azaz } 6,8\%.$$

3. A rendparaméter minimumértékének $E(q_{\min})$ várható értéke:

Az $n = 1$ határesetben az egyetlen fa kezdetben p_0 valószínűséggel beteg. (Ekkor a betegség nincs „hová” terjedjen, nincs kit megfertőzni / nincs ki megfertőzött. Nagyobb n érték esetén a fertőzés terjeszthetőségének lehetőségével csak ronthatunk a rendparaméter minimumán.)

a) Annak valószínűsége, hogy az egyetlen fa egészséges: $(1 - p_0)$. Ha az egyetlen fa nem beteg, akkor nem is lesz az, ilyenkor rendparaméterünk 0.

b) Annak valószínűsége, hogy az egyetlen fa beteg: p_0 . Ha az egyetlen fa beteg, akkor

i. $1 - (1 - z)^x$ valószínűséggel meggyógyul, és ekkor rendparaméterünk ismét 0 lesz,

ii. $(1 - z)^x$ valószínűséggel elpusztul és ilyenkor a rendparaméter értéke 1.

Ezek alapján:

$$\begin{aligned} E(q_{\min}) &= 0 \cdot (1 - p_0) + 0 \cdot p_0 [1 - (1 - z)^x] + 1 \cdot p_0 (1 - z)^x = \\ &= p_0 (1 - z)^x \approx 0,023, \text{ azaz } 2,33\%. \end{aligned}$$

4. A rendparaméter maximumának $E(q_{\max})$ várható értéke:

Határesetben $n \rightarrow \infty$, ilyenkor annyira közel vannak egymáshoz a fák, hogy lényegében az összes fa megfertőződik (nem lesz egészséges/zöld fánk). Ilyenkor a végállapotban csak elpusztult/fekete vagy immunis/kék fánk lehetnek. Ebben az esetben a fekete fák számának aránya adja meg a rendparaméter értékét:

$$E(q_{\max}) = (1 - z)^x \approx 0,932, \text{ azaz } 93,2\%.$$

5. Érdekeség: egy frissen megfertőzött, majd meggyógyult fa „betegen töltött” w napjai számának mi az $E(w)$ várható értéke, vagy másképp fogalmazva: azon fák, amelyek meggyógyulnak, várhatóan hányadik napon válnak immunissá a betegségre?

$$E(w) = z \sum_{k=1}^x k (1 - z)^{k-1} \approx 0,269,$$

azaz körülbelül a 2,7 nap elteltével, a 3. napon gyógyulnak meg.

Összefoglalás

Komplex, vélhetőleg realiztikus modellt kaptunk egy hétköznapi probléma, egy gyümölcsöskertben terjedő betegség leírására, amely mind a diákok, mind a tanárok számára tanulságos és izgalmas kihívás lehet. A modell szépsége, hogy a fizikusok számára oly kedves fázisátalakulásokhoz hasonló átmenetet produkál. Nagyon sok paramétert lényegében önkényesen rögzítettünk, ezért fontos kiemelni, hogy a paraméterek változtatásával ugyan módosulnak a $q_{\min/\max}$ rendparaméter szélső értékei (emiatt az „ugrás” mértéke is) és az n_c kritikus sűrűség értéke, valamint az átmenet szélessége stb., de a fázisátalakuláshoz hasonló változás bekövetkezte nem. Lényegi eltérést a többi

paraméter változtatása esetén sem találunk, inkább csak szélsőséges, úgymond egyértelmű eseteket.

Láthattuk, hogy egy-két érdekes mennyiséget analitikus számításokkal is igazolni tudunk, más esetekben kénytelenek vagyunk statisztikai alapokra támaszkodva számítógép-szimulációs segítséget igénybe venni. A legfontosabbat, a $q(n)$ rendparaméter-függvényt például nem tudtuk matematikailag egzakt formulával megadni.



Mindannyian sok új dolgot tanultunk a fizika egy kevésbé ismert területéről, programozásról, diák-tanár

közös munkájáról, együttgondolkodásáról, egy hosszabb távú projektmunkáról. A vizsgálódást és a paraméterek további állítgatását, bővítését, finomítását sokáig lehetne még folytatni, mindenki számára nyitott a lehetőség a kész program, illetve a program kódjának letöltésével.

Irodalom

1. <https://www.berzsenyi.hu/Lendvai/>
2. Kondor I., Szépfalusy P.: Kritikus jelenségek. In: *Fizika* 75. (szerk. Abonyi I.), Gondolat Kiadó, Budapest (1975) 85–122.
3. H. Haken: *Szinergetika*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest (1984).

A 2018. ÉVI FIZIKA OKTV HARMADIK FORDULÓJA AZ ELSŐ KATEGÓRIA RÉSZÉRE

Vannay László, Fülöp Ferenc
BME Fizikai Intézet, Fizika Tanszék

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Fizikai Intézete 1994 óta rendezi a fizika Országos Középiskolai Tanulmányi Verseny (OKTV) harmadik, döntő fordulóját. 2008-tól az ELTE Fizika Intézetével évente váltakozva, az első, vagy a második kategória versenyt. Azt, hogy a diákok melyik kategóriába tartoznak, a versenykiírás határozza meg.

A kiírás szerint: „I. kategória: azok a középiskolai tanulók, akik nem tartoznak a II. kategóriába.

II. kategória: azok a középiskolai tanulók, akik a 9. évfolyammal kezdődően – egyes tanévek heti óraszámát összeadva – a versenyben való részvétel tanévének heti óraszámával bezárólag összesen heti 10, vagy annál több órában tanulják a fizikát”.



Vannay László villamosmérnök, a BME Fizika Tanszék címzetes egyetemi docense. Kutatási területe kristálynövesztés oldatból és kristályok technikai alkalmazása volt. 1993-tól 1996-ig, majd 1999-től 2004-ig az ELFT Kristályfizikai Szakcsoportjának elnöke. 1975-től 2009. évi nyugdíjazásáig mérnök- és fizikushallgatókat oktatott, 1997-től tehetséggondozó programot vezetett. 1994-től a fizika OKTV kísérleti fordulójának szervezője, ELTE Fizikai Intézetével váltakozva, hol az I., hol a II. kategória versenyzőinek.



Fülöp Ferenc a BME Villamosmérnöki Karán végzett 1983-ban. Azóta a BME Kísérleti Fizika, majd Fizika Tanszékén dolgozik. Kezdetben infravörös sugárzás detektálásával, hőmérsékletméréssel foglalkozott, majd szilárdtest-fizikai kutatásokban vett részt. Mérnök- és fizikushallgatók számára tart előadást és laboratóriumi mérési gyakorlatokat. Huszonöt éve közreműködik a Fizika OKTV kísérleti fordulójának megrendezésében.

Mindkét csoport részére három fordulóból áll a verseny. Az első két forduló során elméleti problémákat kell megoldaniuk a versenyzőknek, míg a harmadik fordulóban mérési feladatokkal kell megbirkóznuk. A harmadik fordulóban az első két forduló legjobbjai méri össze tudásukat. A verseny értékelése a második és a harmadik fordulóban szerzett pontok összegzésével történik. Ha az összesítés után egyenlő pontszám jön létre, a sorrendet a harmadik fordulón elért pontszám határozza meg.

A BME ebben az évben az I. kategória versenyének döntő fordulóját rendezte. A versenyen 30 diák vett részt, két 15 fős csoportban. Az egyik csoport délelőtt 8-tól 12 óráig, a másik 12.30-tól 16.30-ig dolgozhatott, egymástól függően elválasztott mérőhelyeken. A mérőhelyeket sorsolással osztottuk ki.

Cikkünkben bemutatjuk a két mérési feladatot a hozzájuk tartozó megoldással, majd röviden beszámolunk az értékelés során szerzett tapasztalatokról.

Folyadék törésmutatójának mérése homorú gömbtükörrel

Rendelésre álló eszközök és anyagok

1 darab homorú gömbtükör (a közepe jelölve); 1 darab Bunsen-állvány szorítóval és színtező csavarokkal; 1 darab mérőszalag; 1 darab „tárgy” (befogórúd végén, plexilapban két szeg); 1 darab fecskendő (5 cm³-es, tű nélkül); 1 darab színtező; 2 darab üveglap; vizsgálandó folyadék.

Bevezetés

A feladat megoldásához szükséges ismeretek a középiskolában tanultak. A felhasználandó összefüggések a *Négyjegyű függvénytáblázatok Geometriai*

optika című fejezetében megtalálhatók, a kis nyílású gömbtükrökre és a vékony lencsék törvényeire vonatkozó részekben. Megjegyezzük, hogy a lencserendszerek fókusz távolságára közölt összefüggés tükröt tartalmazó rendszerre is vonatkozik.

Elvégzendő feladatok

– Mérje meg a tükör R_0 görbületi sugarát. Legalább 5 mérést végezzen! Megjegyzés: nem biztos, hogy az állvány rudazata tökéletesen egyenes és függőleges. (5 pont)

– A tükörbe a fecskendő segítségével a vizsgálandó folyadékból 10 cm^3 felhasználásával alakítson ki egy lencsét. Az előzőekben alkalmazott eljáráshoz hasonlóan járjon el és határozza meg a tükröből és a folyadék lencséből álló rendszer R^* „görbületi sugarát”. A lencserendszer vastagsága 5 mm , a görbületi sugarat a vastagság felétől mérje. Most is legalább 5 mérést végezzen! (4 pont)

– Az ismert összefüggésekből kiindulva, elméleti úton, levezetéssel igazolja, hogy a vizsgált folyadék n törésmutatója:

$$n = \frac{R_0}{R^*}.$$

(5 pont)

– Mérési eredményeit felhasználva adja meg a vizsgált folyadék törésmutatóját! (1 pont)

Megoldás

Ismeteres, ha egy tárgyat a tükör geometriai középpontjába – az optikai tengelyen, a tükrőtől a fókusz távolság kétszeresére – helyezzük, akkor a tárgyról egyszeres nagyságú, fordított állású, valódi képet kapunk. A tárgyat az optikai tengelyen mozgatva ezt a helyzetet megkeresve, lemérhetjük a tükör R_0 görbületi sugarát, ami ebben az esetben a tükröző felület és a tárgy közötti távolság, a tükör talppontja és a tárgy közötti távolság.

A tükör-folyadék lencse rendszer R^* „görbületi sugarát” az előbbieket szerint lehet meghatározni. Itt a tárgy és a lencserendszer felező síkja közötti távolságot kell figyelembe venni.

$$R^* = R - \frac{d}{2},$$

ahol R a tárgy és a tükör talppontja közötti távolság, d ($= 5 \text{ mm}$) a lencserendszer vastagsága.

A mérési eredményeket az 1. táblázat tartalmazza.

A fény útja a folyadék alkotta lencsén halad át, a tükrön visszaverődik, majd ismét folyadék lencsén keresztül vezet. Ha f a rendszer eredő fókusz távolsága, f_t a tükör fókusz távolsága és a f_f folyadék lencse fókusz távolsága, akkor felírhatjuk, hogy:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_f} + \frac{1}{f_t} + \frac{1}{f_f} = \frac{2}{f_f} + \frac{1}{f_t}. \quad (1)$$

1. táblázat

A tükör R_0 , a lencserendszer R^* görbületi sugara és a belőlük származtatott n törésmutató

megnevezés	mérési eredmények					átlag	hiba %
R_0 (mm)	371,0	370,0	370,0	372,0	372,0	371,0	0,27
R (mm)	275,0	274,0	276,0	274,0	276,5	275,1	0,51
R^* (mm)	272,5	271,5	273,5	271,5	274,0	272,6	
n	1,361	1,363	1,353	1,370	1,358	1,361	0,66

A tükör fókusz távolsága a görbületi sugár fele:

$$f_t = \frac{R_0}{2}.$$

A folyadék lencse egy plánkonvex lencse, fókusz távolságára felírható, hogy:

$$\frac{1}{f_f} = (n-1) \left(\frac{1}{R_0} + \frac{1}{\infty} \right) = (n-1) \frac{1}{R_0}. \quad (2)$$

Mivel a rendszer f fókusz távolsága $R^*/2$, (1) és (2) alkalmazásával felírható, hogy

$$\frac{2}{R^*} = (n-1) \frac{2}{R_0} + \frac{2}{R_0} = n \frac{2}{R_0}. \quad (3)$$

Innen a folyadék törésmutatója:

$$n = \frac{R_0}{R^*}. \quad (4)$$

Oldat felületi feszültségének meghatározása kontaktszög mérésével

Rendelkezésre álló eszközök és anyagok (1. ábra):

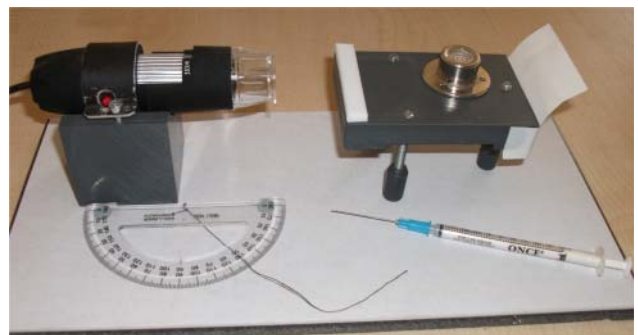
1 darab USB digitális mikroszkóp, számítógéphez, monitorhoz csatlakoztatva (vas alaplapra mágnessel rögzítve);

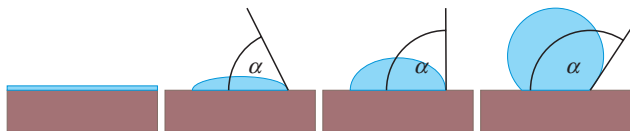
1 darab mintatartó asztal, teflonlemezzel;

1 darab fecskendő, tüvel;

1 darab mintatartó megadott koncentrációjú víz-alkohol oldatokkal;

1. ábra. Az USB digitális mikroszkóp, a mintatartó asztal teflonlemezzel, a fecskendő tüvel és a szög mérő.





2. ábra. Jól nedvesítőtől egyre kevésbé nedvesítő folyadékcseppek.

1 darab vizsgálandó minta (ismeretlen koncentrációjú víz-alkohol oldat);

1 darab szögmérő;
törlőpapír.

Bevezetés

Amikor szilárd felületre egy folyadékcseppet helyezünk, vagy szétterül a felületen, vagy különböző alakot vesz fel. Ha a folyadék szétterül a felületen, akkor jól nedvesíti azt (a felület hidrofíli). Ellenkező esetben kevésbé nedvesít. A csepp formája minél jobban megközelíti a gömb alakot, annál kevésbé nedvesíti a felületet (a felület hidrofób). A nedvesítés mértékének jellemzésére a kontaktszög (peremszög, érintkezési szög) szolgál: a csepp és a felület érintkezési vonalától a csepp felületéhez húzott érintő hajlásszöge (2. ábra).

A kontaktszög függ a felület anyagától és minőségétől, a csepp tulajdonságaitól (anyaga, felületi feszültsége, viszkozitása, mérete stb.), a cseppet körülvéző közegtől és a hőmérséklettől.

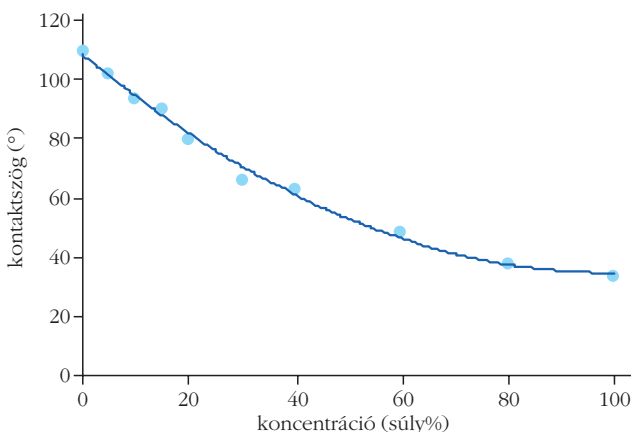
Elvégzendő feladatok:

– A mérési feladat megoldása során először kapcsolatot keresünk egy oldat koncentrációja és a kontaktszög nagysága között. Mérje meg különböző töménységű oldatokból létesített cseppek kontaktszögét teflonfelületen!

3. ábra. Vízben oldott alkoholcseppek növekvő alkoholkoncentráció mellett a teflonfelületen.



4. ábra. A kontaktszög az alkoholkoncentráció függvényében.



2. táblázat

Desztillált vízben oldott alkohol felületi feszültsége a koncentráció függvényében két hőmérsékleten

töménység (súly%)	felületi feszültség (mN/m)		töménység (súly%)	felületi feszültség (mN/m)	
	20 °C	25 °C		20 °C	25 °C
0	72,72	72,01	30	33,53	32,98
5	56,41	55,73	40	30,69	30,16
10	48,14	47,53	60	26,72	26,23
15	42,72	42,08	80	24,32	23,82
20	38,56	37,97	100	22,31	21,82

Mérési eredményeit felhasználva rajzolja fel a koncentráció-kontaktszög függvényt! (12 pont)

Megjegyzések: a cseppek átmérője közel azonos nagyságú, ~3 mm legyen! A teflonfelületeket alkoholal letisztítottuk, ne szennyezze be ezeket!

Irodalmi adatokból ismert az oldat (alkohol desztillált vízben) felületi feszültsége, mint a töménység függvénye. Ezt mutatja a 2. táblázat.

– Mérési eredményei és a 2. táblázat adatainak felhasználásával készítsen táblázatot, amelyben feltünteti az oldat töménységi értékeihez tartozó kontaktszögeket, (a szakirodalomban szokásosan) a kontaktszögek koszinuszát, valamint a felületi feszültség értékeit. (Későbbiekben a 20 °C-hoz tartozó adatokat alkalmaztuk.) (6 pont)

– Az elkészített táblázatban lévő adatok felhasználásával rajzolja fel az oldat felületi feszültség – kontaktszög koszinusza függvényét! Az elkészített grafikon felhasználásával, kontaktszögmérés segítségével felületi feszültséget mérhet. (5 pont)

– Határozza meg egy ismeretlen koncentrációjú alkohol-víz oldat felületi feszültségét! (2 pont)

Megoldás

A versenyzők által látott vízben oldott alkoholcseppek illusztrálására 3. ábra szolgál.

A teflonfelületen különböző töménységű oldatokból kialakított cseppek kontaktszögét megmérve a 3. táblázatban található és a 4. ábrán látható eredmények kaphatók.

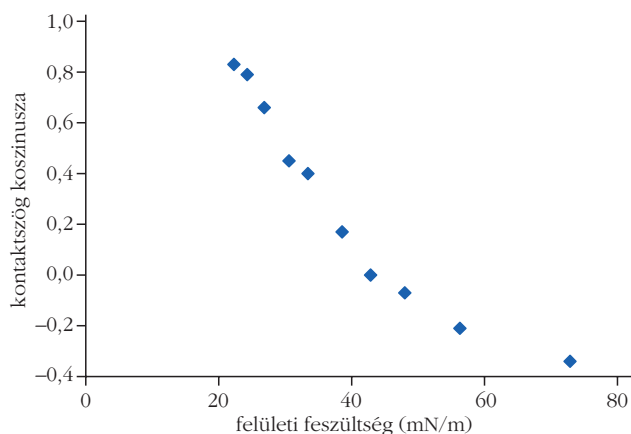
3. táblázat

A kontaktszög változása az alkoholkoncentráció függvényében

koncentráció (súly%)	kontaktszög (°)	koncentráció (súly%)	kontaktszög (°)
0	109,83	30	66,43
5	101,90	40	63,14
10	94,00	60	48,86
15	90,40	80	38,21
20	79,92	100	33,92

4. táblázat

A felületi feszültség és a kontaktszög koszinusza közötti kapcsolat			
koncentráció (súly%)	felületi feszültség (mN/m)	α kontaktszög (°)	$\cos\alpha$
0	72,75	109,83	-0,3392
5	56,41	101,90	-0,2062
10	48,14	94,00	-0,0698
15	42,72	90,40	-0,0007
20	38,56	79,92	0,1750
30	33,53	66,43	0,3999
40	30,69	63,14	0,4518
60	26,72	48,86	0,6579
80	24,32	38,21	0,7857
100	22,31	33,92	0,8298



5. ábra. A kontaktszög koszinusza a csepp felületi feszültségének függvényében.

A felületi feszültség és a kontaktszög koszinusza közötti összefüggés meghatározásához (mint korábban jeleztük, a 20 °C-on megadott irodalmi értékek felhasználásával) a 4. táblázat és az ottani adatokból készült 5. ábra ad segítséget.

Az ismeretlen koncentrációjú oldattal mért kontaktszög 72°, ennek koszinusza 0,3090, így az 5. ábráról leolvasható felületi feszültség 35,60 mN/m.

A versennyel kapcsolatos tapasztalatok

A feladat kitézését a hidrofób anyagok egyre szélesebb körű elterjedése tette időszerűvé. Ilyen anyagokat használnak épületek „öntisztuló” felületeinek kialakítására,

5. táblázat

A versenyzők által elért pontszámok eloszlása					
pontszámhatár	8–20	21–25	26–30	31–35	36–38
versenyzők száma	3	6	7	11	3

távvezetékek jegesedés elleni védelmére, ruhák és cipők vízhatlanná tételéhez, gépkocsiknál, vagy háztartásokban üvegfelületek tisztán tartása érdekében. A hidrofób anyagok fontos jellemzője a kontaktszög. Ezzel ismerkedhettek meg a versenyzők.

Jelentős eltérést tapasztaltunk a két feladat megoldása között. Meglepetésre az első feladat megoldása okozott nagyobb gondot a versenyzők számára. Sajnos többen nem vagy csak részben oldották meg ezt a feladatot. Voltak, akik a homorú tükör görbületi sugarát jól meghatározták, de meglepő módon a folyadékkal kitöltött tükörnél ugyanezt már nem tudták megtenni. Míg a megoldás kísérleti, mérési része gyengébben sikerült, az elméleti levezetés kisebb gondot okozott.

A második feladat megoldása jobban sikerült. Az egyes részfeladatokat a javításkor adott pontszámok alapján legalább 80%-ban helyesen oldották meg.

A forduló során maximálisan adható 40 pontból az elért pontszámok 8 és 38 között változtak (5. táblázat). Látható, hogy a döntőbe jutottak 90%-a a feladatokat legalább 50%-ban teljesítette, 10%-uk pedig kiemagasló teljesítményt nyújtott.

A 2018. évi verseny nyertese *Jánosik Áron*, a Révai Miklós Gimnázium és Kollégium 11. osztályos tanulója, *Juhász Zoltán* tanítványa, második helyezést *Fajsi Bulcsú* (Fazekas Mihály Fővárosi Gyakorló Gimnázium, 11. osztály, *Csefkó Zoltán* és *Horváth Gábor*) ért el, a harmadik *Kozák Áron* (Békásmegyeri Veres Péter Gimnázium, 11. osztály, *Rakovszky András*) lett. Nekik külön is gratulálunk.

Köszönetnyilvánítás

Az Oktatási Hivatal szervezte a versenyt és biztosította a harmadik forduló anyagi háttérét, köszönjük.

A verseny lebonyolításához szükséges eszközök kivitelezéséért *Horváth Bélának* és *Bacsa Sándornak*, a megfelelő körülmények biztosításáért *Beckerné Gegesi Mária*nak és *Hulé Ágnesnek* mondunk köszönetet.

A versennyel kapcsolatos adminisztrációs és gazdasági ügyek intézéséért *Gauzerné Beck Edinát*, *Honti Editet* és *Varga Tímeát* illeti köszönet.

Elismerés és köszönet illeti mindazokat – szülőket, tanárokat, barátokat stb. –, akik segítették a versenyzők munkáját és ezzel hozzájárultak a verseny sikeréhez.

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 Groma István főtítká, felelős szerkesztő Lendvai János főszerkesztő.

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

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

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

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

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

SASSZÁRNYAKON A FIZIKA NÉPSZERŰSÍTÉSÉÉRT

Budapest XVI. kerületének az egyik legjobb iskolájában, a Sashalmi Tanodában tanítok matematikát és fizikát. Kívül-belül innovatív oktatási intézményről van szó. Tanulóink igen változatos tanulmányi területeken érnek el országos versenyeken is kiemelkedő eredményeket.

Manapság sokat lehet arról hallani, olvasni, hogy a fizika a legkevésbé kedvelt tantárgyak között szerepel az iskolás gyerekek körében. Persze nem elvárás, hogy mindenki fizikus vagy mérnök legyen. De az, hogy gyermeki kíváncsiságát a körülöttünk lévő világ megismerésére ne veszítse el senki, már annál inkább. Jó lenne, ha a fizika szó hallatán is pozitív élmény jutna mindenki eszébe.

Talán a „Gondolkozz globálisan, cselekedj lokálisan!” szlogen munkált bennünk kollégáimmal, amikor hat évvel ezelőtt létrehoztuk kerületi fizikaversenyünket.

2013 őszén lettem a XVI. kerületben fizika tanítárgygondozó. Még a helyi szokások is ismeretlenek voltak előttem. Igyekeztem elődöm, *Gyopárné Barzso Margit* által bejártatott versenyeket megtartani. A hagyományos országos versenyek mellett kerületi különlegességet jelent a hatodik osztályosok megméretetése. Ez egy, a Zrínyi-verseny mintájára íródott egyéni, mértékegységekkel, előzetes fizikai ismeretekkel kapcsolatos verseny. Megalapozza a gyerekek fizika iránti érdeklődését.

Viszont még egy verseny – amit régebbi munkahelyemen valósítottunk meg kollégáimmal – volt a tarso lyomban. A forgatókönyvet elkészítettük, de az előző kerületben mindössze egyszer volt módom lebonyolítani. A kerületi természetismeret munkaközösség vezetője adott helyszínt a versenyhez, és az ő lehetőségei módosították is azt.

E versenyt mindjárt az első személyes találkozásunkkor ismertettem a kertvárosi iskolák képviselőivel. És ők – nagy örömmre – partnerek voltak a hagyományteremtésben. Így született meg egy kerületi fizika csapatverseny gondolata.

A versenyen négyfős csapatok indulhatnak, maximum két nyolcadikos, és a nyolcadikos tanulók számától függően, hetedikes diákok is vannak a csapatban.

A verseny során hat feladattípussal találkozhatnak a diákok: egy adott fizikus munkásságáról szóló keresztrejtvény, fizikai totó, egy bemutatott kísérlet magyarázata, tanulói kísérlet, számításhoz feladat és egy levezető humoros rejtvény vagy feladat.

Az elképzelés megvolt, de a hagyományteremtéshez kell egy jó névválasztás is, egy olyan név, aki akár több szempontból is „nagykövete” a versenynek, tükrözi annak célját. Azaz amit mi is el szeretnénk érni a kihívásunkkal: a fizika népszerűsítését, emberközelibbé tételét, a tehetséges gyerekek találkozási lehetőségét. Évente legalább egy olyan délutánt, amikor a fizika és a jó hangulat, a derű szinte szinonimává alakulhatnak.

Így jutott eszembe azon fizikus neve, akit még gyerekkoromból a televízió képernyőjéről jól ismerhettem, és akinek a neve (ezt később konstata lttam) jól összecseng a versenynek otthont adó iskola (Sashalmi Tanoda) nevével. *Sas Elemérre* emlékezve lett a név Sas Elemér Kerületi Fizika Csapatverseny.

Idén immár hatodik alkalommal tarthattuk meg versenyünket.

A versenyen mindig sok (30-40) gyerek szokott segíteni. Nagyon szívesen teszik. Alig várják, hogy jelentkezessenek. Óriási szükség van rájuk, hiszen minden csapatnak van egy „házigazdája”. A verseny az iskolánk tornatermében – ez szép nagy terület – zajlik. Az ő feladatuk, hogy a feladatlapok, eszközök jelzésre a csapatokhoz kerüljenek, illetve időben össze legyenek szedve. Figyelnek, hogy a feladatlapokon a csapat előre megadott neve (egy-egy fizikus neve) fel legyen tüntetve. Így a szomszédos teremben javító tanárok előtt még rejtve marad, melyik fizikus neve melyik iskola csapatát takarja. Ők, akik nem versenyeznek szintén sok-sok kellemes élménnyel térnek haza. Többek között a látványos kísérleteknek, a jó hangulatnak köszönhető, hogy minden alkalom-

A Sashalmi Tanoda tornatermét birtokba vették a kerület iskoláiból idesereglett versenyzők.



mal ilyen sokan maradnak velünk szívesen. 2015-ben, amikor a *Fény éve* kapcsán a verseny után a csapatok fénytani kísérleteikről készült film, dia vetítését, sőt élő kísérleti bemutatót tartottak, a segítők is lelkesen végignézték azt.

A II. Sas Elemér Kerületi Fizika Csapatversenytől kezdve a hat feladat mindegyikének – egy kivételével – más-más iskola szokott a gazdája lenni. Az elsőt még egyedül, a régi feladatok leporolásával, felfrissítésével magam követtem el, így a többiek láthatták, hogy körülbelül mire gondoltam.

Azóta is minden évben, amikor elküldöm a közelgő verseny információit, sor kerül a feladatkészítési felhívásra is. Hála Istennek, még sohasem maradtam magamra, mindig minden feladat gazdára talált. Egyet kivéve, mert annak kiírására egy „külsőt” szoktam felkérni. A külsős négy alkalommal *Jarosievitz Zoltán* volt. Ebben a négy évben nemcsak tanulói kísérlet összeállításával segédkezett több, mint 20 csapat számára. Volt, hogy a Fizikai Totó elkészítésével, ötletekkel sőt az eredményhirdetést megelőző fizikai bemutatóval is hozzájárult a verseny sikeréhez. Sajnos idén nem tudta elvállalni ezt a feladatot.

Mertem egy nagyot gondolni, és a gyerekek által a Spektrum Tv csatorna *Brutális fizika* című sorozatából, valamint a Csodák Palotája, a Kutatók Éjszakája és más tudományos népszerűsítő programokból is jól ismert *Härtlein Károlyt*, a BME kiváló tanárát kerestem meg levelemmel, felkéréssel. A *Bemutatót kísérlet* című feladat lebonyolítására kértem meg őt.

Legnagyobb öröömre nemcsak igent mondott, de felajánlotta, hogy amíg megszületik az eredmény, addig mini Csodák Palotáját varázsol a Sashalmi Tanodába.

Az idei *Bemutatót kísérlethez* Härtlein Károly fakírággal és egy lufival érkezett. A segéd szerepére egy tanodás fiú vállalkozott. A falappal a szögeságyhoz szorított lufi túlélte a próbát. Hogy miért, erre kellett választ adniuk a gyerekeknek.

Ezen a délutánon több mint 100 gyereket szórakoztatott a fizika. A tanárok pedig, akik folyamatosan



Härtlein tanár úr fakírágyán nem akar kipukkadni a luftballon.

javítják a dolgozatokat, szintén jó társaságban, munkával, de örömmel töltik itt idejüket.

Napjainkra elértük, hogy a kerületben, sőt egy közeleli településen, Csömörön is híre van a Sas Elemér Kerületi Fizika Csapatversenynek! Idén már innen is jött csapat. Nagyon bízom benne, hogy évről évre eléri a verseny a célját, hűen a névadónkhoz: népszerűsíti a fizikát szűkebb pátriánkban, a XVI. kerületben, a Kertvárosban.

Egyedül persze ez sem menne! Szeretném felsorolni azokat, akik mindig ott vannak mellettem, akiknek köszönettel tartozom, a kerület (nem csak) fizikatanárait: *Csók Katalin* (Arany János Általános Iskola), *Rétbelyi Judit* és *Lepenye Mária* (Bornemisza Péter Általános Iskola és Gimnázium), *Fábián István* (Herman Ottó Általános Iskola), *Leopold Győző* (Jókai Mór Általános Iskola), *Selmeczi Andrea* (Kölcsey Ferenc Általános Iskola), Gyopárné Barzsó Margit (Móra Ferenc Általános Iskola), *Szigeti Mátyás* (Néri Szent Fülöp Katolikus Általános Iskola), *Molnár Ildikó*, *Nacsá Mária*, *Sántáné Bátor Zsuzsanna* és *Horák Anita* (Sashalmi Tanoda Általános Iskola), *Vassné Bazsó Csilla* (Szent-Györgyi Albert Általános Iskola), *Szemes Balázs* (Szerb Antal Gimnázium), *Rideg Krisztina* és *Pongó Ágnes* (Táncsics Mihály Általános Iskola), *Tóth Tímea Katalin* (Csömöri Mátyás király Általános Iskola).

Hasznosi Tamásné

AZ IFJÚ FELTALÁLÓKAT ÉS TUDÓSJEJELŐTEKET KERESSÜK!

29. Ifjúsági tudományos és innovációs tehetségkutató verseny – 2019–2020-as tanév

Jelentkezni a kidolgozandó vagy megoldandó feladat maximum két oldalas vázlatának www.innovacio.hu/nevezes oldalra feltöltésével **2019. november 27. 15 óráig** lehet. A pontos feltételeket és nyereményeket a részletes kiírás tartalmazza.



A részletes felhívást keresd a http://www.innovacio.hu/3a_hu_29_felhivas.php helyen!

XXX. MAGYAR FIZIKUS VÁNDORGYŰLÉS

Sopron, 2019. augusztus 21–24.

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat által idén szervezett fizikus vándorgyűlés a harmincadik volt a vándorgyűlések sorában. A sorozat 1951-ben kezdődött. Abban az évben tartották meg Pécsen a – hagyományteremtő szándékkal már akkor – I. Magyar Fizikus Vándorgyűlésnek nevezett eseményt. Ritka kihagyásoktól eltekintve eleinte évente, később két évente, az utóbbi évtizedekben három évente került megrendezésre a vándorgyűlés. Érdemes felsorolni a helyeket is, hiszen amikor az idei helyszínéül Sopront választottuk, én magam azt gondoltam, hogy új helyre megyünk. Csak a megnyitás előtti napokban derült ki számomra, hogy 52 évvel ezelőtt már tartottak ilyen találkozót Sopronban. A helyszínek az ottani vándorgyűlés évével: Debrecen: 1952, 1962, 1975, 1986, 1995, 2013; Szeged: 1959, 1973, 1983, 1992, 2016; Pécs: 1951, 1961, 1971, 2010; Eger: 1955, 1963, 2007; Miskolc: 1960, 1969, 1979; Veszprém: 1956, 1965, 1989; Sopron: 1967, 2019; Budapest: 1954; Gödöllő: 1998; Székesfehérvár: 1981; Szombathely: 2004.

A Soproni Egyetem Lőverekben lévő kampusza adott otthont az eseménynek, amelyre közel 200 résztvevő regisztrált, túlnyomó többségükben egyetemeken vagy kutatóintézetekben dolgozó fizikusok, de képviselve voltak ipari kutatóhelyek is, valamint több közoktatásban tanító tanár is érkezett, és adott elő. Plenáris előadás keretében mutatkozott be a tár-

Völgyesi Lajos Eötvös-inga bemutatója.



sulat nemrégén alakult Ipari fizika csoportja, a tanárok pedig két szekciót is szerveztek.

A megnyitáskor Sopron város polgármestere, *Fodor Tamás*, valamint az egyetem képviselőjében *Alpár Tibor* rektorhelyettes köszöntötte a résztvevőket. A soproniak bemutatkozásának második része az esti fogadásra maradt. *Lang Ágota* tanárnő a valamilyen módon Sopronhoz kötődő neves fizikatanárokról, *Mikola Sándorról*, *Vermes Miklósról*, *Dér Zoltánról* és *Simonyi Károlyról* emlékezett meg, utalva *Rätz Lászlóra* is, aki Mikola Sándorral és Vermes Miklóssal együtt a soproni evangélikus líceumban érettségizett, s lettek később a fásori evangélikus gimnázium tanárai, megemlítve még *Nagy Mártont*, valamint édesanyját, *Lang Jánosnét* is, aki nyugdíjba menetele után még évekig tanított Sopronban.

A társulat idei díjainak átadása után a szakmai program két eseményre való emlékezéssel kezdődött. Az ENSZ és az UNESCO 2019-et a kémiai elemek periódusos rendszerének nemzetközi évévé nyilvánította. Ebből az alkalomból *Lente Gábor*, a Pécsi Tudományegyetem kémiai intézetének professzora *A periódusos rendszer első 150 éve* címmel tartott előadást.

Ugyancsak ebben az évben emlékezünk *Eötvös Lorándra* halálának 100. évfordulóján. Eötvös Lorándról az emberről *Sólyom Jenő*, a fizikusról *Cserti József*, a geofizikusról pedig *Wesztergom Viktor* beszélt. Ezekhez kapcsolódott a második nap estéjén *Völgyesi Lajosnak* egy Eötvös-inga bemutatásával összekötött előadása az Eötvös-inga működéséről, történetéről és alkalmazásairól, a későbbiekben pedig külön szekció is foglalkozott a gravitációval kapcsolatos elméleti és kísérleti kérdésekkel.

Csütörtökön, pénteken, valamint szombat délelőtt összesen 10 plenáris előadás hangzott el, illetve 21 szekcióban mintegy 80 szóbeli előadásra kerül sor. Emellett kollégáink körülbelül 50 poszteren mutatták be legújabb eredményeiket. A hagyományos, anyagtudományi, kvantumelektronikai, magfizikai,

részecskefizikai, sugárvédelmi vagy szilárdtest-fizikai szekciók mellett olyan témákról is hallhattak az érdeklődők a szekciókban, mint a topologikus fázisú anyagok, a modern gépi tanulás a fizikában, vagy a fizikatanítás megújítása. Remélhetőleg az előadások egy része szerkesztett formában a *Fizikai Szemlében* is megjelenik.

A fenti számok is mutatják, hogy nagyon feszes volt a program. Egy fél délután maradt arra, hogy aki akart, egy kicsit ismerkedjen a várossal, bár ekkorra is volt szervezett szakmai program. Két busszal Nagy-

cenkre mentünk, ahol – miután megnéztük a Széchenyi-család mauzóleumát – az MTA Széchenyi István Geofizikai Observatóriumában Wesztzergom Viktor mutatta be az ottani mérőműszereket, berendezéseket, és ismertette az ott folyó kutatásokat.

A szervezők számára különösen örömteli volt, hogy az eseményre viszonylag sok fiatal kolléga jött el, és kapott bemutatkozási lehetőséget. Reméljük, ez a tendencia folytatódik a következő, 2022-ben esedékes XXXI. vándorgyűlésen is.

Sólyom Jenő

A TÁRSULAT 2019. ÉVI KITÜNTETÉSEI ÉS TUDOMÁNYOS DÍJAI

Cserti József – az Eötvös Loránd Fizikai Társulat érme

Cserti József 1982 óta tagja a Társulatnak. Ez idő alatt számos vezető tisztséget töltött be. Volt a Statisztikus Fizikai, majd Szilárdtest-fizikai Szakcsoport elnöke, a Társulat főtítkárhelyettes, majd alelnöke.

Igen aktív tevékenységet folytat a tudomány népszerűsítése területén, mind a szélesebb társadalomban, mind a diákok között. Egyik életre hívója volt a *A fizika mindenkié* programnak. 1993 óta az Ortway Rudolf feladatmegoldó verseny, 2005 óta *Az atomoktól a csillagokig* előadás-sorozat, 2012 óta pedig a Fizikus Doktoranduszok Konferenciája (DOFFI) egyik szervezője. Három ízben szervezte meg a Magyar Fizikushallgatók Egyesületének Nemzetközi Nyári Szakmai Iskoláját.

Az ELTE egyetemi tanáraként 10 doktori fokozatot szerzett hallgató témavezetője volt, és vezetése mellett számtalan diplomamunkát, valamint TDK-dolgozatot készítettek diákjai. Tagja az ELTE és a BME fizika doktori iskolája tanácsának is, e minőségében is aktív munkát végz.

Cserti József kutatómunkája a mezoszkopikus rendszerek, normál-szupravezető hibridek, spintronika, grafén, topologikus szigetelők és a Zitterbewegung-jelenség területére terjed ki. 77 nemzetközi, referált folyóiratban megjelent közleményére közel 1400 független hivatkozást kapott.

Tudományos közleményei mellett 20 tudomány-népszerűsítő cikk szerzője, két DOFFI konferenciakiadvány szerkesztője.

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat ezt az igen aktív tudományos közéleti, tudomány-népszerűsítő, szervezői, oktatói és kutatói munkát ismeri el azzal, hogy ebben az évben Cserti Józsefnek ítélte oda az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Érmét.

Tudományos díjak

Életműdíj kategória

Kövér László – Selényi Pál-díj

Kövér László, az MTA Atommagkutató Intézet nyugalmazott tudományos főmunkatársa tudományos tevékenysége az elektron-spektroszkópia módszeréhez, továbbá annak felület- és határréteg-fizikai, felületkémiai analitikai, atom- és molekulafizikai, valamint magfizikai alkalmazásaihoz kapcsolódik. Magyarországon ő honosította meg az XPS/ESCA módszert, először laboratóriumi röntgenforrások alkalmazásával, majd később szinkrotronok mellett végzett kísérletek formájában is. Ugyancsak ő valósította meg hazánkban elsőként a fékezési sugárzás használatán alapuló laboratóriumi nagyenergiájú, nagyfelbontású Auger-elektron-spektrosz-

kópiát. Nemzetközileg is igen komoly visszhangot kiváltó eredményeket ért el felületek és határfelületek elektronszerkezetének vizsgálatában, kémiai és szilárdtest-effektusok kimutatásával fotoelektron- és Auger-spektrumokban és az elektron-spektroszkópiai módszerek alkalmazásá tételeiben a kvantitatív felületi analízis céljaira. Meghatározó szerepet játszott a rugalmasan szórt elektronok és a fotoelektronok visszalökődési hatásai elméletének kifejlesztésében, illetve az elmélet alkalmazásában polietilén esetére. Tudományos eredményei mellett kiemelendő hazai és nemzetközi szakmai kötőéleti tevékenysége; többek között ilyen munkát végzett hosszú időn át a Nemzetközi Szabványügyi Szervezetben (ISO), az International Union for Vacuum Science, Technique and Applications (IUVSTA) társaságban, valamint az Európai Szinkrotron-felhasználók Szervezetében (ESUO).

Szipőcs Róbertnek – Bródy Imre-díj

Szipőcs Róbert, az R&D Ultrafast Lasers Kft. ügyvezető igazgatója, az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont tudományos főmunkatársa kiemelkedő eredményeket ért el optikai rendszerek tervezésében, új módszerek kifejlesztésében és ezek alkalmazásában a legkülönfélébb területeken (ultragyors lézerspektroszkópia, nemlineáris 3D mikroszkópia, orvosi képlalkotás). Két USA és egy magyar szabadalma van, és több sikeres céget alapított. Legalább tizenöt fajta high-tech berendezést fejlesztett és szállít a világ nagypresztízsű egyetemi-kutatóintézeti kutatócsoportjainak, valamint ipari cégeknek. Megrendelői között több Nobel-díjas kutató (*Theodor W. Hänsch, Gérard Albert Mourou*) is szerepelt. Kivételesen sokrétű tevékenységére jellemző, hogy képes volt és jelenleg is képes az alap kutatás, alkalmazott kutatás, kísérleti fejlesztés, műszaki fejlesztés, termékfejlesztés, szállítás, értékesítés teljes vertikumában magas színvonalon eredményt felmutatni.

Cserti József Sólyom Jenő elnöktől veszi át az Eötvös Loránd Fizikai Társulat érmét.





A friss Gombás Pál-díjas Kálmán Orsolya.

PhD fokozat után MTA doktori cím előtt díj kategória

Kálmán Orsolya – Gombás Pál-díj

Kálmán Orsolya, az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont Szilárdtestfizikai és Optikai Intézete tudományos munkatársa nemzetközileg elismert eredményeket ért el a kvantumtechnológia szempontjából ígéretes eszközök különböző fizikai rendszerekben való megvalósíthatóságával és realiztikus kvantumprotokollok lehetséges felhasználásával kapcsolatban. Munkája során analitikus eredményeket ért el kétdimenziós elektrongázban külső elektromágneses terekkel létrehozott interferencián alapuló eszközök elemzésében továbbá ultrahideg atomok Bose–Einstein-kondenzátumának és nanoméretű áramvezetők kölcsönhatásának leírásában. Ezen túlmenően egy rezonáns üreggel kölcsönható kétatomos rendszer dinamikáján alapuló nemlineáris protokollt javasolt, amelyről kimutatta, hogy kvantumállapot-megkülönböztetésre is alkalmas, majd az ilyen típusú protokollok egész osztályát meghatározta. Hasonló, iterált nemlineáris dinamikára vonatkozóan kimutatta, hogy a kezdeti zaj függvényében kvantum fázisátalakulásra hasonlító jelenség lép fel.

Nemes-Incze Péter – Gyulai Zoltán-díj

Nemes-Incze Péter, az MTA Energiatudományi Kutatóközpont Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézete tudományos munkatársa nemzetközi szinten is kiemelkedő eredményeket ért el,

elsősorban a grafén pásztázószondás vizsgálataiban. Legjelentősebb eredménye az egyetlen atom vastag grafén hordozóhoz viszonyított vastagságának atomerő-mikroszkópos meghatározása, amely feltárta a módszer korlátait, és javaslatot tett egy azóta is széles körben alkalmazott mérési gyakorlatra. Jelentős eredményeket ért el továbbá a grafén éleinek marásos kialakításában, amelynek keretében német partnerekkel együttműködve kimutatta, hogy a grafén speciális kristálytani irányú élein hiányzik a hibákra jellemző Raman-szórás, elsőként igazolva kísérletileg a korábbi elméleti jóslatokat. Fiatal kora ellenére rangos folyóiratokban nagy idézettséget felmutató publikációs tevékenységet tudhat maga mögött.

Pozsgai Balázs – Novobátszky Károly-díj

Pozsgai Balázs, a BME Elméleti Fizika Tanszék, „Lendület Statisztikus Térelmélet Csoport” prémium posztdoktori ösztöndíjas kutatója az integrálható kvantumspinelcok nemegyensúlyi dinamikájának leírása terén ért el úttörő eredményeket. Legnagyobb hatású, nagy idézettséget felmutató eredménye elvezetett az általános Gibbs-sokaság érvényességi körének újragondolásához és irányt mutatott a további nemzetközi vizsgálatoknak. A Bethe-ansatz módszer felhasználásával sikerrel számított ki spin-spin korrelációs függvényeket, átfedéseket és a Loschmidt-echót nemtriviális kölcsönható rendszerekben. Legfrissebb eredményei tisztázzák a kvantumkvencs integrálhatóságának feltételeit, amelyek új utat nyitnak a tudományos közösség számára az időfejlődés egzakt leírása felé.

Geretovszkyné Varjú Katalin – Budó Ágoston-díj

Varjú Katalin, az ELI-ALPS kutatóintézet kutatástechnológiai igazgatója, az SZTE Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék egyetemi docense a nagy intenzitású lézertérben a magasrendű harmonikusokból szintetizálható attosekundumos impulzusok keltése, karakterizálása és alkalmazásai témakörben ért el nemzetközi visszhangot kiváltó eredményeket. Vizsgálatai a nagy intenzitású lézertérben létrejövő optikai ionizáció következtében keltett sugárzás tanulmányozására, a gáزرészecskék és az erős tér kölcsönhatásának, valamint az attosekundumos impulzusok terjedési tulajdonságainak részletesebb megismerésére koncentráltak. Legfontosabb eredményei a harmonikusok keltés folyamatának mikroszkopikus és makroszkopikus optimalizálása és a sugárzás karakterizálása témájában születtek.

Fizikai Szemle Nívódíjban részesültek a 2018-ban megjelent cikkek alapján: *Horváth Dezső, Trócsányi Zoltán: Műon: mi az és mire jó?* című cikkükért (május, 147–153. oldal); a Fizika Tanítása rovatban megjelent írásk szerzői közül *Szabó László Attila: Ne babozz! Kísérletezz!* című írásáért (május, 171–176. oldal).

Gratulálunk a díjazottaknak.

FIZIKA MINDENKINEK 2019–2020 – VERSENYFELHÍVÁS

Fizika a műszaki világban, a művészetekben és a mindennapokban

Országos csapatverseny középiskolák 9–13. osztályos tanulói számára

A versenyen olyan témák feldolgozását várjuk, amelyeken keresztül szemléletesen bemutatható a fizika jelenléte a műszaki életben, vagy a különböző tudományokban és művészeti ágakban, illetve a mindennapok gyakorlatában.

A versenyre két kategóriában (I. kategória: 9–10., II. kategória: 11–13. évfolyamos tanulók csapata) 2-3 fős diákcsoportok nevezhetnek. **A jelentkezés és a részvétel díjmentes!**

Nevezési határidő: 2019. november 8.

Részletek: verseny.eit.bme.hu



A verseny rendezője a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Egyesült Innovációs és Tudásközpontja, valamint a Bay Zoltán Tudomány- és Technikatörténeti Alapítvány.

AZ ELEMI RÉSZECSKÉK ÉS ALAPVETŐ KÖLCSÖNHATÁSOK Standard Modellje

Az elemi részecskékre és alapvető kölcsönhatásokra vonatkozó jelenlegi legpontosabb ismereteinket összegzi a Standard modell, amely az erős és egyesített elektromgyenge kölcsönhatások elmélete. A gravitáció, jóllehet alapvető kölcsönhatás, nem része a Standard modellnek.

Fermionok – az anyag építőkövei, spinjük: 1/2, 3/2, 5/2 ...

kvarkok (spin = 1/2)			leptonok (spin = 1/2)		
jel/íz	tömeg GeV/c ²	elektr. töltés	jel/íz	tömeg GeV/c ²	elektr. töltés
u up	0,003	2/3	ν_e elektron-neutrínó	< 10 ⁻⁸	0
d down	0,006	-1/3	e elektron	0,000511	-1
c charm	1,3	2/3	ν_μ müion-neutrínó	< 0,0002	0
s strange	0,1	-1/3	μ müion	0,106	-1
t top	175	2/3	ν_τ tau-neutrínó	< 0,02	0
b bottom	4,3	-1/3	τ tau	1,7771	-1

Tömeg: a részecskefizikában az energiát elektronvoltban (eV), a tömeget GeV/c² egységekben ($E = mc^2$) mérik. 1 GeV = 10⁹ eV = 1,60 · 10⁻¹⁰ J. A proton tömege 0,938 GeV/c² = 1,67 · 10⁻²⁷ kg.

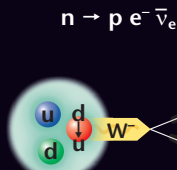
Töltés: az elektromos töltéseket a protontöltés egységében adjuk meg. A proton töltése 1,60 · 10⁻¹⁹ coulomb.

Fermionikus hadronok

barionok (qqq) és antibarionok (q̄q̄q̄) – több száz ismert barion van				
jel/név	kvark-össz.	tömeg GeV/c ²	elektr. töltés	spin
p proton	uud	0,938	1	1/2
p̄ anti-proton	ūūđ	0,938	-1	1/2
n neutron	udd	0,940	0	1/2
Λ lambda	uds	1,116	0	1/2
Ω omega	sss	1,672	-1	3/2

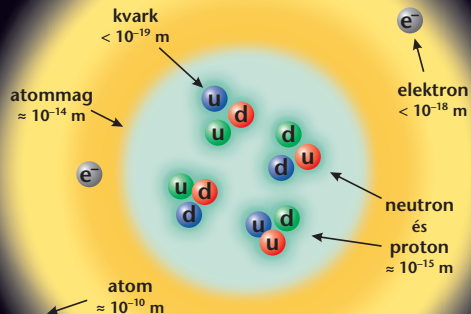
Antianyag: a részecskének általában van „antirészecskéje”, amely azonos tulajdonságú, de ellentétes töltésű, mint a részecske. Néhány elektromosan semleges részecske egyben saját antirészecskéje is. Ilyen a Z⁰-bozon, a γ-foton, vagy az η_c-mezon, de a K⁰-kaon, mely d \bar{s} kvark-antikvark-párból áll, már nem.

Az ábrák a jellemző fizikai folyamatokat csak szemléltetik, hozzájuk értelmes módon skálát rendelni nem lehet. A kékeszöld tartományok a gluonok felhőjét, illetve mezejét, a piros vonalak a kvarkok pályáját mutatják.



Egy neutron protonra, elektronra és antineutrínóra bomlik egy virtuális W-bozon (gyenge kölcsönhatás) közvetítésével. Ez a béta-bomlás.

Az atom szerkezete

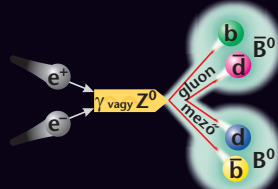


Ha a protonok és neutronok átmérője 10 cm volna a képen, akkor a kvarkok és elektronok 0,1 mm-nél kisebbek lennének, az atom pedig 10 km átmérőjű lennel!

A kölcsönhatások tulajdonságai

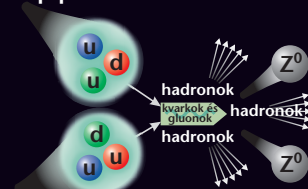
tulajdonság	kölcsönhatás	erős		gyenge (elektromgyenge)	elektromágneses (elektromgyenge)	gravitációs (nem az SM része)
		alapvető	visszamaradó			
amire hat		színtöltés	lásd magyarázat	íz	elektromos töltés	tömeg, energia, lendület
ezek a részecskék érzik		kvarkok, gluonok	hadronok	kvarkok, leptonok	elektr. töltötték	minden
közvetítő részecske		gluonok	mezonok	W [±] , Z-bozon	γ-foton	graviton (még nem figyelték meg)
relatív erősség két up kvarkra	10 ⁻¹⁸ m 3 · 10 ⁻¹⁷ m	25	-	0,8	1	10 ⁻⁴¹
két proton az atommagban		60	-	10 ⁻⁴	1	10 ⁻⁴¹
		-	20	10 ⁻⁷	1	10 ⁻³⁶

$$e^+ e^- \rightarrow B^0 \bar{B}^0$$



Nagy energiájú elektron-pozitron-ütkezésben (elektromgyenge kölcsönhatás) B⁰-anti-B⁰ keltése, γ-foton vagy Z⁰-bozon közvetítésével.

$$p p \rightarrow Z^0 Z^0 + \text{hadronok}$$



Nagy energiájú, erősen kölcsönható protonok ütközésekor keletkezhetnek hadronok és nehéz részecskék, például Z-bozonok.

Bozonok – a kölcsönhatások közvetítői, spinjük: 0, 1, 2 ...

erős – szín (spin = 1)			elektromgyenge (spin = 1)		
jel/név	tömeg GeV/c ²	elektr. töltés	jel/név	tömeg GeV/c ²	elektr. töltés
g gluon	0	0	γ gamma-foton	0	0
			W[±] W [±] -bozon	80,39	±1
			Z⁰ Z-bozon	91,187	0
			H Higgs-bozon	125,09	0

Színtöltés: a kvarkok és gluonok „színtöltést” hordoznak. A kvarkok három-, a gluonok nyolcféle „színűek” lehetnek. Kvarkok és gluonok szabadon nem létezhetnek. Őket a színtöltések között ható alapvető erős kölcsönhatás kétféleképpen kötheti össze színsemleges hadronokba: vagy három (anti)kvark alkothat egy (anti)bariont, vagy egy kvark-antikvark-pár alkothat egy mezont.

A visszamaradó erős kölcsönhatás a színsemleges nukleonok – vagyis az atommagot alkotó neutronok és protonok – között hat (ez felelős a „magerőkért”), jellegében a Van der Waals-kölcsönhatáshoz hasonlít.

A spin a részecske saját perdülete. A spint ħ egységekben adjuk meg, ahol ħ = h/2π = 6,58 · 10⁻²⁵ GeVs = 1,05 · 10⁻³⁴ Js.

Bozonikus hadronok

mezonok (q̄q) – több száz ismert mezon van				
jel/név	kvark-össz.	tömeg GeV/c ²	elektr. töltés	spin
π[±] pion	uđ	0,140	1	0
K[±] kaon	sū	0,494	-1	0
ρ[±] ró-mezon	uđ	0,770	1	1
B⁰ B-null mezon	dđ	5,279	0	0
η_c eta-c mezon	cđ	2,980	0	0

Az eredeti poszttert a **Contemporary Physics Project** (<http://CPEPweb.org>) készítette. A magyar változat Kármán Tamás és Somogyi Gábor munkája.

Megjelent a **Fizikai Szemle** mellékleteként, a **Paksi Atomerőmű Zrt.** támogatásával. Letölthető a <http://fizikaiszemle.hu> honlapról.

Kereskedelmi forgalomba nem hozható, oktatási célra szabadon felhasználható.

