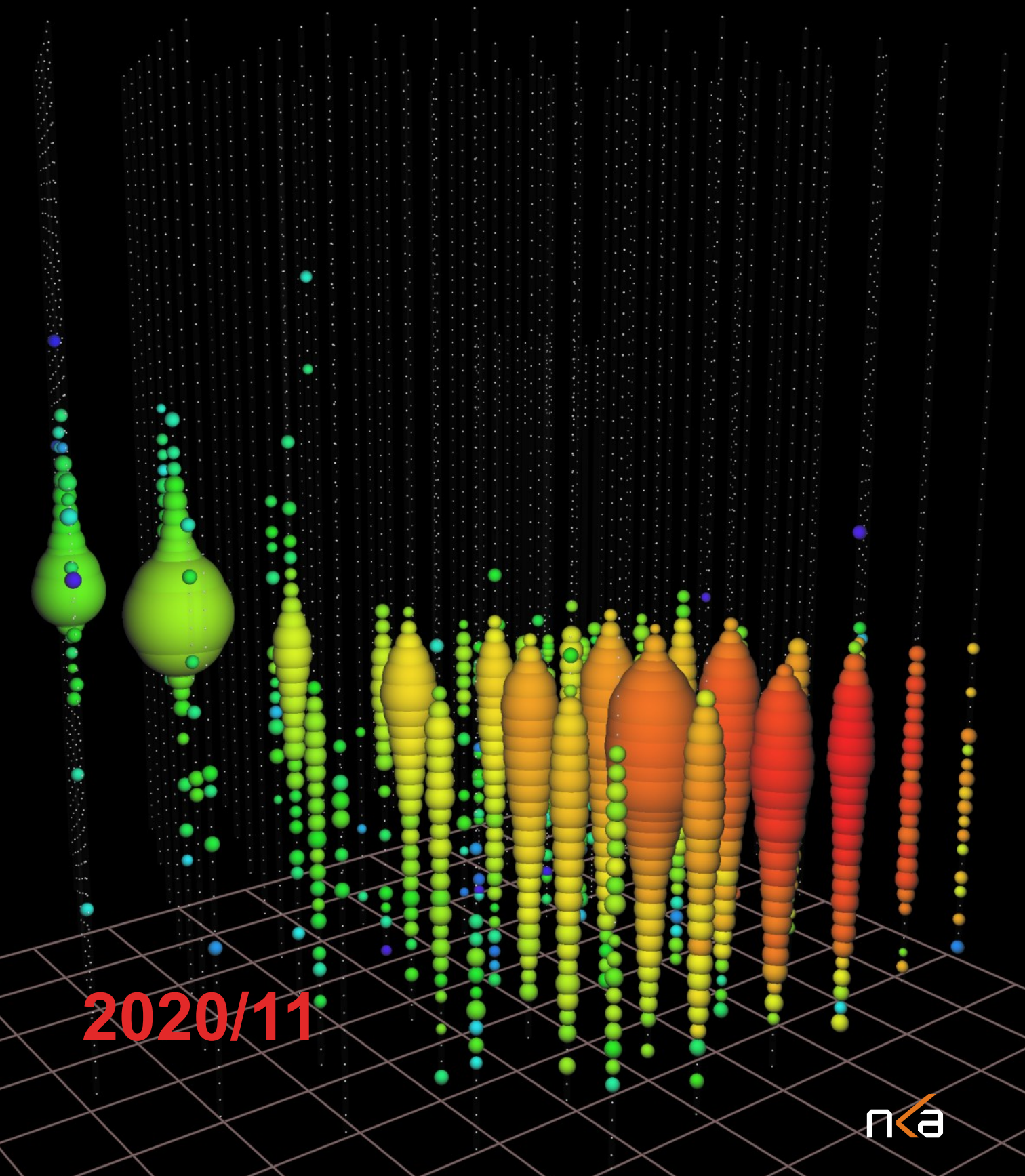
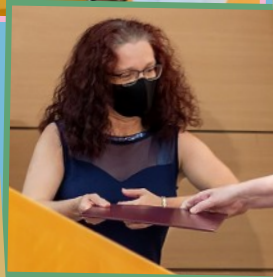
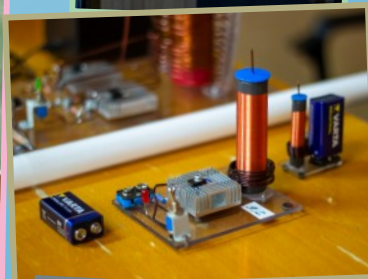


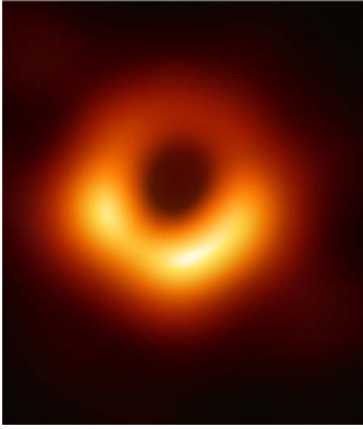
fizikai szemle



2020/11

Küldöttgyűlés – maszkban





A nemzetközi Event Horizon Telescope (Esemény Horizont Távcso) együttműködés korszakalkotó felvétele a Messier 87 távoli galaxis szívében található óriási fekete lyukról. A képen egy fényes gyűrű látható, amelyben a fény meghajlik egy, a Napnál 6,5 milliárdszor nagyobb tömegű fekete lyuk körül. Ez a régóta várt kép az eddigi legerősebb kísérleti bizonyíték a szupermasszív fekete lyukak létezésére (forrás: <https://eventhorizontelescope.org/press-release-april-10-2019-astronomers-capture-first-image-black-hole>).

Roger Penrose a texasi A & M Egyetem Mitchell Alapvető Fizikai és Csillagászati Intézetének Penrose-csempézéssel burkolt előcsarnokában (forrás: https://en.wikipedia.org/wiki/Penrose_tiling#/media/File:RogerPenroseTileTAMU2010.jpg). Engedély: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>.




A NOBEL-DÍJ IGAZSÁGTALANSÁGA

A *Fizikai Szemle* hagyományai közé tartozik, hogy az év fizikai Nobel-díjának októberi kihirdetését követően a lehető leghamarabb megismertetjük Olvasóinkat a díjjal jutalmazott eredményekkel. Novemberi számunk nyitó cikkével, *Dálya Gergely Újabb Nobel-díj a fekete lyukak kutatásáért* című írásával teszünk eleget a feladatunknak. (Lehetne kicsit szőrszálhasogatni, hogy a 2017-es díjat valójában a gravitációs hullámok detektálásáért adták, és az csak „mellékes”, hogy az első detektálásokban feltehetően fekete lyukak összeolvadásakor keltett hullámokat észleltek.) Ennél sokkal fontosabb, hogy 2019 után 2020-ban is asztrofizikai eredményeket jutalmaztak, sőt: a 21. század eddigi fizikai Nobel-díjaiból a hatodikát ítelték oda asztrofizikában vagy csillagászatban elért eredményekért. Ez azt mutatja, hogy az utóbbi években az asztrofizika és kozmológia a fizika egyik legdinamikusabb területe, és Dálya Gergely cikkéből azt is megtudjuk, hogy az elmúlt néhány évtizedben sok fizikus érdeklődése fordult a kozmológia, különösen a fekete lyukak felé. Ezek a titokzatos objektumok képezik az alapvető fizika egyik nagy kihívását: a tér, az idő és a gravitáció jobb megértését.

Láthatjuk, hogy az elméleti fizikusok egész sora foglalkozott a fekete lyukakkal, amelyek létezését lényegében minden fizikus már jóval azelőtt biztosra vette, hogy a csillagászok legalább egyet közvetlenül megfigyeltek volna. A kínos helyzet 2019 áprilisában ért véget, amikor az Event Horizon Telescope (EHT, Eseményhorizont Távcso) együttműködés tudósai közzétették az első képet egy fekete lyukról. Ezután már végképp nem lehetett azt gondolni, hogy a fekete lyukak a teoretikusok képzeletének szüleményei: bizonyítottá vált, hogy ezek a kozmikus tárgyak ugyanolyan valóságosak, mint az égen látható csillagok.

Bár több elméleti fizikus ért el már évtizedekkel ezelőtt fontos eredményeket ezen a területen, egyikük sem kapott Nobel-díjat. Ennek oka, hogy a Bizottság általában csak olyan kiemelkedő elméleteket hajlamos díjazni, amelyeket kísérletek igazolnak (gondoljunk csak *Peter Higgs* és *François Englert* esetére, akik körülbelül 60 évet vártak a díjra). Így tulajdonképpen az EHT bizonyító erejű felvétele jogosította fel a fizikai Nobel-díjbizottságot arra, hogy az idei díjat (pontosabban a díj felét és a velejáró, átszámítva körülbelül 176 millió forintnak megfelelő összeget) odaítéljék a 89 éves *Roger Penrose*-nak, aki 55 évvel ezelőtt új matematikai módszerekkel bizonyította, hogy a fekete lyukak létezése *Einstein* elméletének elkerülhetetlen következménye.

Egy másik szabály szerint a Nobel-díjat soha nem adhatják posztumusz. Penrose 1965-ben egy Cambridge-ben tartott előadása alkalmával találkozott egy *Stephen Hawking* nevű doktorandusszal, akire nagy hatással volt. Hawking PhD dolgozatának utolsó fejezetében Penrose eredményeire támaszkodva bebizonyította, hogy Einstein gravitációs elmélete szerint az Univerzum rendkívül forró és sűrű állapotban kezdődött, tökéletesen kapcsolódva ahhoz a koncepcióhoz, hogy a tér és az idő az ősrobbanásban keletkezett. Penrose és Hawking külön dolgoztak az Einstein-elmélet szingularitásának tanulmányozásán, de két évvel később összefogtak, hogy megírják korszakos tanulmányukat a Penrose–Hawking-féle szingularitási tételekről. Hawking 2018 márciusában bekövetkezett haláláig mindenki úgy gondolta, hogy a fekete lyukak Nobel-díját Roger Penrose és Stephen Hawking fogja kapni. Ha Hawking még élt volna idén októberben, biztosan meg is kapta volna, 31 hónapon múlt. A sors és a Nobel-díj szabályzat „igazságtalanságának” több hasonló példája ismert, gondoljunk csak *Robert Broutra*, aki joggal osztozhatott volna Higgs és Englert 2013-as díjában. Roger Penrose viszont kétségtelenül megérdemelte a díjat. A Nobel-díjas felismerésen kívül a fizika és matematika/geometria határterületén számos további lényeges eredménye van. Egyik legismertebb a Penrose-csempézés, aminek alapján megmagyarázható a *Daniel Shechtman* (kémiai Nobel-díj 2011) által felfedezett kvázikristályok diffrakációs képe.


Lendvai János
főszerkesztő

Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

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

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:

Biró László Péter, Czitrovszky 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:

Az IceCube Neutrínóobszervatóriumban 2014. június 11-én észlelt, mintegy 8 PeV becsült energiájú neutrínó által keltett jel, lásd Kun Emma írását a 370–375. oldalakon.

TARTALOM

<i>Lendvai János: A Nobel-díj igazságtalansága</i>	365
<i>Dálya Gergely: Újabb Nobel-díj a fekete lyukak kutatásáért A 2020-as fizikai Nobel-díj háttere</i>	367
<i>Kun Emma: Kozmikus neutrínók égen és Földön A Galaxisunk határain túlról érkező neutrínókat észlelhetjük a Világegyetem azon távoli régióiból is, amelyek a kozmikus sugarak és a fotonok számára átláthatatlanok</i>	370
<i>Radnai Gyula, Cserti József: Versenyfeladatok az Eötvös-inga bűvületében – 1. rész Az Eötvös-inga története egy új megközelítésben és az ingával kapcsolatos különböző szintű versenyfeladatok bemutatása</i>	375
<i>Sólyom Jenő, Groma István: A 70 éve végzett matematika–fizika szakos évfolyam(ok) A háború után indult első évfolyamok hallgatóinak sorsa az egyetemen töltött évek alatt és utána, a mélyreható változások korszakában</i>	384
VÉLEMÉNYEK	
<i>Kis Tamás: A sötétség határán Magyarországon az iskolai természettudomány oktatás egyre mélyülő válságban van</i>	388
A FIZIKA TANÍTÁSA	
<i>Lipcsey-Magyar Márton Pál, Lichter Bertalan Ede, Piláth Károly: A fényelektromos jelenség vizsgálata myDAQ-val Az ELFT és a National Instruments tanári myDAQ pályázatán I. helyezést nyert „Valós idejű erőmérés és további kísérletek” című pályamű egy fejezete</i>	390
<i>Szarka László Csaba, Győri István, Molnár László, Ujvári Sándor: Eötvös Loránd Jubileumi Emlékverseny 2019 Beszámoló a jubileumi év során négytagú csapatok számára kiírt műveltségi versenyről</i>	393
HÍREK – ESEMÉNYEK	
<i>Bonis bona kitüntetést kapott Radnai Gyula</i>	383
<i>Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 2020. évi Küldöttgyűlése</i>	400
<i>J. Lendvai: The injustice of the Nobel Prize</i>	
<i>G. Dálya: Another Nobel prize for black hole research</i>	
<i>E. Kun: Cosmic neutrinos in sky and Earth</i>	
<i>Gy. Radnai, J. Cserti: Competition examples under the spell of the Eötvös pendulum</i>	
<i>J. Sólyom, I. Groma: The 70 years ago graduated mathematics–physics class(es)</i>	
OPINIONS	
<i>T. Kis: On the border of darkness</i>	
TEACHING PHYSICS	
<i>M. P. Lipcsey-Magyar, B. E. Lichter, K. Piláth: Investigation of photoelectricity with myDAQ</i>	
<i>L. Cs. Szarka, I. Győri, L. Molnár, S. Ujvári: Loránd Eötvös Jubilee Memorial Competition 2019</i>	
EVENTS	

Fizikai Szemle

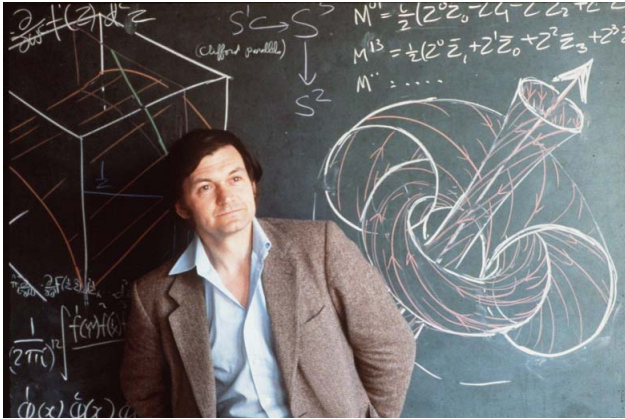
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését támogatják:



ÚJABB NOBEL-DÍJ A FEKETE LYUKAK KUTATÁSÁÉRT

Dálya Gergely
ELTE



1. ábra. A Nobel-díj felét elnyert Roger Penrose az 1980-as években.

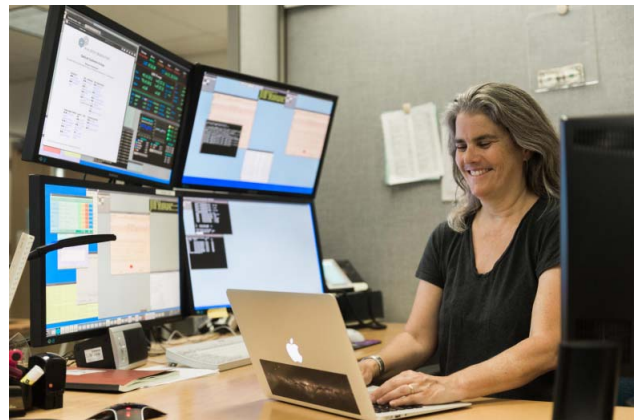
2017-ben a fekete lyukak összeolvadásából származó gravitációs hullámok első közvetlen észleléséért kapta meg a fizikai Nobel-díjat a felfedezést tevő LIGO kollaboráció három vezető kutatója. Három év elteltével pedig ismét a fekete lyukakkal kapcsolatos eredményekért ítélték oda a világ legrangosabb fizikai elismerését. A díj egyik felét *Roger Penrose* brit fizikus (1. ábra) kapta „a felfedezésért, hogy a fekete lyukak kialakulása az általános relativitáselmélet erős bizonyítéka”, míg a díj másik felén *Reinhard Genzel* német asztrofizikus és *Andrea Ghez* amerikai csillagász osztozott, ők „a galaxisunk közepén lévő szupernagy tömegű objektum felfedezéséért” kapták meg az elismerést (2. ábra).

A gravitáció modern elmélete

Albert Einstein általános relativitáselmélete a gravitációt nem erőként kezeli, hanem a tér görbületeként írja le. A testek – tömegük révén – meggörbítik a téridőt, a többi test pedig ebben a görbült téridőben fog mozogni. Ahogy a klasszikus, newtoni mechanikából tudjuk, egy magára hagyott test vagy nyugalomban van, vagy pedig egyenes vonalú egyenletes mozgást végez. Ez igaz a görbült téridőben is, azonban az „egyenes” fogalmát itt újra kell gondolni (3. ábra). Nézzük azt a példát, hogy egy Budapestről Los Ange-



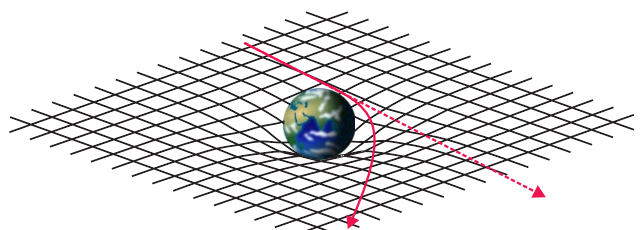
Dálya Gergely az ELTE asztrofizikus doktorandusza. A gravitációs hullámokat elsőként észlelő LIGO kollaboráció tagjaként a gravitációs hullámok forráslokalizációjával és azok kozmológiai alkalmazásaival foglalkozik. Emellett 2014 óta a Csillagászati és Asztrofizikai Diákolimpia magyar csapatának felkészítő tanáraként is dolgozik.

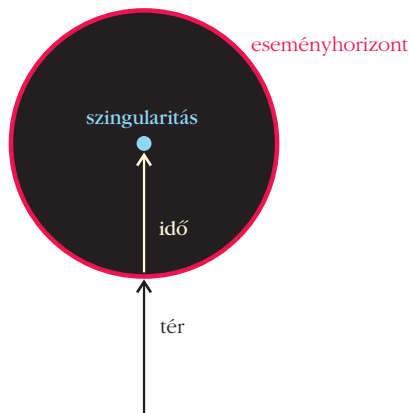


2. ábra. A 2020. évi fizikai Nobel-díj másik felén osztozó Reinhard Genzel az ESO chilei Paranal Observatóriumánál (fölül), illetve Andrea Ghez a Hawaii-szigeteken található Keck Observatóriumban (alul).

lesbe tartó repülőgép útja során Grönland fölött is el fog haladni, ami egy síktérképre nézve abszurdnak tűnik. A földfelszínen azonban egy ilyen, kívülről görbültnek tűnő pálya lesz a két várost összekötő legrövidebb út, vagyis az „egyenes”. Ebben a leírásban a Hold Föld körüli keringését például úgy képzelhetjük el, hogy a Föld, mint nagyobb tömegű test begörbíti maga körül a gyakran gumilepedőként szemléltetett téridőt, a Hold pedig e görbült téridőben mozog. Az általános relativitáselmélet igazát azóta számos kísérlet és mérés alátámasztotta, nélküle például a GPS-műholdakon alapuló helymeghatározás sem lehetne ilyen pontos.

3. ábra. Bármilyen, tömeggel bíró test meggörbíti a téridőt, a többi test pedig e görbült téridőben mozog (forrás: Wikipedia / Mysid nyomán).





4. ábra. Egy nem forgó, úgynevezett Schwarzschild-féle fekete lyuk szerkezete (forrás: nobelprize.org).

Léteznek-e a fekete lyukak?

Már jóval az általános relativitáselmélet megszületése előtt, a 18. században is felmerült a „fekete csillagok” gondolata, *John Michell* és *Pierre-Simon Laplace* is elgondolkodott rajta, hogy lehetnek akkora tömegű és sűrűségű égitestek, amelyek gravitációs vonzásából még a fény sem képes kiszabadulni. Az általános relativitáselméletet leíró cikk megszületése után néhány héttel pedig a német asztrofizikus, *Karl Schwarzschild* felfedezte a relativitáselmélet egyenleteinek egy olyan megoldását, amely egy fekete lyukat ír le.

A fekete lyukakat leíró egyenletet azonban sokáig csupán matematikai érdekességnek tartották. Az ugyanis, hogy egy fizikai elmélet megengedi valaminek a létezését, még nem jelenti, hogy annak feltétlenül léteznie kell a valóságban is; végül mindig a kísérlet és a megfigyelés dönti el, hogy az elmélet melyik jóslata helyesek. Az általános relativitáselmélet egyenleteinek rengeteg igen abszurd megoldása is van, amelyekről nem feltételezzük, hogy léteznek a valóságban. Így voltak a fizikusok abban a korszakban a fekete lyukak létezésével is. Ezen állásponthoz az is hozzájárult, hogy a Schwarzschild által talált megoldás egy igencsak idealizált eset: olyan térrészt ír le, amelynek közepén a tér görbülete végtelen, de semmilyen anyag nincs benne, és az így leírt fekete lyuk nem is forog. Joggal merülhetett fel, hogy amint anyag hullana egy ilyen testbe, rögtön érvényüket vesztenék az egyenletek, így lehet, hogy egy ilyen fekete lyuk nem maradhatna stabil.

Roger Penrose-t az a kérdés foglalkoztatta az 1960-as években, hogy a fekete lyukak reális körülmények között is létrejöhetnek és fennmaradhatnak-e. Penrose fejlesztette ki azokat a matematikai és fizikai eszközöket, amelyek segítségével lehetővé vált ezen kérdések megválaszolása. Penrose elvetette a korábbi vizsgálatokban kihasznált idealizálásokat, például hogy az összeomló csillag, amiből végül kialakul a fekete lyuk, tökéletesen gömb alakú, vagy azt, hogy a csillag egyáltalán nem forog. Így sikerült bebizonyítania azt, hogy ha az összeomló csillagban bárhol kialakul egy olyan sűrűségű rész, amely legendősen meg-

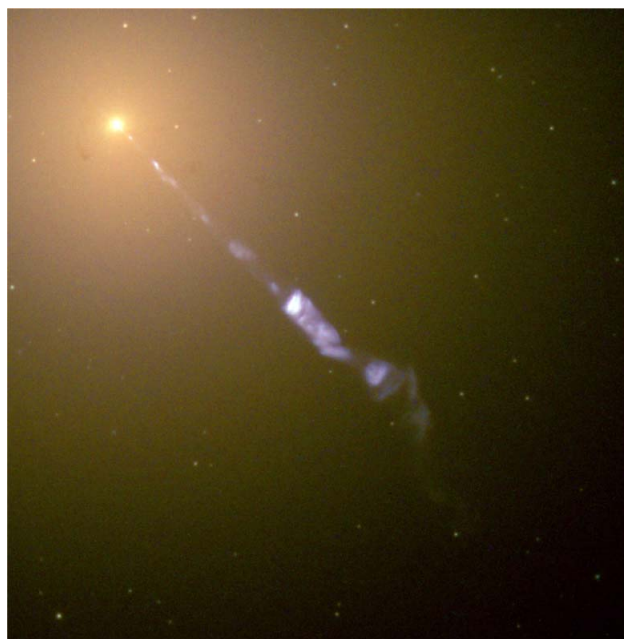
görbíti a téridőt ahhoz, hogy a fény se tudjon onnan kijutni (Penrose ezt nevezte el csapdázott felületnek), akkor ennek egyenes következménye, hogy egy szingularitás, vagyis egy végtelen görbületű térrész jön létre – ezért mindenképpen kialakul a fekete lyuk.

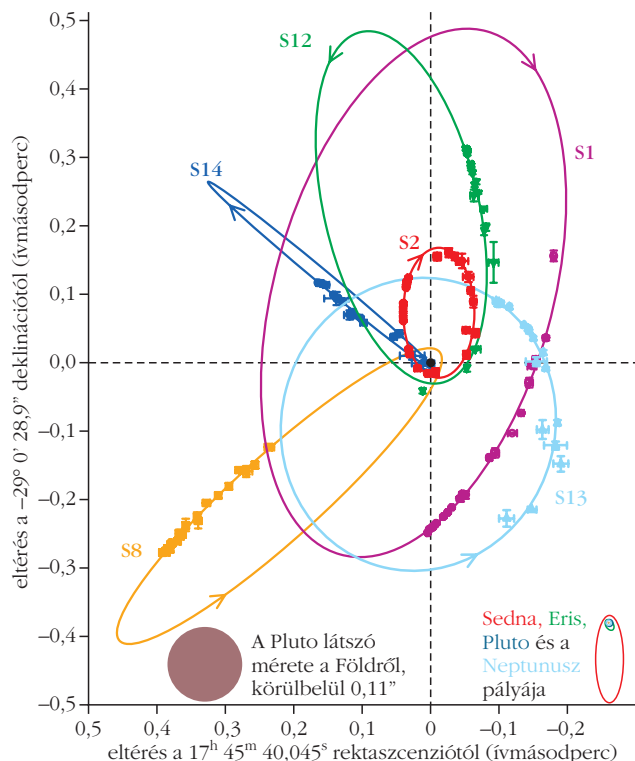
A 4. ábrán egy nem forgó fekete lyuk szerkezetét láthatjuk. A fekete lyuk közepén található a szingularitás, a fekete lyuk határát pedig az eseményhorizont – vagyis az a határ, ahol már akkora a tér görbülete, hogy onnan a fény sem képes kijutni – jelöli ki. Az eseményhorizontra úgy is gondolhatunk, mint ahol a tér és az idő helyet cserél egymással, ilyen módon a szingularitás nem egy pont a térben, hanem egy pillanat az időben – ennek megfelelően biztosan nem tudjuk elkerülni. Érdekes ennek következményein elgondolkodni. A hétköznapi életben két feltétele van annak, hogy valamilyen eseményre emlékezhessünk: egyrészt a múltban kellett megtörténnie, másrészt pedig legfeljebb olyan távol történhetett, hogy a fénynek ideje legyen onnan hozzánk eljutnia. Ha helyet cserél a tér és az idő, akkor ez a két feltétel is módosul: az eseménynek a szingularitástól távolabb kellett történnie, mint ahol most vagyunk, és a mostani időponthoz képest legfeljebb annyi idővel korábban vagy később kell megtörténnie, mint amennyi időnek a fényre szüksége lenne, hogy oda eljusson. Tehát az eseményhorizonton belül bizonyos jövőbeli eseményeket is láthatunk.

Észlelési bizonyítékok

A fekete lyukak valóságos létezésének bizonyításához – és nem csupán egy matematikai absztrakció levezetéséhez – egyet mindenképpen meg kellett figyel-nünk. 1918-ban *Heber Curtis* amerikai csillagász az

5. ábra. Az M87 galaxis magjából induló kilövellés (forrás: J. A. Birretta és mtsai, Hubble, NASA).





6. ábra. Néhány csillag pályája a Tejútrendszer központi fekete lyuka körül, a méreteket kétféle módon is szemléltetjük (forrás: Eisenhauer és mtsai., *ApJ* 628 (2005) 246–259).

M87 galaxist vizsgálva egy érdekes, egyenes vonalat fedezett fel, amely a galaxis középpontjából, annak síkjára merőlegesen indult ki, és attól távolodva egyre halványodott (5. ábra). Ő még nem tudhatta, hogy egy szupernagy tömegű fekete lyukból származó relativisztikus kilövellést lát, amelynek hossza a Tejútrendszer átmérőjének százszorosa is lehet, energiája pedig akár 10 nagyságrenddel is nagyobb lehet az egész Tejútrendszerénél!

1932-ben *Karl Jansky* amerikai fizikus egy olyan erős rádióforrást talált az égen, amelyik még a Napnál is intenzívebben sugárzott. Világos volt számára, hogy egy ilyen erős rádiósugárzás nem származhat hőmérsékleti sugárzásból, hiszen ekkor a látható fény tartományában is túl kellene ragyognia a Napot, tehát a forrás nem lehet csillag. A sugárzás azonban nagyon kis területről érkezett, így nem lehetett szó egy egész galaxis együttes sugárzásáról sem. Ezeket a forrásokat később kvazároknak nevezték el, ami a „csillagszerű rádióforrás” angol rövidítése. 1963-ban sikerült megmérni a Szűz csillagképben lévő 3C 273 nevű kvazár távolságát, amely több mint 2 milliárd fényévként adódott, így ki lehetett zárni, hogy a mi galaxisunkban helyezkednek el a kvazárok.

Mindezeket a jelenségeket az 1970-es években egy közös modell segítségével sikerült megmagyarázni. A modell szerint a források olyan galaxisok, amelyek közepén egy szupernagy tömegű fekete lyuk található, ami egy akkréciós (tömegbefogási) korongból folyamatosan anyagot nyel el. Az akkréciós korongban nagyon felforrósodik az anyag, így intenzív rönt-

gensugárzást bocsát ki. A hatalmas mágneses terek révén bizonyos esetekben a szinkrotronmechanizmus segítségével a fénysebességhez közeli sebességekre gyorsulnak az elektronok, amelyek az akkréciós korong síkjára merőlegesen két kilövellés formájában hagyják el a galaxist, miközben intenzív rádiósugárzást bocsátanak ki.

Azokat a galaxisokat, amelyek magjában ezek a folyamatok játszódnak le, aktív galaxisoknak nevezzük. Egyre több aktív galaxist felfedezve világossá vált, hogy számos galaxis közepén fekete lyukat találunk. De vajon igaz ez az olyan nem aktív galaxisokra is, mint a Tejútrendszer? Az 1960-as évekbe világossá vált, hogy a Tejútrendszer közepe is kibocsát rádióhullámokat, bár az aktív galaxisokénál kevésbé intenzíven. Egyre fontosabbá vált tehát a Sagittarius A*, vagyis galaxisunk rádióhullámokat sugárzó csillagszerű központi objektumának vizsgálata.

Az 1990-es évekig kellett várni, mire a csillagászati műszerek elég érzékennyé váltak galaxisunk központi régiójának vizsgálatára. Reinhard Genzel és Andrea Ghez egy-egy projektet indított a régió feltérképezésére, amelynek során számos új technológiát és műszert fejlesztettek ki, hogy átláthassanak a Tejútrendszer közepét eltakaró csillagközi porfelhőkön. A kutatócsoportoknak a legnagyobb műszerekre, a chilei VLT (Very Large Telescope) és a hawaii Keck Observatórium 8-10 méteres átmérőjű távcsöveire volt szükségük a felfedezéshez.

A két kutatócsoport műszerei ugyan képet nem voltak képesek alkotni a központi fekete lyukról, de olyan nagy felbontást sikerült elérniük, amekkorával az egyes csillagok mozgását észlelhetők a galaxis központi régiójában. Közel 30 csillag mozgását követték nyomon éveken keresztül, hogy pályáikat pontosan megállapíthassák. Az egyik csillag, amelyet S2-nek kereszteltek el, mindössze 16 év alatt kerüli meg a központi objektumot elliptikus pályáján (6. ábra); ezzel szemben a Napnak például 200 millió évre van szüksége egy kör megtételéhez. A csillagok pályáinak méretéből és a keringési periódus értékéből meghatározható a központi objektum tömege. A mérések alapján az objektum tömege a Napénak közel négymilliószorosa, és ez a hatalmas tömeg a Naprendszerénél kisebb térrészben helyezkedik el, így nem lehet más a galaxis közepén, csakis egy fekete lyuk.

Roger Penrose eredményei megmutatták, hogy a fekete lyukak léte az általános relativitáselmélet közvetlen következménye, és rámutatott arra is, hogy milyen különös jelenségek játszódnak le egy fekete lyuk belsejében. A fekete lyukak elméletében azonban továbbra is sok kérdés vár válaszra. Az előrelépésben sokat segíthetnek a megfigyelési eredmények. Például az olyanok, amelyekkel Reinhard Genzel és Andrea Ghez bebizonyították, hogy saját galaxisunk közepén is egy ilyen fekete lyuk rejtőzik. Az utóbbi években ráadásul egyre újabb módszerekkel vagyunk képesek ezeket a különleges objektumokat vizsgálni.

KOZMIKUS NEUTRÍNÓK ÉGEN ÉS FÖLDÖN

Kun Emma

CSFK, Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet

A csillagászok a négy kozmikus hírvivő, az elektromágneses sugárzás, a kozmikus sugarak, a neutrínók és a gravitációs hullámok megfigyelésével tanulmányozzák a Világegyetemet. Minden egyes észlelési ablak kinyitásával valami újat tanultunk és tanulunk jelenleg is a körülöttünk levő fizikai világról. A négy kozmikus hírvivő valamelyikének detektálására alkalmas földi és űrbe telepített obszervatóriumok együttműködésén alapuló többcsatornás, vagy angol kifejezéssel „multimessenger”-csillagászat a Világegyetem legenergiásabb jelenségeinek egyidejű megfigyelését teszi lehetővé. Ilyenek például a kozmikus részecskegyorsítók, nagy energiájú kozmikus sugarak, γ -fotonok és neutrínók erős forrásai.

Az extragalaktikus eredetű, azaz a galaxisunk határain túlról érkező hírvivők közül a neutrínókat észlelhetjük a Világegyetem azon távoli szegleteiből is, amelyek mind a kozmikus sugarak, mind a fotonok számára átláthatatlan régiók – a neutrínók a Világegyetem legjobb szabadulóművészei. Ez a tény, illetve a neutrínódetektorok örvendetes fejlődése óriási lendületet adott a neutrínócsillagászatnak.

Bevezető

A neutrínók könnyű elemi részecskék, leptonok, fermionok. A négy alapvető kölcsönhatás közül a gravitációtól eltekintve csak a gyenge kölcsönhatásban vesznek részt, emiatt az anyaggal szemben közömbösek és detektálásuk nehézkes. Három ízüket ismerjük aszerint, hogy melyik másik leptonnal hozhatók kapcsolatba valamilyen bomlási folyamatból: elektronneutrínó (ν_e), müon-neutrínó (ν_μ) és tau-neutrínó (ν_τ), illetve ezek antirészecskéi. Nyugalmi tömegük felső határa a KATRIN kísérlet legfrissebb eredményei szerint 1,1 eV [1].

Földi körülmények között neutrínók például részecskegyorsítóknál és atomreaktorokban, de akár a Föld belsejében is keletkezhetnek. Az égbolt felől érkező neutrínóknak eredetük és energiájuk szerint négy csoportját különböztetjük meg. Ezek növekvő energia szerint a kozmikus neutrínóháttér, sztelláris neutrínók, kozmikus és kozmogenikus neutrínók. A

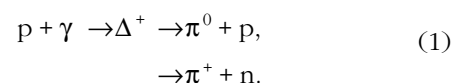


Kun Emma a CSFK Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézetének tudományos munkatársa, MTA Prémium posztdoktori ösztöndíjas, Junior Prima-díjas csillagász. Kutatási területei az aktív galaxismagok és nagy energiájú részecskesugárzásuk, extragalaktikus részecskenyalábok interferometrikus rádiócsillagászata, szupernagy tömegű fekete lyuk-kettősök, galaxisok forgásgörbéi.

kozmosz neutrínóháttér egyik komponense a primordiális neutrínóháttér, ami az ősrobbanást („Big-Bang”) követő első egy-két másodpercben indult útjára. Minden köbcentiméterben akár 300 ilyen úgynevezett Big-Bang neutrínó is lehet, viszont már jelentősen lehűltek ($E \sim 10^{-4}$ eV), emiatt detektálásuk komoly technikai kihívás, ugyan vannak rá kísérletek [2], kimutatásuk eddig nem sikerült. A diffúz szupernóva-neutrínó-háttér a Világegyetemben lezajlott szupernóva-robbanások összessége adja, amely kis energiájú neutrínók folytonos forrása. Fluxusának felső határa a negyedik Szuper-Kamiokande mérései szerint $2,9 \bar{\nu}_e/\text{cm}^2/\text{s}$, 17,3 MeV energiaszint felett [3]. A sztelláris, néhányszor 10 MeV-nél kisebb energiájú neutrínók főként nukleáris folyamatokban jönnek létre, például a Nap belsejében vagy robbanó szupernóvákban. A nagy, 10 GeV feletti energiájú kozmikus neutrínók távoli források kozmikus sugarai által keltett mezonok bomlása során jönnek létre. Az extrém nagy, néhányszor 10 PeV feletti energiájú kozmogenikus neutrínók az ultranagy energiájú kozmikus sugarak és a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás kölcsönhatásában jönnek létre, első detektálásuk még várat magára. Jelen írásban a kozmikus neutrínók keletkezésével és detektálásával foglalkozunk.¹

Kozmikusneutrínó-keltő kölcsönhatási csatornák

A kozmikus neutrínók keltésére a „fentről le” elv érvényes, azaz a neutrínók nagyobb tömegű részecskék bomlásából jönnek létre. Két neutrínókeltő kölcsönhatási csatornát különböztetünk meg. Az egyik csatornában a relativisztikus sebességű protonok fotonokkal, a másik csatornában pedig egymással vagy a körülöttük levő anyaggal hatnak kölcsön. A neutrínók keltésének feltétele, hogy az elsődleges részecskék közötti kölcsönhatás tömegközépponti energiája fedezze a neutrínóvá és egyéb részecskékké bomló másodlagos részecske nyugalmi energiáját. Ha nagy energiájú proton fotonnal találkozik, az energiakövetelmény teljesülése esetén egy Δ^+ részecske jön létre, ami 2/3 valószínűséggel semleges töltésű pionná és protonná, vagy 1/3 valószínűséggel pozitív töltésű pionná és neutronná alakul:



¹A már megszokott MeV, azaz megaelektronvolt (10^6 eV) mellett az írásban többször előfordul a GeV (giga, 10^9 eV), a TeV (tera, 10^{12} eV), a PeV (peta, 10^{15} eV), valamint az EeV (exa, 10^{18} eV) egység is.

Ha egy nagy energiájú proton másik protonnal hat kölcsön, az energiakövetelmény teljesülése esetén a kölcsönhatásban ugyanakkora valószínűséggel jön létre semleges, pozitív vagy negatív töltésű pion (és egyéb részecskék):

$$p + p \rightarrow N_{\pi} [\pi^0 + \pi^+ + \pi^-] + X. \quad (2)$$

A pozitív (negatív) töltésű pion aztán müonkeltésen és bomláson keresztül müonneutrínóvá (müion-antineutrínóvá), pozitronná (elektronná), elektronneutrínóvá (elektron-antineutrínóvá), valamint müion-antineutrínóvá (müonneutrínóvá) bomlik:

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_{\mu}, \quad \mu^+ \rightarrow e^+ + \bar{\nu}_{\mu} + \nu_e, \quad (3)$$

illetve

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_{\mu}, \quad \mu^- \rightarrow e^- + \nu_{\mu} + \bar{\nu}_e. \quad (4)$$

A főként nagy energiájú protonokból és könnyebb atommagokból álló kozmikus sugarak, az elektromágneses spektrum legenergiusabb tartományába eső γ -fotonok és a kozmikus neutrínók keltődése tehát szorosan összefügg. A következőkben a nagy energiájú kozmikus neutrínók elsődleges részecskéit tárgyaljuk.

Ultranagy energiájú kozmikus sugarak

A kozmikus sugarak főként nagy energiájú hadronokból állnak. Szerepük fontos a galaktikus dinamikában, felmelegítik a csillagközi gázt, befolyásolják a csillagformálódást és kölcsönhatnak a mágneses terekkel is. A megfigyelt elsődleges (azaz a Föld atmoszféráján túlról érkező) kozmikus sugarak jó közelítéssel hatványfüggvény alakú energiaspektrumának abszcisszatengelye 12 nagyságrendet átfogva 0,1 GeV-től valamivel több mint 10^{11} GeV-ig, a fluxus pedig 4 részecske/cm²/s-tól 1 részecske/km²/100 évig tart, 32 nagyságrendet átfogva (részecske/m²/sr/s/GeV egységben) [4, 5]. Kompozíciós mérések szerint a spektrum 100 GeV körüli energiáig erősen protondominált, efelett a protonok mellett nehezebb magok is előfordulhatnak [6]. A spektrum karakterisztikus jellemzői (törések a spektrumban) az „első térd” 3 PeV-nál, a „második térd” 100 PeV-nál, a „boka” 8 EeV-nál és a „lábujj” 60 EeV-nál [7]. A galaktikus és extragalaktikus eredet közötti átmenet 10^9 GeV körül, a boka környékén következik be.

Az ultranagy energiájú kozmikus sugárzást („ultra-high energy cosmic rays”, UHECR) a 10^{18} eV, némely esetben a 10^{20} eV energiát is meghaladó energiájú hadronok alkotják. Az UHECR-részecskék fluxusa igen csekély: becslések szerint egy 1 km²-es területen közel 1 évszázadot kell várni 1 ilyen részecske detektálásához. Mi okozhatja ezt a kicsi detektálási gyakoriságot? Az UHECR-részecskék kölcsönhatnak a kozmikus mikrohullámú háttérsugár-

zás (KMHS) fotonjaival, $5 \cdot 10^{18}$ eV felett a Bethe-Heitler-féle párkeltés

$$p + \gamma_{\text{KMHS}} \rightarrow p + e^+ + e^-, \quad (5)$$

$5 \cdot 10^{19}$ eV felett pedig a már látott Δ^+ részecske keltése által. Párkeltés esetén, 10^{19} eV energia körül a híglási hossz (az a távolság, amelynek megtétele után a UHECR-részecske közegen való áthaladásának valószínűsége e -ed részére csökken) 1000 megaparszek (Mpc) [8]. Δ -rezonancia esetén ez a távolság már csak néhányszor 10 Mpc [8]. Az ennél távolabbról a Föld irányába induló UHECR-részecskék fluxusa jelentősen lecsökken, ami a Greisen-Zacepin-Kuzmin-(GZK-) levágást eredményezi az energiaspektrumukban [9, 10]. A GZK-horizont távolsága $5 \cdot 10^{19}$ eV energián ~ 50 Mpc, ami kicsivel több mint 0,01-os vöröseltolódásnak (z) felel meg. A GZK-levágás feletti energiájú, azaz kozmikus értelemben fiatal UHECR-részecskéket is detektáltak már, ezek valószínűleg a lokális Univerzumból ($z \leq 0,05$) származnak. A GZK-horizonton túli, $5 \cdot 10^{19}$ eV energia feletti UHECR-részecskék és a KMHS kölcsönhatásában keletkezett neutrínók a már említett kozmogénikus vagy GZK-neutrínók. Töltött részecskék lévén a galaktikus és intergalaktikus mágneses terek az UHECR-eket eredeti pályájuktól eltérítik [11], forrásaik körül diffúz jellegű forró foltokat hozva létre. Így a csekély számú detektált UHECR-részecskét nehéz az égi forrásaikhoz kapcsolni.

A protonok nyugalmi tömege (energiaegységekben) 938 MeV. Milyen kozmikus részecskegyorsítóban és mely folyamatok által érhetik el az UHECR-részecskék a nyugalmi tömegüknek megfelelő energiánál jellemzően 10–12 nagyságrenddel nagyobb energiát? Keletkezésüknek két alapvető elvét ismerjük, a „fentről le”, és a „lentől fel” típusú modelleket. A „fentről le” forgatókönyv szerint az UHECR-részecskék olyan szupernehéz részecskék bomlásából jönnek létre, amelyek energiája 10^{20} eV-től egészen a GUT-skáláig, $\sim 10^{25}$ eV-ig terjed [12]. Az ilyen típusú modellekben a protonok a Föld közelében jönnek létre (γ -fotonokkal és nagy energiájú neutrínókkal egyetemben), így elméleti spektrumukban nem jelenik meg a GZK-levágás. A folyamatra utaló jelek hiánya és a kozmikus spektrumban ténylegesen jelen levő GZK-levágás miatt mai ismereteink szerint a „fentről le” helyett az UHECR-részecskék „lentől fel” típusú elv szerint keletkeznek, azaz távoli forrásokban a kezdetben kisebb energiájú kozmikus sugarak gyorsulnak fel ultranagy energiákra.

A töltött kozmikus sugarakat leghatékonyabban ultranagy energiákra gyorsító egyik mechanizmus, a diffúz lökeshullám általi gyorsítás, vagy elsőrendű Fermi-gyorsítás. Ez hidrodinamikai lökeshullámok határfelületén történik, ahol a különböző plazmaállapotok közötti határfelületen a részecskesebesség hirtelen megváltozik. Asztrofizikai lökeshullámokban általában az inhomogén mágneses tér felelős a kozmikus sugarak gyorsításáért [13]. Ilyen típusú UHECR-

gyorsítás történhet galaxishalmazokat körülvevő burkokban, csillagontó galaxisok szeleiben, aktív galaxismagok permanens és γ -kitörések tranzien részecskenyalábjában, vagy árapály-szétszakítások részecskenyalábjában. Az „Espresso” modellben az UHECR-részecskék olyan szupernóva-maradványokban létrejöttek, kezdetben alacsonyabb energiájú kozmikus sugarak, amelyek AGN-ek relativisztikus nyalábjá általi nyírás gyorsítással akár a 10^{20} eV energiát is képesek elérni [14]. UHECR-részecskék létrejöhetnek fiatal, gyorsan forgó neutroncsillagok és magnetárok szeleiben, elektromotoros erő általi gyorsítás hatására. A Pierre Auger Array és Telescope Array UHECR-detektorok mérései szerint az AGN-ek és csillagontó galaxisok szignifikáns UHECR-források. Vak keresések alapján a szupergalaktikus sík² irányából mérhető a legerősebb UHECR-anizotrópia (ahol egyébként csillagontó galaxisok és AGN-ek is előfordulnak) [15–17].

Kozmikus neutrínók

Ahol kozmikus sugarak UHECR-részecskékké gyorsulnak, ott γ -fotonok és nagy energiájú neutrínók is keltődnek. Az extragalaktikus gyorsítóközegekből származó nagyon nagy, akár 100 GeV feletti energiájú γ -fotonok eltérülés nélkül utaznak a Világegyetemben, viszont ezeknek is van horizontja (1 TeV felett körülbelül $z \sim 1$ -ig látunk γ -tartományban). Ennek oka az, hogy a γ -fotonok kölcsönhatnak az extragalaktikus háttérfénnyel, valamint a KMHS fotonjaival, és a vonatkozó energiakritérium teljesülése esetén a γ -fotonok párkeltés során ($\gamma + \gamma \rightarrow e^+ + e^-$) megsemmisülnek.

A kozmikus neutrínók tehát kulcsfontosságú hírnökök a Világegyetem kozmikus sugarak és fotonok számára áthatolhatatlan részeinek megismeréséhez, viszont – mivel gyengén hatnak kölcsön az anyaggal – detektálásuk komoly kihívás. Ezért a neutrínódetektorokat a földfelszín alá, jégbe, bányákba, tavakba, tengerekbe helyezik, ahol a detektoranyag kiszűri a zavaró kozmikus háttérrel. Az eddig észlelt kozmikusneutrínó-események közül a legnagyobb energiájúak PeV nagyságrendűek, többségük 10–100 TeV nagyságrendű. Az eddig detektált müonok közül a legenergiusabb 4,5 PeV energiájú volt, az ezt keltő müonneutrínó energiája pedig körülbelül 8,7 PeV, vagyis 0,014 J lehetett. Ez majdnem 16 nagyságrenddel nagyobb a neutrínók nyugalmi tömegének felső határánál, ami elképesztően nagy nem termális energiára utal.

Galaktikus neutrínóforrások

A nagy tömegű csillagok fejlődésének végén bekövetkező SNII-típusú szupernóva-robbanások során keletkező lökéshullámok sűrű csillagközi anyaggal találkozva PeV energiákra gyorsítják az abban jelen

²A szupergalaktikus sík a szupergalaktikus koordináta-rendszer alapsíkja, a Virgo-szuperhalmaz szimmetriasíkja.

levő töltött hadronokat, TeV tartományba eső energiájú neutrínók emissziójához vezetve. Neutroncsillagok kettős rendszerének összeolvadásában ezred másodperces periódussal forgó pulzárrok jöhetnek létre. A Rák-köd észlelései azt mutatják, hogy a központi pulzár forgási energiájának nagy része a pulzárszelet alkotó plazma kinetikai energiájává alakul át, ami a csillag nyugalmi rendszeréből nézve akár 10^9 – 10^{10} Lorentz-faktorú plazmamozgást is eredményezhet. További galaktikus források például mikrokvazárok, magnetárok, anomális röntgenpulzárrok, molekulafelhők [18].

Extragalaktikus neutrínóforrások

Aktív galaxismagok

Az aktív galaxismagok (active galactic nuclei, AGN) a legnagyobb folyamatos fényteljesítményű objektumok a Világegyetemben. Hajtómotorjuk a központi szupernagy tömegű fekete lyuk, ami a környezetéből származó anyagból tömegbefogási, úgynevezett akkréciós korongot formál maga körül. Rádióhangos AGN-ekben a forgó fekete lyukak közvetlen közeléből részecskenyalábok párja indul. Legvalószínűbb forrásuk a központi fekete lyuk forgása, ami óriási energiát juttat a nyalábokba. Az AGN-nyalábok a Világegyetem legerősebb permanens részecskegyorsítói. A részecskenyalábokra való rálátás függvényében a rádióhangos AGN-ek három osztályát különböztetjük meg: blazárok (BL Lac objektumok és lapos spektrumú kvazárok), kvazárok és rádiógalaxisok (Fanaroff–Riley I és II típusok [FR-I, FR-II]).

Jelen tudásunk szerint a részecskenyalábjukat a Föld felé irányító AGN-ek, a blazárok domináns komponensét adják az AGN-ek folytonos neutrínóspektrumának [19, 20]. Intenzív extragalaktikus rádió-, optikai, röntgen- és némely esetben γ -források. A blazárok felől érkező sugárzást minden hullámhosszon a Doppler-erősített részecskenyalábjuk dominálja. A részecskenyalábokban felgyorsított kozmikus sugarak kölcsönhatnak a közeli gázzal és/vagy sugárzási térrel, nagy energiájú neutrínók emissziójához vezetve. Az akkréciós korong fotontengere például kiváló neutrínókeltő célközeg. Az FR-I típusú rádiógalaxisok nyalábjai [21] és a rádiócsendes, röntgenben detektált AGN-ek akkréciós korongja [22] is hozzájárulnak a folytonos neutrínóspektrumhoz. A TeV-emitterek (főként blazárok) és az FR-II típusú rádiógalaxisok tranzien neutrínóflereket mutathatnak [21, 23]. Kozmikus neutrínók keletkezhetnek szupernagy tömegű kettős fekete lyukak részecskenyalábjában is [24–26].

Csillagontó galaxisok

A rádiófrekvenciákon észlelt szinkrotronsugárzás alapján relativisztikus elektronok populációja sejtethető a csillagontó galaxisokban. A relativisztikus elektronok jelenlétéből valamiféle gyorsító folyamatra következtetünk. A Pierre Auger Array detektor mérései megmutatták, hogy a csillagontó galaxisok valóban az

UHECR-részecskék egyik legszignifikánsabb forrásai. Habár kísérletileg még nem bizonyított, a csillagontó galaxisok a kozmikus neutrínók forrásai lehetnek [27].

γ -kitörések

A γ -kitörés (gamma-ray burst, GRB) néhány millisekundumtól néhány percig tartó felvillanás a γ -tartományban, eredete lehet galaktikus és extragalaktikus is. A rövid, legfeljebb 2 másodpercig tartó γ -kitörések valószínűleg két neutroncsillag [28] vagy egy neutroncsillag és egy fekete lyuk összeolvadása során jönnek létre. A γ -kitörések nagyobb hányadát kitevő, percekig tartó hosszú GRB-k nagyobb tömegű csillagok magjának összeomlásához köthetők. Ezt támasztja alá, hogy szinte az összes jól tanulmányozott hosszú GRB csillagontó galaxisokhoz köthető.

A GRB prekursor fázisában kompakt objektumok összeolvadása vagy szupernóva-robbanás egy fotonokból, elektronokból és protonokból álló, relativisztikus sebességű tűzgolyót hoz létre [29]. Ez összeütözik a központi pulzár szeleivel vagy a szupernóva-robbanás táguló héjával, kozmikus részecskék és γ -fotonok emissziójához vezetve. Prompt fázisban UHECR-részecskék igen nagy fluxusa jön létre, nagy energiájú γ -fotonokkal egyetemben. A neutrínóspektrum ebben az esetben jórészt csak $p\bar{p}$ kölcsönhatásokból származik. Az utófénylés neutrínói pedig akkor keletkeznek, amikor a GRB robbanásából származó lökeshullámok beleütözköznek a csillagközi anyagba. Egyelőre kísérletileg nem igazolt az észlelt GRB-k és neutrínók közvetlen kapcsolata [30].

Az IceCube Déli Sarki Neutrínóobszervatórium

Az IceCube Neutrínódetektor a neutrínók és az antarktisi jég kölcsönhatásában létrejött másodlagos részecskék Cserenkov-sugárzását méri [31–33]. 2000 és 2011 között az előd AMANDA és az IceCube építése során az Antarktisz 1450 m és 2450 m-es mélységek közötti 1 köbkilométernyi, a nagy nyomás miatt kristálytisza jégébe összesen 86 detektorfüzért helyeztek le. Az egymástól 125 m-re levő, nagy nyomású forró vízzel fűrt lyukakba füzérenként 60 (összesen 5160) darab, egymástól 17 m távolságra levő fotoelektron-sokszorozót tartalmazó digitális optikai modul (DOM) telepítettek.

Az elektronneutrínók által keltett elektronok többször szóródnak a jégen, mielőtt energiájuk annyira lecsökken, hogy láthatatlanná váljanak az IceCube szenzorai számára. Szférikus jellegű, zápor-típusú mintázatot hagynak, ami miatt az őket keltő elektron-neutrínó irányát meglehetősen pontatlanul, jellemzően néhányszor 10 fok bizonytalansággal lehet meghatározni. Az IceCube leginkább a sáv-típusú eseményeket előidéző müonokra érzékeny, ezek a részecskék hagyják a leghosszabb nyomot a szenzormátrixban. Az elektronneutrínók energiája, a müonneutrínóknak pedig a beérkezési iránya rekonstruálható pontosabban, utóbbi esetében a mediánhiba 1 fok

körül. A tau-neutrínók által keltett tauonok is zápor-típusú eseményt hoznak létre. Ez az elektronok által létrehozott mintázattól abban különbözik, hogy kettős robbanást mutat: egyet a tauon keletkezésakor, egyet pedig bomlásakor. A tauonok igen rövid élettartama miatt a kettős robbanás észlelését a PeV energia-tartományban várják. Kozmikus tau-neutrínókat eddig még nem sikerült egyértelműen detektálni.

A kozmikus neutrínók és a háttér elválasztása több szelekciós kritérium alapján történő, igencsak nehéz feladat. Az IceCube felszíni egysége az IceTop egy 300 TeV és 1 EeV közötti energiákon működő, összesen 324 darab DOM-ból álló detektor. A déli égbolt felől érkező elsődleges kozmikus sugarak záporait detektálja, ezzel segítve a kozmikus neutrínók és az atmoszferikus háttér elkülönítését. A kozmikus neutrínók (rekonstruált) spektruma $dN/dE \sim E^{-2}$ alakú, míg az atmoszferikus háttér neutrínói $dN/dE \sim E^{-3.7}$ szerint skálázódnak, tehát a spektrum is segít a szelekcióban. Az északi égbolt felől érkező müonok nagy valószínűséggel kozmikus eredetűek, mivel a jóval kisebb energiájú atmoszferikus müonokat a Föld tömege kiszűri. Az IceCube szenzormátrixa körül is van egy vétórégió, amely a déli égbolt felől 90 m, az északi égbolt felől 10 m, körbe pedig 50 m vastagságú, és szintén az atmoszferikus müonokat szűri. A detektorfüzerekre merőlegesen 2085 m és 2165 m mélység között található egy tiltott régió, itt a jég magas portartalma problémát okoz a detektálásban.

Az IceCube Déli Sarki Neutrínóobszervatóriumban több mint száz kozmikus eredetű, 10 TeV és 10 PeV közötti tartományba eső energiájú neutrínót detektáltak eddig, a több millió atmoszferikus neutrínó és a több százmilliárd kozmikus sugár eredetű müon mellett.

A TXS 0506+056 jelű blazár

2017. szeptember 22-én az IceCube Neutrínódetektor egy ~ 290 TeV rekonstruált energiájú müonneutrínót észlelt az északi éggömb irányából, az esemény azonosítója IC-170922A. Az IceCube automata figyelőrendszerébe kapcsolt összes földi és űrobszervatórium 1 percen belül értesült az eseményről, és megkezdtek a neutrínó érkezési iránya körüli égterület összehangolt többszörös vizsgálatát. Napokkal a neutrínó detektálása után a Fermi-űrtávcső LAT Kollaborációja jelentette, hogy neutrínó legvalószínűbb beérkezési irányától mindössze 0,1 fokra található TXS 0506+056 jelű blazár γ -flert produkál 100 MeV – 300 GeV energiatartományban. A MAGIC teleszkópok egészen 400 GeV energiáig megnövekedett γ -fluxust mértek. Mérések történtek röntgen-, optikai és rádióhullámhosszakon is. A neutrínót és a γ -fotonokat közös fizikai képbe helyező modellek és a többszörös mérések alapján az IC-170922A jelű neutrínóesemény és a TXS 0506+056 γ -flere között 3σ szignifikanciaszintű korrelációt állapítottak meg [34].

Ezután az IceCube Kollaboráció a TXS 0506+056 irányából további neutrínókat keresve újraelemezte az

előző 9,5 év adatait. Találtak is egy igen erős neutrínóflert: 2014 szeptembere és 2015 márciusa között 13 ± 5 kozmikus neutrínó érkezett a TXS 0506+056 felől [35], a korreláció $3,5\sigma$ szignifikanciaszintű. Felmerülhet a kérdés, miért nem találták meg ezt a neutrínóflert korábban? A neutrínók detektálásánál és pontforrásokhoz kötésénél végzett statisztikai vizsgálatok (prior) paraméterei a feltételezett forrás égi pozíciója és spektruma. Ha tudjuk, hová nézzünk, akkor nagyobb valószínűséggel találjuk meg a kozmikus neutrínókat az adatokban, ez történt a TXS 0506+056 esetében is. Az IC-170922A-t azért tudták korábban a Texas-forráshoz kötni, mert az γ -flert mutatott. A legfrissebb eredmények szerint az igazán hatékony neutrínókeltő közegek átláthatatlanok a γ -fotonok számára, ami megmagyarázza, hogy miért volt alacsony a TXS 0506+056 γ -aktivitása a 2014/2015-ös nagy neutrínófler idején.

Az IC-170922A és TXS 0506+056 közötti korreláció, valamint a 2014/2015-ös neutrínófler bejelentését követő masszív PR tevékenység után a TXS 0506+056 jelű blazár rövid időn belül az aktív galaxismagok „rocksztárjává” vált. Habár vannak ígéretes jelöltek, a szakma széles körű véleménye szerint kozmikus eredetű neutrínók forrása bizonyítottan egyedül a TXS 0506+056 jelű blazár.

Kitekintés

Láttuk, hogy a nem termális Világegyetem jobb megértéséhez szükséges puzzle egyes darabkáját a kozmikus sugarak, a γ -fotonok és a neutrínók hármasának megfigyelése és tanulmányozása alapján gyűjthetjük össze. A kozmikus sugarakat és a fotonokat a neutrínó-asztrfizika köti össze. Minden egyes új energiataartomány feltérképezése potenciálisan felfedezéseket tartogat, tehát kulcsfontosságú a neutrínócsillagászat eszközeinek fejlődése.

Az Antarktisz 10 köbkilométernyi jegét detektoranyagként használó IceCube-Gen2 és a Földközi-tenger mélyén épülő KM3NeT-hez hasonló következő generációs neutrínódetektorok működésének megkezdésével sokat fogunk még tanulni a neutrínóégboltról. Az IceCube-Gen2 célja kozmikus neutrínók statisztikailag teljes mintájának észlelése a PeV–EeV energiataartományban, valamint ízenként több száz neutrínó észlelése a TeV feletti energiákon. Ezzel lehetővé válna az individuális (pont)források neutrínóspektrumának észlelése.

A 19. században Olbers felvetette a kérdést, hogy ha az időben és térben végtelen Univerzum hőmérsékleti egyensúlyban van, akkor miért sötét az éjszaka, miért nem látjuk a végtelen Univerzum végtelen fotontengerét? Az Olbers-paradoxon feloldását az ősrobbanásban született, tehát időben és térben is véges Világegyetem tágulásának kísérleti kimutatása hozta el, ami alapvetően megváltoztatta a körülöttünk levő fizikai világról alkotott képünket. Az optikai esethez hasonlóan feltehetjük azt a gondolatébresztő kérdést, miért ilyen sötét a neutrínóégbolt?

A neutrínócsillagászat fiatal tudomány. Viszont a kozmikus nagy energiájú neutrínóknak már legalább egy bizonyított forrását ismerjük. A jelenleg ismert neutrínófluxus alapján már modellszelekciót végezhetünk. Biztosak lehetünk abban, hogy a neutrínócsillagászat jövője fényes, és a következő évtizedekben számos, a nagy energiájú kozmikus neutrínókhöz kapcsolódó felfedezésről fogunk még hallani.

Irodalom

1. M. Aker és tsai: An improved upper limit on the neutrino mass from a direct kinematic method by KATRIN. *Phys. Rev. Lett.* **123** (2019) 221802.
2. M. G. Betti és tsai: Neutrino physics with the PTOLEMY project: active neutrino properties and the light sterile case. *JCAP* **07** (2019) 047.
3. H. Zang és tsai: Supernova Relic Neutrino search with neutron tagging at Super-Kamiokande-IV. *Astroparticle Phys.* **60** (2015) 41.
4. S. Swordy: The energy spectra and anisotropies of cosmic rays. *Space Sci. Rev.* **99** (2001) 85.
5. Pierre Auger Collaboration: The cosmic ray energy spectrum measured using the Pierre Auger Observatory. *ICRC* **35** (2017) 486.
6. A. M. Hillas: Cosmic Rays: Recent Progress and some Current Questions. arXiv: astro-ph/0607109v2.
7. H. Dembinski és tsai: Data-driven model of the cosmic-ray flux and mass composition from 10 GeV to 10^{11} GeV. *ICRC* **35** (2017) 533.
8. D. Hooper, A. Taylor, S. Sarkar: The Impact of Heavy Nuclei on the Cosmogenic Neutrino Flux. *Astroparticle Phys.* **23** (2005) 11.
9. K. Greisen: End to the cosmic ray spectrum? *Phys. Rev. Lett.* **16** (1966) 748.
10. G. T. Zatsepin, V. A. Kuzmin: Upper limit of the spectrum of cosmic rays. *JETP Lett.* **4** (1966) 78.
11. C. D. Dermer, S. Razzaque, J. D. Finkle, A. Atayan: Ultra-high-energy cosmic rays from black hole jets of radio galaxies. *New Journal of Phys.* **11** (2009) 065016.
12. P. Bhattacharjee: Origin and propagation of extremely high energy cosmic rays. *Physics Reports* **327** (2000) 109.
13. R. Blandford, D. Eichler: Particle acceleration at astrophysical shocks: A theory of cosmic ray origin. *Phys. Rept.* **154** (1987) 1.
14. R. Mbarek, D. Caprioli: Espresso Acceleration of Ultra-High-Energy Cosmic Rays up to the Hillas Limit in Relativistic MHD Jets. *ICRC* **36** (2019) 348.
15. Pierre Auger Collaboration: Correlation of the Highest-Energy Cosmic Rays with Nearby Extragalactic Objects. *Science* **318** (2007) 938.
16. Pierre Auger Collaboration: An Indication of Anisotropy in Arrival Directions of Ultra-high-energy Cosmic Rays through Comparison to the Flux Pattern of Extragalactic Gamma-Ray Sources. *ApJ* **853** (2018) 29.
17. Pierre Auger Collaboration and Telescope Array Collaboration: Full-sky searches for anisotropies in UHECR arrival directions with the Pierre Auger Observatory and the Telescope Array. *ICRC* **36** (2019) 439.
18. W. Bednarek, G. F. Burgio, T. Montaruli: Galactic discrete sources of high energy neutrinos. *New. Astron. Rev.* **49** (2005) 1.
19. K. Mannheim és tsai: Cosmic ray bound for models of extragalactic neutrino production. *Phys. Rev. D* **63** (2001) 023003.
20. A. Mücke és tsai: BL Lac objects in the synchrotron proton blazar model. *Astroparticle Phys.* **18** (2003) 593.
21. J. Becker Tjus és tsai: High-energy neutrinos from radio galaxies. *Phys. Rev. D* **89** (2014) 123005.
22. Y. Inoue és tsai: On High-energy Particles in Accretion Disk Coronae of Supermassive Black Holes. *ApJ* **880** (2019) 40.
23. F. Halzen, A. Kheirandish: High-energy Neutrinos from Recent Blazar Flares. *ApJ* **831** (2016) 12.
24. E. Kun, P. L. Biermann, L. Á. Gergely: A flat-spectrum candidate for a track-type high-energy neutrino emission event, the case of blazar PKS 0723-008. *MNRAS Lett.* **466** (2017) 34.
25. E. Kun, P. L. Biermann, L. Á. Gergely: Very long baseline interferometry radio structure and radio brightening of the high-energy neutrino emitting blazar TXS 0506+056. *MNRAS Lett.* **483** (2019) 42.

26. S. Britzen és tsai: A cosmic collider: Was the IceCube neutrino generated in a precessing jet-jet interaction in TXS 0506+056? *A&A* 630 (2019) 103.
27. A. Loeb, E. Waxman: The cumulative background of high energy neutrinos from starburst galaxies. *JCAP* 5 (2006) 3.
28. LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration: GW170817: Observation of Gravitational Waves from a Binary Neutron Star Inspiral. *Phys. Rev. Lett.* 119 (2017) 161101.
29. T. Piran: The physics of gamma-ray bursts. *Rev. Mod. Phys.* 76 (2005) 1143.
30. M. G. Aartsen és tsai (IceCube): Extending the Search for Muon Neutrinos Coincident with Gamma-Ray Bursts in IceCube Data. *ApJ* 843 (2017) 112.
31. M. G. Aartsen és tsai (IceCube): First year performance of the IceCube neutrino telescope. *Astroparticle Phys.* 26 (2006) 155.
32. M. G. Aartsen és tsai (IceCube): Evidence for High-Energy Extraterrestrial Neutrinos at the IceCube Detector. *Science* 342 (2013) 1.
33. M. G. Aartsen és tsai (IceCube): Time-Integrated Neutrino Source Searches with 10 Years of IceCube Data. *Phys. Rev. Lett.* 124 (2020) 051103.
34. M. G. Aartsen és tsai: Multimessenger observations of a flaring blazar coincident with high-energy neutrino IceCube-170922A. *Science* 361 (2018) eaat1378.
35. M. G. Aartsen és tsai (IceCube): Neutrino emission from the direction of the blazar TXS 0506+056 prior to the IceCube-170922A alert. *Science* 361 (2018) 147.

VERSENYFELADATOK AZ EÖTVÖS-INGA BŰVÖLETÉBEN

– 1. rész

Radnai Gyula
ELTE, Anyagtudományi Tanszék
Cserti József
ELTE, Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék

Az interneten olvasható legtömörebb megfogalmazás szerint az Eötvös-inga olyan érzékeny torziós inga, amely a nehézségi erő kis térbeli változásainak mérésére szolgál.

Jellegzetes alakja mára már szimbólummá vált. Megjelent az *Eötvös Loránd* emléket őrző alkalmi bélyegeken, telefonkártyán, díjat megjelenítő érmén (1. ábra). Még szobor is készült róla, ez Budapesten látható, a nemrég még Eötvös Lorándról elnevezett Geofizikai Intézet előkertjében (2. ábra). Eötvös eredeti ingája, amellyel az 1900. évi Párizsi Világkiállításon aranyérmert nyert, és amelyet az ELTE Anyagfizikai Tanszéke őriz, jelenleg az ELTE Egyetemi Könyvtár *A pontosság bűvöletében* című kiállításán látható. Ez adta az ötletet a mi címválasztásunkhoz is.

Öt olyan feladatot választottunk ki, amelyek színvonalas fizikaversenyeken szerepeltek és amelyek mindegyike kapcsolódik az Eötvös-ingához, vagy



1. ábra. Az Eötvös-inga szimbolikus megjelenítései.

valamelyik nevezetes Eötvös-kísérlethez. Meghagytuk a feladatok eredeti megfogalmazását és a megoldásokban alkalmazott jelöléseket azért is, hogy ha az itt némileg tömörített megoldást az olvasó részleteiben is követni szeretné a megadott elérhetőségeken, ne nehezítsük meg ezt az ottani jelölések megváltoztatásá-



Radnai Gyula ny. egyetemi docens, kandidátus, matematika-fizika tanári szakon végzett 1962-ben. Az ELTE Kísérleti Fizika tanszékén kapcsolódott be a tanárképzésbe. A hazai fizika kultúrtörténetének kutatója a '70-es évektől, amelyet a *Physics in Budapest* című könyv, a *Fizikai Szemlében* és a *Természet Világában* megjelenő számos publikációja fémjelez. 1973-tól volt az Eötvös-versenybizottság tagja, *Vermes Miklóst* követően, 1988-tól 2013-ig vezetője. 1989-től vezeti a *KöMaL* fizikai szerkesztőbizottságát.



Cserti József 1982-ben végzett az ELTE fizikus szakán, majd az ELTE korábbi Szilárdtestfizika Tanszékén kezdte oktatói munkáját. 2004-ben habilitált, 2010 óta az MTA doktora, 2013-tól az ELTE Komplex Rendszerek Fizikája tanszékén professzor. Kutatási területe a nanofizikai rendszerek, normál-szupravezető rendszerek, spintronika, grafén és a topologikus szigetelők. 2005 óta szervezi az ELTE-n az Atomoktól a csillagokig előadás-sorozatot középiskolásoknak.

val. Az Ortvay-verseny feladatainak megoldásakor pedig – amelyek még nem lettek publikálva, itt jelennek meg először – a középiskolainál magasabb matematikai eszközökkel élünk, így jobban hasonlítanak azon gondolatmenetekre, amelyeket Eötvös Loránd alkalmazott eredeti publikációiban, elméleti fizikai megközelítéseiben.

De mielőtt ezeket a feladatokat bemutatnánk, érdemes lesz megemlékeznünk arról, hogyan is születhetett meg Eötvös Lorándban ezen inga ötlete.

Tények, képek, gondolatok az Eötvös-inga megszületéséről

Mikor és miért választotta Eötvös Loránd éppen a gravitációt kutatási témául? *Mikola Sándor* szerint „lehetséges, hogy az első impulzust a Természettudományi Társulat adta meg 1881-ben, amikor megbízta, hogy határozza meg a nehézségi gyorsulást Budapesten, a Kárpátokban és az Alföldön. Lehetséges, hogy e kérdést hosszú ideig forgatta elméjében és így jutott rá módszerére” [1].

Selényi Pál úgy gondolta, hogy a kísérletező tudósra jellemző folytonos próbálgatás, tapogatózás közben talált Eötvös a kutatásra érdemes témára [2].

Körmendi Alpár hívta fel a figyelmet, hogy az *Internationale Erdmessung* Bécsből és Potsdamból irányított programjaiba – a földi nehézségi erőter görbületeinek meghatározása, a „függővonal-elhajlás” mérése – bizonyára bekapcsolódott a Magyar Tudományos Akadémia is, amelynek Eötvös 1889-től elnöke volt [3].

Az igazság sokoldalú, s a fenti magyarázatok az igazság más-más oldalára világítanak rá. Újabb oldalról közelítve a témához, lássuk, mit mondott 1889. január 16-án *Lengyel Béla*, a Királyi Magyar Természettudományi Társulat akkori titkára: „Örömmel tölt el, hogy fáradozásaiért Eötvös megkapta a jutalmat; olyan jutalmat, amelyennél szebbet és nagyobbat a bűvárnakodó tudós nem remélhet. Mert van-e annál szebb és nagyobb jutalma a tudósoknak, mint mikor bűvárlati az eddig nem ismert és tőle keresett igazság felismerésére vezetik? Ebben a jutalomban részesült báró Eötvös Loránd is, és társulatunk büszkeségét és örömét lelheti abban, hogy a tudóst népszerű előadások tartására buzdítva, impulzust adott a mélyebb tudományos bűvárlatra és új igazságok felderítésére” [4].

Alig két hónappal azután mondta ezt *Lengyel Béla*, hogy Eötvös 1888. november 12-én beszámolt az Akadémián *Vizsgálatok a gravitatio jelenségének körében* [5] címmel. Ez az első dokumentálható, gravitációval foglalkozó előadása az Akadémián. Ő maga 1896-ban úgy emlékszik *Vizsgálatok a gravitatio és a mágnesesség köréből* [6] című tanulmányában, hogy nyolc éve foglalkozik a gravitáció témájával, vagyis emlékezett szerint 1888-ban kezdte gravitációs kutatásait.

Az 1887/88-as tanévben két segítségre talált a kísérletek összeállításához. Egyikük *Lengyel Béla* volt, egykori heidelbergi diáktársa, aki akkor már *Tban Károly* után a II. Kémiai Intézetet vezette. Az ő érdeme is, hogy Eötvös



2. ábra. Eötvös-ingát ábrázoló szobor a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet kertjében.

megtarthatta tíz előadásból álló sorozatát 1888 január-február-márciusában. Ennek keretében Eötvös leghatásosabb előadását a gravitációról tartotta!

Eötvös másik segítője egy akkor első éves egyetemi hallgató, *Tangl Károly* volt, aki így emlékezett 1929-ben: „Abban a szerencsés helyzetben voltam, hogy e mérésekben még hallgatókoromban részt vehettem, ennek immár 40 esztendeje.”

Lengyel Béla mellett tehát *Tangl Károly* a másik hiteles szemtanú, aki megerősítheti Eötvös Loránd saját visszaemlékezését a gravitációs vizsgálatok megkezdéséről. *Tangl* így emlékezik: „Már 1888-ban sikerült báró Eötvös Lorándnak a tömegvonzás jelenségét egy népszerű előadáson nagyobb számú hallgatóságának bemutatni. Ez az eszköz azóta hazai középiskolák szertárában is otthonos lett. A fémszekrényben jól védett Coulomb-féle mérleg alatt kvadránsokra osztott hengeres vasedény volt elhelyezve, aminek szemben álló kvadráns párcsok felváltva higannyal lehetett megtölteni. A higany vonzása eltérítette a mérleg rúdját, amit a mérlegre erősített tükörrel visszavert fénysugár tett láthatóvá.”

A következő mondatot *Tangl* minden bizonnyal Eötvös Lorándtól idézi: „Az eszköz már 3-4 percnyi lengésidejével is elegendő érzékenységet, s e mellett a kivilágított és fűtött tanteremben is kellő állandóságot tanúsított” [7].

Erről az előadásról, amely a *Lengyel Béla* által említett – pártolt és szervezett – tíz előadásból álló sorozat egyik első (ha nem a legelső) előadása lehetett, így emlékezik meg a korabeli *Vasárnapi Újság*: „...a lámpától csillogó, fűtött előadási teremben több mint 300 hallgató jelenlétében megmutatta azt, hogy hogyan vonz néhány kilogrammnyi higany egy nem egészen 100 grammnyi súlyú ólomdarabkát” [8].

Lengyel Bélától tudjuk, hogy Eötvös Loránd előadásán ott voltak a kultuszminisztérium neves képviselői is: *Berzeviczy Albert* államtitkár, *Markusovszky Lajos*, az orvos- és gyógyszerészképzésért és *Klamarik János*, a középiskolai oktatásért felelős osztálytanácsosok. Így történhetett, hogy Eötvös higanykvadráns eszköze később otthonos lett a hazai középiskolák szertárában.



3. ábra. Charles Augustin de Coulomb (1736–1806) és Henry Cavendish (1731–1810).

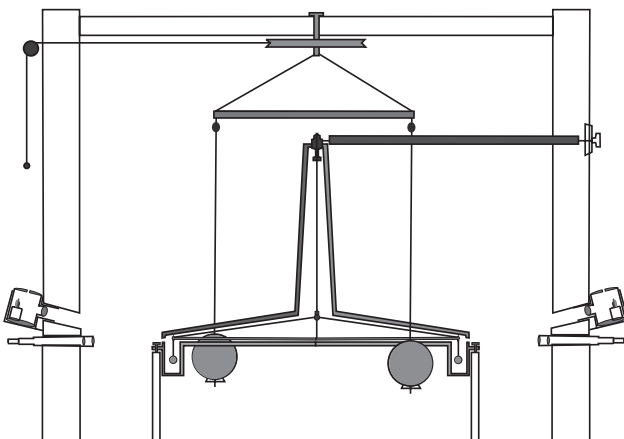
A siker szárnyakat ad. Eötvös az előadás-sorozat befejeztével nyilván hozzálátott a legsikeresebb, leghatásosabb kísérlet további finomításához. Ekkor és így kezdte el tehát Eötvös gravitációs kutatásait!

A szemtanú Tangl Károly – aki szerint „a gravitációs állandójának meghatározása képezte 1888 óta az egyetemi fizikai intézetben folyó vizsgálatoknak egyik célját” – ezt írja Eötvösről:

„...gravitációs kutatásaiban is mindenek előtt arra törekedett, hogy a mérési módszert tökéletesítse, a mérést pontosabbá és biztosabbá tegye, s a mérőeszköz érzékenységét növelje. A gravitációs erők mérésére elég érzékeny eszköz meg volt adva: a Coulomb-féle mérleg. A gravitációs állandó meghatározására eddig is többnyire ezt az eszközt használták, azonban nem volt elég állandó; a mérleg egyensúlyi helyzete egyelőre indokolatlan, kiszámíthatatlan ingadozásokat mutatott, minek folytán az egy- és ugyanazon eszközzel végzett egyes mérések közt jelentékeny eltérések mutatkoztak.

E zavarok eredetét báró Eötvös Loránd a mérleget magába záró szekrényben fellépő levegőáramokban kereste, melyeket apró hőmérséklet-különbségek hoznak létre. Hogy e zavaró hőmérséklet-különbségeket lehetőleg csökkentse, többféle próbálgatás után a Coulomb-féle mérleget kettős-, sőt hármásfalú fém-szekrénybe zárta; hogy pedig a szekrényben foglalt

4. ábra. John Michell torziós mérlegének rajza. Cavendish ezzel határozta meg a gravitációs állandót és következtette ki a Föld tömegét. A kísérletet azóta Cavendish-kísérletnek nevezik.



levegő mennyiségét leszállítsa, a rudat körülvevő fémszekrénynek lapos hengeralakot, vagy amikor nagy lengésekre nem volt szükség, lapos paralelepiped vagy hengeres csőalakot adott. Ezzel az egyszerű fogással tényleg sikerült az eszközt annyira állandóvá tenni, hogy nem csak kedvező hőmérsékleti viszonyok között, jól védett laboratóriumi helyiségekben lehetett vele biztosan mérni, hanem künn a szabadban, egyszerű vászonsátorban is” [7].

1888-ban persze még nem kellett a vászonsátor, Eötvös ekkor még nem vitte ki az eszközt a laboratóriumból. Azzal törődött, hogy a laboratóriumi mérés érzékenységét fokozza, ehhez szerkesztett újabb és újabb eszközöket, amelynek csodájára jártak fizikusok és nem fizikusok egyaránt. *Pekár Dezső* szerint „nagy találékonysággal megszerkesztett multiplikatív és különösen gravitációs kompenzátorával, melynek érzékenységét a végtelenségig fokozhatta, hihetetlenül kis vonzó hatásokat mutatott ki, így néhány liter levegő vonzását” [9].

Coulomb volt az a fizikus (3. ábrán balra), akinek „mérlegét” Eötvös Loránd fel kívánta javítani, előadási kísérletéhez meggyőzőbbé tenni. Coulomb személyisége is szimpatikus lehetett számára, mivel hadmérnöki diplomával a zsebében, különböző mérnöki megbízások teljesítése közben is szenvedélyesen hódolt hobbijának: a fizikai jelenségek mögötti kvantitatív törvények keresésének. Az építmények szilárdságát, tartógerendák lehajlását vizsgálta, az oszlopok csavarodásának vizsgálata pedig logikusan vezette a hajszálvékony rugalmas huzalok csavarási törvényének megállapításához. Ez adta az ötletet a csavarási (torziós) mérleg megszerkesztéséhez, amellyel rendkívül kis erőket tudott mérni. Először csak a huzal rugalmassága érdekelte, később jött az ötlet, hogy ezt fel lehetne használni a nagyon kis erők mérésére. Fogalma sem volt arról, hogy Skóciában *John Michell* (1724–1793) e célra már kitalálta és meg is építette a torziós mérleget (4. ábra), Coulomb is kitalálta majdnem ugyanazt. Michell nem publikálta találmányát, nevét is csak onnan tudjuk, hogy eszközét *Cavendish* (3. ábrán jobbra) rendelkezésére bocsátotta, aki erről becsületesen beszámolt, amikor saját mérési eredményeit publikálta a *Philosophical Transactions* lapjain. Erre azonban már csak azután került sor, hogy Coulomb is publikálta és saját mérési eredményeivel támasztotta alá a pontoszerű töltések között fellépő erők $1/r^2$ -es törvényét.

A tömegvonzás Newton-törvényének torziós mérleggel történő laboratóriumi kísérleti igazolása tehát nem a francia Coulomb, hanem az angol Cavendish nevéhez fűződik, aki ezt 1798-ban végezte el John Michell torziós mérlegével. Ekkor Michell már nem élt.

Eötvös Loránd a Coulomb-mérleg feljavításával ugyanazokat a kísérleteket vitte véghez, amelyeket Cavendish elvégzett. Eötvös azonban egy fontos vonásban alapvetően eltért Coulomb és Cavendish eszközeitől. Az Eötvös-inga torziós szálán függő rúd két végéhez csatlakozó két azonos tömegű test közül csak az egyik van közvetlenül a rúdra erősítve, a másik vi-

szont egy függőleges szálon függ, ennek közvetítésével kapcsolódik a rúd másik végéhez. Ez a lényeges különbség tette lehetővé, hogy Eötvös képes legyen a földi nehézségi erőter kicsiny térbeli változásait meghatározni a műszer környezetében. Továbbá ez adja az Eötvös-inga azon jellegzetes alakját, amelyet a róla készült képzőművészeti alkotásokon láthatunk.

Hogyan születhetett meg ez a megoldás Eötvös fejében? A valószínű válasz megtalálásához érdemes visszanyúlnunk Eötvös első tudományos publikációjához e témában, a *Mathematikai és Természettudományi Értesítőben* 1896-ban megjelent 46 oldalas cikkhez, amelynek szándékosan visszafogott címe: *Vizsgálatok a gravitatio és mágnesség köréből (Előleges jelentés)* [6]. Az egyetlen fizikus, akire többször is hivatkozik a cikkben, Jolly.

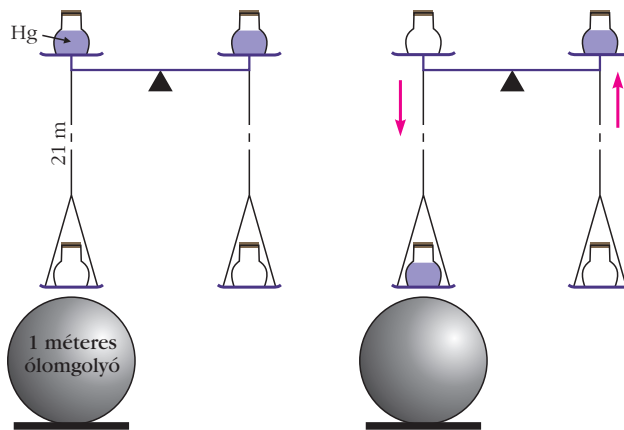
Idézzük Eötvös bevezető szavait, hogyan határozza meg az általa vállalt feladatot: „Ismerteink a nehézség térbeli változásaira vonatkozólag, a felismerésükre szolgáló módszerek elégtelensége miatt, mindeddig nagyon hiányosak. Az inga e változások kicsinységéhez mérten ki nem elégítő érzékenységgel csak nagy távolságokban teszi lehetővé azoknak felismerését, a mérleg pedig, úgy a mint azt Jolly használta, ugyan érzékenyebben, hanem csak egy kiváltságos irányban, t. i. lefelé tárja fel a változás nagyságát. Azok a módszerek és azok az eszközök, melyekről e jelentésben fogok szólni, lehetővé teszik e változások lemérését kicsiny, néhány deciméternyi távolságokban és különböző irányokban. Sőt az e módszerek szerint tett mérések az ingával és Jolly-féle mérleggel tett megfigyeléseket úgy egészítik ki, hogy ezekkel együtt a nehézség nagyságát és irányát teljesen ismertté teszik, nemcsak egyes pontokban, hanem a térnek egy olyan nagy kiterjedésű részében, a melyben ez erőt egyenletesen változóznak feltételezhetjük.” [6].

Mérési módszerének leírását pedig így fejezi be: „Megjegyzem még, hogy a függélyes síkban lengő inga mechanikáját abban a modorban tárgyalva, mint azt itt a Coulomb-féle ingára vonatkozólag röviden előadtam, az elmélet a g nehézségi gyorsulás függőleges változásának meghatározására a Jolly-féle eljárásnál előnyösebb módszerekkel kecsegtet, azoknak megvalósítása azonban a vízszintes forgási tengelyeket létesítő szerkezetek tökéletlensége miatt nekem mindeddig nem sikerült.” [6].

Ki volt hát Jolly, és mi volt az eljárása? A *História Tudósnaptárban* többek között ezt olvashatjuk róla:

„Jolly, Philipp Johann Gustav von,
Mannheim, Németország, 1809. szept. 26. – München, 1884. dec. 24.

Német fizikus, matematikus
Heidelbergben, Bécsben és Berlinben tanult, tanulmányait üvegfúvóknál és műszerkészítőknél végzett gyakorlattal egészítette ki. Tanulmányai befejezése után 1839-ben kinevezték Heidelbergbe a matematika rendkívüli tanárának, majd 1846-ban fizikaprofesszornak. 1854-ben Münchenben George Simeon Ohm utóda lett. Még ebben az évben nemesi címet kapott. Elsősorban kísérleti fizikus volt, számos precíziós műszert alkotott.



5. ábra. Jolly mérésének elve.

Nagy pontossággal megmérte a gravitációs gyorsulást. Később híressé vált diákja volt a müncheni egyetemen Max Planck, akit a legenda szerint 1878-ban megpróbált lebeszélni a fizikával kapcsolatos további tanulmányairól, mivel szerinte a fizika tudománya már majdnem elérte végleges stabil formáját, és már csak néhány apró részletprobléma vár megoldásra. Planck szerencsére nem hallgatott tanárának tanácsára.” [10].

Nos, talán ez az utolsó mondat felfedi, miért nem szokás ma emlegetni Philipp von Jollyt a fizikában. Eötvös Loránd számára azonban Jolly személye mintája lehetett a precíz kísérleti fizikusnak, aki hasonló célú kísérleteket végzett, mint amelyet ő is kitűzött maga elé: a földi gravitációs tér változásának vizsgálatát, kísérleti meghatározását – igaz, hogy csak egyetlen egy, még pedig függőleges irányban. És mi volt Jolly eljárása?

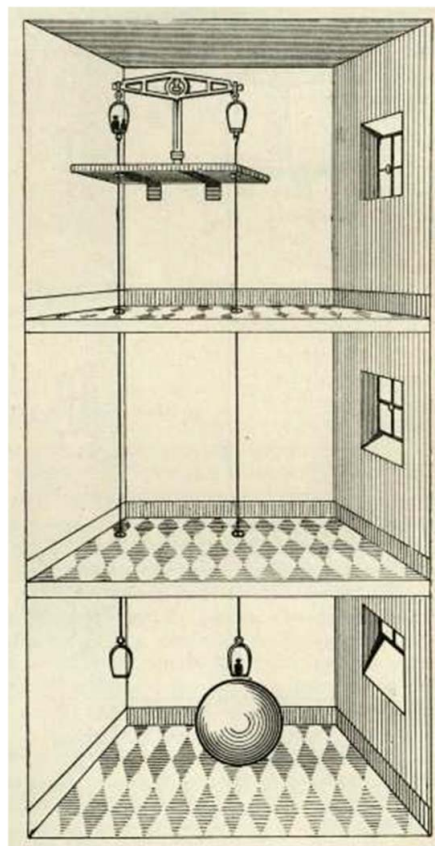
Jolly kettős mérleget készített a gravitációs állandó, illetve a Föld tömegének a meghatározására. A mérleg két karján két-két mérlegtányér függött, amelyekben azonos tömegű testeket, például higannyal töltött lombikokat helyezett el (5. ábra). Az elvégzett kísérletekben az alsó és felső mérlegtányérok között elő-

6. ábra. Jolly kísérletéről nem készült fénykép, viszont az 5775,2 kg tömegű ólomgolyó eredeti méretű modellje megtekinthető a müncheni Deutsches Múzeumban.





7. ábra. Jolly laboratóriumi kettős mérlege.



8. ábra. Ügyetlen, hamis magyarázó ábra Jolly kísérletére.

ször csak 5 méter, végül már 21 méter volt a szintkülönbség. Ha az egyik karon alul, a másikon felül helyezte el a higanyal töltött lombikot és az alul lévő lombik alá egy méteres ólomgolyót gördített (6. ábra), akkor a higany és az ólomgolyó vonzása megbontotta a mérleg egyensúlyát, s elég érzékeny mérlegen le is lehetett mérni, hogy mennyivel.

Jolly itt vehette észre, hogy a két különböző magasságban lévő test súlyának különbsége bizony akár egy nagyságrenddel is nagyobb lehet, mint a mérni kívánt vonzóerő, ezért később erre hegyezte ki a kísérletet, a nehézségi gyorsulás függőleges változásának minél pontosabb mérését tudta elvégezni minden ólomgolyó nélkül, csupán annak kihasználásával, hogy mérlegének egyik karján a tányért hosszú fonálon leógatta (7. ábra). Jolly kísérletéről nem készült fénykép, 1878-as, valamint 1881-es publikációjához [11] se csatolt ábrát.

Azonban a Jolly-kísérletet magyarázó, népszerűsítő szerzők fantáziáját megragadta a tény, hogy ezt Jolly Münchenben, az akkoriban felépült Aulaturmban (aulatoronyban) végezte el, még egy magyarázó ábra is született (8. ábra) [12].

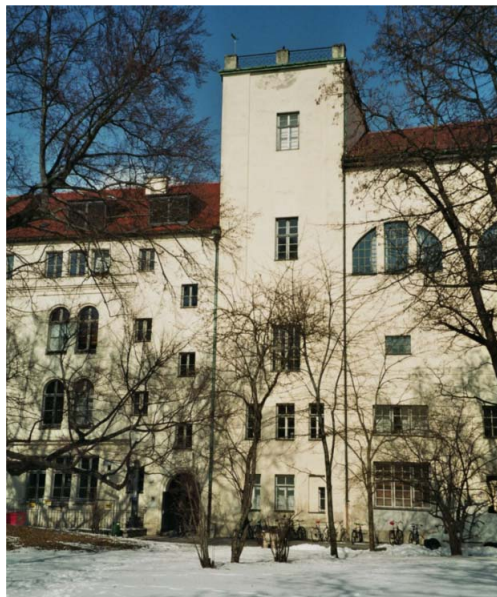
Az igazság az, hogy Jolly a kísérletet a lépcsőfordulóban tudta összeállítani, ahol a kísérlethez elegendő, mintegy 1,5 méter szélességű hely állt a rendelkezésére. (Foucault ingakísérletét ma is láthatjuk egyetemeken, de akár a többemeletes középiskolák közepén üres lépcsőházaiban is.)

Vajon nem innen vette Eötvös az egyik karról leeresztett tömegű inga ötletét? Jollynak komoly tekintélye lehetett Heidelbergben és később Münchenben is, az ő helyére került Kirchhoff Heidelbergbe és ő javasolta Kirchhoff tagságát később a Bajor Akadémiának. Kísérleteit Jolly 1878-ban publikálta először és 1881-ben másodszor az *Annalen der Physik*ben [11].

9. ábra. Philipp von Jolly (1809–1884).



10. ábra. Az Aulaturm ma is kiemelkedik a szomszédos épületek közül Münchenben.



Eötvös Loránd, mivel maga is publikált e színvonalas folyóiratban, mindjárt megjelenéskor olvashatta ezeket. Ráadásul Jolly első cikke után véletlenül éppen *Fröblich Izidor* írása következett.

Arról nincs információnk, hogy személyesen ismerhették volna egymást, azonban Eötvös Loránd Kirchhofftól Heidelbergben bizonyosan hallott, mégpedig jókat hallhatott Jollyról. A korkülönbség elég nagy volt közöttük: Jolly még Eötvös Loránd édesapjánál, *Eötvös Józsefnél* is négy évvel volt idősebb.

Amikor Eötvös Loránd elkezdte saját gravitációs kísérleteit, Philipp von Jolly (9. ábra) már nem élt – ahogyan John Michell sem, amikor Henry Cavendish elkezdte kísérleteit.

A nevezetes müncheni Aulaturm (10. ábra) ma is megvan, csak már beépült a Fizikai Intézetbe [13].

Az ünnepi Eötvös-verseny első feladata

(1998. október 16.)

Hazánk fizikus közössége 1998-ban ünnepelte Eötvös Loránd születésének 150. évfordulóját. Ebből az alkalmából az Eötvös-verseny akkori versenybizottsága olyan feladatot tűzött ki, amely Eötvös Loránd egyik nevezetes kísérletéhez, méréséhez kapcsolódott. A versenyen hagyományosan öt óra állt rendelkezésre a három feladat megoldására, egy-egy feladat szerzője pedig a versenybizottság egy-egy tagja volt. 1998-ban az első feladatot *Radnai Gyula*, a másodikat *Károlyházy Frigyes*, a harmadikat *Gnädig Péter* tűzte ki.

Az Eötvös-verseny már kezdetől fogva érvényes szabálya, hogy a versenyző diákok minden magukkal hozott, írt vagy nyomtatott segédeszközt, jegyzetet, könyvet felhasználhatnak a megoldáshoz. Ez alapvetően megkülönbözteti az általában szokásos tanulmányi versenyektől, amelyekben elsősorban a tanulók memóriája és csak másodsorban gondolkodási képessége van próbára téve.

Eötvös Loránd személye többszörösen kapcsolódik e versenyhez. 1894-ben, kultuszminiszterre történt kinevezése alkalmából és ennek tiszteletére határozta el az éppen általa létrehívott Matematikai és Fizikai Társulat vezetősége (*Schmidt Ágoston* és *König Gyula* alelnökök, valamint *Rados Gusztáv* és *Bartonek Géza* titkárok), hogy minden év őszén, az abban az évben érettségizett diákok számára tanulmányversenyt indítanak matematikából és fizikából. Ezt egyfajta tehetségfelmérő versenynek szánták, hogy az egyetemi tanárok lássák, kik is kerültek be az egyetemre. A versenybizottság ma is úgy állítja össze a feladatokat, hogy a tárgy művelésében való jártasságot, ne a tárgyi tudást mérték. Kezdetől fogva ez a célkitűzés emelte ki a versenyt a többi tanulmányi verseny közül, ennek köszönheti máig meglévő jó hírét, pedig az évtizedek során sok mindenben megváltozott.

A megmérettetés nagyon hamar matematikai versennyé alakult át, ezért *Károly Ireneusz*, a Schmidt Ágostont követő társulati alelnök 1916-ban létrehozott

egy alapítványt azért, hogy néhány nap eltéréssel két tanulmányversenyt is lehessen rendezni, egyiket matematikából, a másikat fizikából. A fizikai versenybizottság elnöke ekkor Eötvös Loránd, további két tagja pedig Bartoniek Géza és Mikola Sándor lett. Eötvös maga is kitalált feladatokat a fizikai tanulmányversenyre, amelyet első alkalommal *Jendrassik György* nyert meg, ekkor *Szilárd Leó* lett a második, a következő évben pedig *Sztrókey Pál* lett az első, és *Náray-Szabó István* a második helyezett. 1919-ben Eötvös Loránd meghalt, hamarosan a Társulat és a régebben indult matematikai tanulmányverseny is felvette a nevét. A fizikait később az akkor már szintén elhunyt Károly Ireneuszról nevezték el.

A második világháború után a Társulat kettévált. 1949-től indult újra a fizikaverseny, most már – és azóta is – Eötvös Loránd Fizikaverseny elnevezéssel. Eötvös Loránd nevét vette fel a Társulat fizikai része is, a másik részt Bolyai János Matematikai Társulat néven ismerjük. Az a matematikai tanulmányverseny pedig, amelyik addig Eötvös nevét viselte, *Kürschbák József* nevét vette fel. Azóta is ősszel, két, egymást követő héten rendezik meg az Eötvös- és a Kürschbák-versenyt.

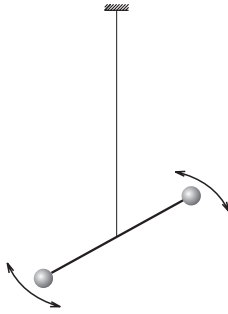
Csak az 1949-től 1998-ig eltelt fél évszázadot tekintve is számos elméleti fizikus sikeres karrierje kezdődött az Eötvös-versenyen való kiváló szerepléssel. Csupán néhányukat kiragadva a [14, 15] könyvekben olvasható részletes felsorolásból és máris elnézést kérve azoktól, akiket itt nem említünk: *Zimányi (Mráz) József* (1949, 1950), *Zawadowski Alfréd* (1953, 1954), *Gesztai Tamás* (1956), *Mezei Ferenc* (1960), *Nagy Dénes Lajos* (1962), *Tichy Géza* és *Major János* (1963), *Gnädig Péter* (1965), *Meszéna Géza* és *Simányi Nándor* (1973), *Szép Jenő* (1974, 1975), *Vankó Péter* (1976, 1977), *Kaufmann Zoltán* (1978, 1979), *Krausz Ferenc* (1980), *Tóth Gábor* (1981, 1982), *Frei Zsolt* (1983), *Kaiser András* (1985, 1986), *Cynolter Gábor* (1986, 1987), *Fucskár Attila* (1987, 1988), *Katz Sándor* és *Veres Gábor* (1992, 1993), *Varga Dezső* (1993, 1994, 1995), *Tóth Gábor Zsolt* (1994, 1995, 1996).

1997-ben még csak az Eötvös-verseny 11–15. helyezette volt *Sarlós Ferenc*, a bajai III. Béla gimnázium 12. évfolyamú tanulója, aki a következő évben, 1998-ban már mint szegedi fizikus egyetemi hallgató, meg is nyerte az Eötvös-versenyt, holtversenyben *Végh Dáviddal*, akkor már az ELTE fizikus hallgatójával, aki a budapesti Fazekas Gimnáziumban érettségizett. 2020-ban Sarlós Ferenc az MTA Szegedi Biológiai Központ Biofizikai Intézetének kutatója és a Szegedi Tudományegyetem Biotechnológiai Tanszékének oktatója. Végh Dávid elméleti fizikus külföldön él, megjárta már az MIT-t és a Harvardot is posztdoktorként, jelenleg a Queen Mary University of London kutató fizikusa.

Lássuk hát ezt az 1998-as Eötvös-verseny feladatát, amely Eötvös Loránd 1889-es nevezetes publikációjára épül, a Szt. Gellérthegy vonzó erejére vonatkozó vizsgálatairól [16].

A feladat

Eötvös Loránd görbületi variométerében egy vékony torziós szála közepén felfüggesztett könnyű rúd végein két test helyezkedik el azonos magasságban (11. ábra). Eötvös megmérte e görbületi variométer torziós lengésidejét (kis kitérések esetén) a Gellért-hegy lábánál, egyszer úgy, hogy a vízszintes rúd egyensúlyi helyzetében a hegy közepe felé mutatott, másszor úgy, hogy erre merőleges egyensúlyi helyzet körül lengett a rúd. Az első esetben 564,6 secundumnak, a második esetben 572,2 secundumnak találta a lengésidőt.



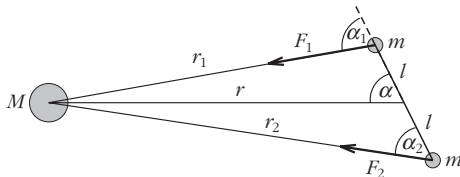
11. ábra. A feladathoz tartozó ábra: a görbületi variométer működésének elvi rajza.

Tegyük fel, hogy a Gellért-hegy gravitációs hatása egy, a műszertől vízszintesen 300 méter távolságra levő, megfelelő tömegű, pontszerű test vonzásával egyenértékű. Ezek után Eötvös fenti mérési adatait felhasználva becsljük meg, hogy a Gellért-hegy mekkora szöggel módosítja a mérés helyén a függőön irányát! [17]

(Radnai Gyula)

Megoldás

A hivatalos megoldás a *Középiskolai Matematikai és Fizikai Lapokban* jelent meg [17]. Itt egy rövidített változatot közlünk. Tekintsük 12. ábrát! A könnyű



12. ábra. Az ingára ható erők.

rúd hosszát $2l$ -lel, a rúd végein lévő kis testek tömegét m -mel, a Gellért-hegyet „helyettesítő” pontszerű test tömegét pedig M -mel jelöltük. A rúd közepe M -től állandó $r = 300$ m távolságra van; az ábra egy olyan helyzetet mutat, amikor az ábra (vízszintes) síkjában lengő rúd egyik vége r_1 , másik vége r_2 távolságra van M -től. Felrajzoltuk a kis testekre ható, M által kifejtett gravitációs vonzó erőket is (F_1 , illetve F_2). Jellemezzük az inga helyzetét az r távolsággal és az ábrán látható α szöggel! A koszinusz-tétel kétszeri

alkalmazásával az m tömegek távolsága az M tömegtől az alábbi alakban írható:

$$r_1 = \sqrt{r^2 + l^2 - 2lr \cos \alpha}$$

és

$$r_2 = \sqrt{r^2 + l^2 + 2lr \cos \alpha}.$$

Newton gravitációs törvénye szerint

$$F_1 = \gamma \frac{mM}{r_1^2}, \quad \text{illetve} \quad F_2 = \gamma \frac{mM}{r_2^2}.$$

Írjuk fel az ezen erők által a rúdra kifejtett Γ gravitációs forgatónyomatékok!

$$\Gamma = F_1 l \sin \alpha_1 - F_2 l \sin \alpha_2.$$

Egy-egy szinusz-tétel felhasználásával ez így is írható:

$$\begin{aligned} \Gamma &= \left(\frac{F_1}{r_1} - \frac{F_2}{r_2} \right) l r \sin \alpha = \\ &= \gamma m M l r \sin \alpha \left(\frac{1}{r_1^3} - \frac{1}{r_2^3} \right) = \\ &= \gamma m M l r \sin \alpha \left[\frac{1}{(r^2 + l^2 - 2lr \cos \alpha)^{3/2}} - \frac{1}{(r^2 + l^2 + 2lr \cos \alpha)^{3/2}} \right]. \end{aligned} \quad (1)$$

A Γ forgatónyomatékok sikerült csupán a változó α szög függvényében kifejezni.

Kihasználva, hogy

$$x = l \frac{\cos \alpha}{r} \ll 1,$$

az (1) egyenlet szögletes zárójelében lévő tényezőt a

$$(1+x)^n \approx 1 + nx$$

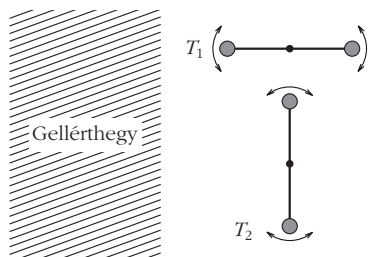
közelítő formula használatával átalakíthatjuk:

$$\begin{aligned} \Gamma &= \gamma m M l r \sin \alpha \frac{6l}{r^4} \cos \alpha = \\ &= \gamma \frac{mM}{r^2} \frac{l^2}{r} 3 \sin 2\alpha = 3 F_0 \frac{l^2}{r} \sin 2\alpha, \end{aligned} \quad (2)$$

ahol az utolsó egyenlőségnél bevezettük az

$$F_0 = \gamma \frac{mM}{r^2}$$

jelölést.



13. ábra. A kétféle lengésidő mérése.

Mikor lesz a Γ gravitációs forgatónyomaték zérus? Amikor $\sin 2\alpha = 0$, vagyis $\alpha = 0$ és $\alpha = \pi/2$ esetén. Egyik az a helyzet, amikor a rúd éppen M felé mutat, a másik helyzet erre merőleges. Ha csak a gravitációs erők hatnának, akkor $\alpha = 0$ a rúd stabil egyensúlyi helyzetbe lenne, míg $\alpha = \pi/2$ esetén a rúd labilis egyensúlyi helyzetben lenne.

Most azonban a rúdra nem csak a gravitációs forgatónyomaték hat, hanem az elfordulás közben megcsavaródó torziós szál által kifejtett „visszatérítő” forgatónyomaték is. Kis $\Delta\alpha$ szögkitérés esetén ez $\Delta\alpha$ -val arányosnak tekinthető; az arányossági tényezőt D^* -gal szokás jelölni.

Ha nem lenne a gravitációs forgatónyomaték, akkor a torziós inga lengésidőjét így lehetne kiszámítani:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\Theta}{D^*}},$$

ahol Θ a rúd középre vonatkozó tehetetlenségi nyomaték. Milyen taggal egészül ki D^* , ha gravitációs forgatónyomaték is fellép?

Határozzuk meg a kis $\Delta\alpha$ -hoz tartozó $\Delta\Gamma$ -t!

$$\Delta\Gamma \approx \frac{d\Gamma}{d\alpha} \Delta\alpha = 6F_0 \frac{l^2}{r} \cos 2\alpha \Delta\alpha.$$

Ebből leolvasható, hogy $\alpha = 0$ esetén D^* korrekciója

$$6F_0 \frac{l^2}{r},$$

míg $\alpha = \pi/2$ esetén

$$-6F_0 \frac{l^2}{r}$$

lesz, így

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{\Theta}{D^* + 6F_0 \frac{l^2}{r}}}$$

és

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{\Theta}{D^* - 6F_0 \frac{l^2}{r}}}.$$

Ezeket a T_1 és T_2 lengésidőket mérte le Eötvös Loránd (13. ábra).

Hogyan lehet ebből kiszámítani a függőőn „elhajlását”? Tegyük fel, hogy a függőőnra – fonálon függő kis testre – a Föld mg nagyságú függőleges irányú, a Gellérthegy pedig $F_0 = mg^*$ nagyságú vízszintes irányú erőt fejt ki. Ekkor az a kicsi δ szög, amivel a függőőn a függőlegestől eltér, így kapható meg:

$$\delta = \frac{g^*}{g},$$

vagyis a lengésidőképletekben F_0 rejti a szükséges információt. Felírhatjuk, hogy

$$\frac{1}{T_1^2} - \frac{1}{T_2^2} = \frac{12}{4\pi^2} \frac{F_0 l^2}{\Theta r} = \frac{3}{\pi^2} \frac{m g^* l^2}{2 m l^2 r} = \frac{3}{2\pi^2} \frac{g^*}{r}.$$

(Felhasználtuk, hogy $\Theta = 2ml^2$.) Így a keresett δ szög:

$$\delta = \frac{g^*}{g} = \frac{2}{3} \pi^2 \frac{r}{g} \left(\frac{1}{T_1^2} - \frac{1}{T_2^2} \right).$$

Behelyettesítve a $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, $r = 300 \text{ m}$, $T_1 = 564,6 \text{ s}$, $T_2 = 572,2 \text{ s}$ értékeket, kapjuk:

$$\delta = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ radián} = 3,4''.$$

Ezzel a feladatot megoldottuk, mégis érdemes a megoldáshoz egy kiegészítő megjegyzést fűzni. A kapott eredmény birtokában meghatározható a vonzócentrum tömege! Minthogy

$$F_0 = \gamma \frac{mM}{r^2} = mg^*,$$

ezért

$$M = g^* \frac{r^2}{\gamma} = 2,2 \cdot 10^{11} \text{ kg}.$$

14. ábra. Gravitációs mérés a szabadban, a Ság-hegyen (1891). A vászonsátorban elhelyezett torziós inga állását távcső segítségével Eötvös Loránd észleli. Mögötte Tangl Károly egyetemi hallgató áll, a földön Kövesligethy Radó csillagász, a széken Bodola Lajos geodéta ül.



A Föld átlagos $\rho = 5515 \text{ kg/m}^3$ sűrűségét felhasználva becslést adhatunk a vonzócentrum térfogatára is: ez 48,5 millió köbméter lesz, ami egy 226 méter sugarú gömb vagy egy 365 méter élhosszúságú kocka térfogata. A Gellérthegy meglehetősen szabálytalan alakú, Eötvös később ezért keresett egy szabályosabb alakú hegyet az országban. A Szombathely közelében lévő Ság-hegy csonkakúp alakja nyerte meg tetszését, itt készült az a ma már híres fénykép, amelyen a mérést végző Eötvös látható munkatársaival, Tangl Károllyal, *Bodola Lajossal* és *Kövesligethy Radóval* (14. ábra).

Irodalom

1. Mikola S., *Természettudományi Közlöny* 51 (1919) 210; letölthető: https://adtplus.arcanum.hu/en/view/TermtudKozl_1919_kommun/?pg=0&layout=s
2. Selényi P.: *Eötvös Loránd összegyűjtött munkái*. (1953); letölthető német nyelven: <https://www.szaktars.hu/akademiai/view/eotvos-lorand-eotvos-lorand-osszegyujtott-munkai-1953/?pg=5&layout=s>
3. Körmenyi A.: Az Eötvös-inga és alkalmazásai. *Természet Világa (Természettudományi Közlöny)* 129 (1998) 352; letölthető: https://adtplus.arcanum.hu/hu/view/TermtudKozl_1998/?pg=651&layout=s (fizikai oldalszám 652) vagy http://www.termeszetvilaga.hu/fizika_eve/tortenet/fizort/eotvos/kormendi.html
4. Lengyel B., *Természettudományi Közlöny* 21 (1889) 66; letölthető: https://adtplus.arcanum.hu/hu/view/TermtudKozl_1889/?query=SZ&pg=77&layout=s
5. Eötvös L.: Vizsgálatok a gravitatio jelenségének körében. *Természettudományi Közlöny* 20 477 (1888); letölthető: http://real.mtak.hu/103577/1/TermtudKozl_1888__pages489-489.pdf
6. B. Eötvös L.: Vizsgálatok a gravitatio és mágnesség köréből (Előleges jelentés.). *Matematikai és Természettudományi Értesítő XIV* (1896) 221–266; letölthető: http://real-j.mtak.hu/4428/1/MatematikaiTermTudErtesito_14.pdf#221
7. Tangl K.: Vizsgálatok a gravitációról. *Matematikai és Fizikai Lapok* 27(1918) 130; letölthető: https://adtplus.arcanum.hu/hu/view/MTA_Konyvek_227795/?pg=114&layout=s&query=gravitacióról (fizikai oldalszám 115)
8. *Vasárnapi Újság* 1889/19; letölthető: <https://epa.oszk.hu/00000/00030/01836/pdf/01836.pdf>
9. Pekár D.: Az ötvenéves Eötvös-inga. *Természettudományi Közlöny* 73 (1941) 224–230; letölthető: https://adtplus.arcanum.hu/hu/view/TermtudKozl_1941/?pg=184&layout=s&query=Pekár (fizikai oldalszám 248–254)
10. *Tudósnaptár*itt: <https://tudosnaptar.kfki.hu/historia/egyen.php?namenev=jolly>
11. Ph. v. Jolly: Die Anwendung der Waage auf Probleme der Gravitation (Mérleg alkalmazása gravitációs problémára). *Annalen der Physik* 241 (1878) 112–134; letölthető: <http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/volltextserver/12716/> és Ph. v. Jolly: Die Anwendung der Waage auf Probleme der Gravitation: zweite Abhandlung (Mérleg alkalmazása gravitációs problémára: második értekezés). *Annalen der Physik*, 250 (1881) 331–355; letölthető: <https://archiv.ub.uni-heidelberg.de/volltextserver/12717/>
12. L. Graetz: *Die Physik*. Max Planck Institute for the History of Science, Leipzig (1917) 66; a kép letölthető: http://einstein-virtuell.mpiwg-berlin.mpg.de/VEA/SC-1816523987_MOD355385129_SEQ-114471879_SL154826715_en.html
13. G. Oittner-Torkar: Philipp von Jolly und das Geheimnis der Bleikugel (Philipp von Jolly és az ólomgolyó titka). In: *Deutsches Museum München, Tudományos Évkönyv* (1990) 72–81; letölthető: https://www.physik.uni-muenchen.de/lehre/vorlesungen/wise_12_13/E1/zusatzmaterialien/jolly.pdf
14. Vermes M.: *Az Eötvös-versenyek feladatai I. 1959–1988*. Typotex Kft., Budapest (1997) 163 old.; részletek: https://www.typotex.hu/book/79/vermes_gyula_az_eotvos_versenyek_feladatai_1
15. Radnai Gy.: *Az Eötvös-versenyek feladatai II. 1989–1997*. Typotex Kft, Budapest (1998), digitális tankönyvtár: <https://regi.tan.konyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/eotvos-versenyek/ar08.html>
16. Eötvös L.: Jelentés a Szent-Gellérthegy vonzó erejéről. *Természettudományi Közlöny* (1889) 398., Akadémiai előadás ismertetője; letölthető: http://real-j.mtak.hu/6584/1/TermtudKozl_1889.pdf#page=414 (fizikai oldalszám: 414)
17. Radnai Gy.: Beszámoló az 1998. évi Eötvös-versenyéről. *KöMaL* 1999. március, 172–181. (1. feladat); letölthető: http://elft.hu/wp-content/uploads/2016/11/Eotvos-verseny_1998.pdf és <http://db.komal.hu/KomalHU/cikk.phtml?id=199818>

BONIS BONA KITÜNTETÉST KAPOTT RADNAI GYULA

Radnai Gyula 1962-ben végzett az ELTE matematika–fizika szakán, azóta egyetlen munkahelye az Eötvös Loránd Tudományegyetem, ahol évtizedekig foglalkozott a fizikaszakos egyetemi hallgatók tanításával. Tanítványaiból lettek azok a fizikát, matematikát tanító középiskolai tanárok, akik az elmúlt fél évszázadban – a tanár úr lelkesítő példáját követve – az ország legjobb tanárai, mérnökei, kutatói, a fizika népszerűsítés, a tehetséggondozás elkötelezettjei lettek.

1990-ben nyerte el az ELTE doktora és az MTA fizikai tudomány kandidátusa címet. Hosszú ideig dolgozott az országos fizika felvételi bizottságban, amelynek közel tíz évig elnöke volt. 1988-ban *Vermes Miklóstól* vette át, majd 25 évig ellátta az Eötvös-verseny feladatkitűző bizottsága elnöki feladatát. 30 éve meghatározó alakja, fizika szerkesztőbizottsági elnöke *Középiskolai Matematikai és Fizikai Lapoknak*.

Emblematikus alakja a magyar fizikatanításnak. Bár tanárként nem dolgozott a közoktatásban, munkássága révén mégis oktatott, több középiskolai példatárával segítette fizikából a tehetséggondozást és a felkészülést a továbbtanulásra. Nemzedékek nőttek fel a híres Dér–Radnai–Soós-példára.

A 2020. augusztus 24-i díjátadón elhangzott laudáció alapján.

táron. Rendszeresen meghívták előadónak a vidéki és fővárosi középiskolák fizika témájú rendezvényeire. Lehetővé tette és szívügyének tekintette, hogy a fizikából legtehetségesebb magyar diákok összemérhessék tudásukat az Eötvös-versenyen. Több ezerre tehető azon középiskolás diákok száma, akik a *KöMaL* és Radnai tanár úr miatt szerették meg igazán a fizikát. Több országos fizikaverseny zsűrielnöke, mint a nagykanizsai Zemplén Győző, a székesfehérvári Láncczoz Kornél és a szolnoki Tarján Imre fizikaversenyek. Az 1990-es, 2000-es években az Eötvös Loránd Fizikai Társulat főtítkár-, illetve elnökhelyettese is volt.

Több mint 100 publikációja jelent meg a *Természet Világa*, az *Élet és Tudomány*, a *KöMaL*, a *Fizikai Szemle* és egyéb szaklapok hasábjain, túlnyomó részük a magyar fizika történetével és tudásaival ismerteti meg olvasóit. Ismeretterjesztő cikkei mindig gondos kutatómunkát követően, precíz tényanyaggal és élvezetes stílusban készülnek. A fizika tehetséggondozás iránti elkötelezettségét mutatja az is, hogy az egész országban és a határon túl is rengeteg meghívást kap középiskolásoknak vagy tanároknak szóló előadások tartására.

Radnai Gyulának szívből gratulálunk a kitüntetéshez.

A 70 ÉVE VÉGZETT MATEMATIKA–FIZIKA SZAKOS ÉVFOLYAM(OK)

Sólyom Jenő^{1,2}, Groma István¹
¹ELTE TTK Fizikai Intézet, ²Wigner FK

A többes szám zárójelbe tett jele a címben arra utalhatna, hogy a budapesti, a debreceni és a szegedi tudományegyetemen hetven éve matematika–fizika szakos középiskolai tanári oklevelet szerzettekéről lesz szó a következőkben. Sajnálatos módon az egyetemi irattárakban nagyon hiányosan maradtak fenn az iratok abból az időből, így a szerzők csak a budapesti egyetemen végzettekéről rendelkeznek némi ismerettel. Ennek ellenére – amint látni fogjuk – jogos a többes szám a címben. Nemcsak ez teszi különlegessé őket, hanem az is, ahogyan életük alakult az egyetemen töltött 4–5 év alatt és utána abban a világban, amely éppen akkor mélyreható változásokon ment át. Ezért is érdemes emlékezni rájuk.

Egy vagy két évfolyam

Az 1924. évi XVII. törvény által szabályozott és a második világháború után egy ideig még érvényben lévő rend szerint a középiskolai tanári oklevelet öt év alatt lehetett megszerezni. Aki nem csak úgynevezett szabad bölcsész akart lenni (matematikai és természettudományi kar csak Szegeden működött akkor, Budapesten és Debrecenben a természettudományok a bölcsészettudományi karhoz tartoztak), annak az egyetemi beiratkozással párhuzamosan be kellett iratkoznia a Tanárképző Intézetbe is. Ennek tanári kara az egyetem nyilvános rendes és rendkívüli tanáraiból állott, de egyetemi magántanárok, főiskolai tanárok és erre felkért középiskolai tanárok is tarthattak előadásokat. Az első négy évben a szaktárgyak, szaktárgyi didaktika és idegen nyelv mellett olyan előadások között lehetett választani, mint *Köznevelési alapkérdések, Lélektan és nevelés, A serdülés kora* és hasonlók. A negyedik egyetemi, illetve tanárképző intézeti félév után lehetett letenni az alapvizsgát, a nyolcadik egyetemi, illetve tanárképző intézeti félév után a szakvizsgát. Az ötödik év a gyakorlóév volt. Azután lehetett a képesítő vagy pedagógiai vizsgát letenni.

1949-ben az egyetemi reform keretében újraszabályozták a bölcsészettudományi és természettudományi

képzéseket. A magyar köztársaság kormányának 260/1949. Korm. számú rendelete értelmében Budapesten és Debrecenben a Bölcsészettudományi Karról leválasztották a természettudományi tárgyakat, és létrehozták a Természettudományi Kart. A tanárképzést lényegében a korábbihoz hasonlóan szabályozták, ugyanakkor lehetőség nyílt nem tanári, például fizikus szak indítására. A rendelet összességében öt éves képzést írt elő, amelynek során az oklevél megszerzéséhez alapvizsga, szakvizsga és képesítő vizsga letétele volt szükséges. Az alapvizsgát a tanulmányi idő második évének, a szakvizsgát negyedik évének, a képesítő vizsgát pedig ötödik évének sikeres befejezése után lehetett letenni. Előírták, hogy a képesítő vizsgára bocsátás előfeltétele a tudományos szakdolgozat elfogadása. A szakdolgozatot az egyik szaktárgyból, fizikus szakon természetesen fizikából kellett írni. Azt kellett bizonyítaniuk a hallgatóknak, hogy képesek a szaktárgy egy részének önálló összefoglalására. A rendelet egyformán vonatkozott a tanári és a nem tanári szakokra, a vegyesek kivételével, az ő képzési idejük négy év volt. A vallás- és közoktatásügyi miniszter 600/1949. V.K.M. számú rendelete azt is kimondta, hogy a kötelező, öt évi (tíz félévi) „tanulmányi idő alól felmentés semmiféle címen nem adható”.

Mindezek értelmében azok, akik a háború befejezése után, 1945 őszén iratkoztak be az akkor *Pázmány Péter* nevet viselő budapesti tudományegyetem bölcsészettudományi karára, úgy készültek, hogy öt év után, 1950-ben kapják meg tanári oklevelüket. A tanulmányaikat egy évvel később kezdők pedig 1951-ben kerültek volna ki az egyetemről.

A közoktatásnak a múlt század negyvenes éveitől második felében bekövetkezett, a társadalmi rend változásával együtt járó teljes átalakulása azonban felforgatta ezt a rendet. A nyolcosztályos általános iskola 1945-ben történt bevezetése után kiszélesedett a közoktatás, és jelentősen megnövekedett a természettudományos tárgyak súlya. Ezzel együtt természetesen sokkal több általános és középiskolai tanárra – különösen természettudományos tárgyakat tanító tanárra – volt szükség. Ezért a minisztérium egyetemi, főiskolai ügyosztálya



Sólyom Jenő elméleti szilárdtest-fizikus, az MTA rendes tagja, az ELTE TTK Fizikai Intézet és a Wigner Fizikai Kutatóközpont professor emeritusa. 1964-ben szerzett fizikus oklevelet az ELTE-n. Első munkahelye a KFKI volt, és külföldi, összesen közel tíz éves munkavállalásaitól eltekintve végig ott, illetve annak utódintézményeiben dolgozott. A rendszerváltozás után kapott egyetemi tanári kinevezést az ELTE-re.



Groma István fizikus, egyetemi tanár, az ELTE Anyagfizikai Tanszékének vezetője. Kutatási területe a diszlokációs szerkezet változásainak kísérleti vizsgálata és elméleti értelmezése. Az ELFT főitkára, a fizika OKTV zsűri volt elnöke.



Gázkiszülések mérése a nyomás függvényében mérőhelye.

1950 elején 1400-52-5/1950. szám alatt utasítást adott ki a tanárképzés felgyorsítására. Ennek értelmében 1950-ben nemcsak azok kaphatnak diplomát, akik addigra befejezik az V. évfolyamot, amelynek legfontosabb eleme a gyakorlótanítás és a szakdolgozat írása volt, hanem a IV. évfolyamot befejezők is. A IV. évfolyamos hallgatókat mentesítették a szakdolgozat írása alól, csak záró szigorlatot kellett tenniük.

Így történhetett az, hogy hetven évvel ezelőtt nem egy évfolyam végzett, hanem egyszerre kettő.

A képzés újjászervezése

A mennyiségtan–természetan szaknak nevezett szakra a háború utáni években beiratkozottak az első évben *Fejér Lipóttól* hallhatták a differenciál- és integrálszámítást, *Fejes Tóth Lászlótól* az analitikus geometriát, *Rybár Istvántól* a kísérleti fizikát, *Grób Gyulától* a kísérleti kémiát.

A második tanévtől a matematikai előadások mellett megjelentek a fizikai laboratóriumi gyakorlatok, mégpedig Rybár neve alatt – mert *Békésy György*, a Gyakorlati Fizikai Intézet igazgatója fizetés nélküli szabadsága alatt helyettesként ő vezette ezt az intézetet a saját Kísérleti Fizikai Intézetével együtt –, valamint *Novobátczy Károly Mechanika* előadása. A felsőbb évfolyamos hallgatóknak *Novobátczy Károly* adta elő az *Elektrodinamika* és a *Termodinamika* tárgyat. *László Zoltán Elektro-magneto-optika*, *Barnóthy Jenő A kozmikus sugárzás* címen tartott előadást, de műegyetemi tanárok, *Bay Zoltán* és *Gombás Pál Atomfizika*, illetve *Atommagok szerkezete* című előadását is választhatták a hallgatók.

Amint a *Szemle* idei nyári számában bemutattuk, 1948-ban drasztikus változások történtek a fizikai intézetben. *Novobátczy* volt az egyetlen stabil pont. Ekkorra már nagyjából világossá vált, hogy *Békésy György*, a Gyakorlati Fizikai Intézet vezetője nem jön haza Amerikából, *Rybár István*, a Kísérleti Fizikai Intézet vezetője az 1948–49-es tanévben már nem tartott előadásokat, az intézet két vezető kutatója, *Barnóthy Jenő* és *Forró Mag-*

dolna Amerikába távozott, és a szintén Amerikába távozott *Bay Zoltán* előadásait sem lehetett meghirdetni. Helyettük a hallgatók *Pócza Jenőtől* és *Faragó Pétertől* hallhatták a kísérleti fizikai előadásokat.

Pócza Jenő és *Faragó Péter* egyetemen való megjelenése új szellemet hozott a budapesti tudományegyetem kísérleti és gyakorlati tanszékére, mert bár *Rybár* kiváló geofizikus volt, a 20. század fizikája távol állt tőle.

Pócza és *Faragó* nagy lelkesedéssel látott hozzá a kísérleti fizikai oktatás átszervezéséhez és megreformálásához. Ez annál inkább esedékes volt, mert – mint már említettük – a tanév folyamán döntés született arról, hogy 1949 őszén megindul a tudósképzést szolgáló önálló fizikus szak. Ehhez

nemcsak új tanterv, de megfelelő egyetemi tanszemélyzet is kellett. Másrészt, a levegőben volt, hogy hamarosan megalakul egy, az egyetemektől független nagy akadémiai fizikai kutatóintézet, a Központi Fizikai Kutató Intézet, és annak is szüksége lesz kutatómunkára képzett munkatársakra. *Pócza* és *Faragó* az 1948–49-es tanévben már harmad-, illetve negyedéves évfolyamot nézte ki arra, hogy belőlük képezzék ki az induláshoz szükséges személyeket. Az egyetemen lévő fiatalabb oktatókkal, a kísérleti fizikai intézetből *Haiman Ottóval*, a gyakorlati fizikai intézetből *Cornides Istvánnal*, valamint az elméleti fizikai intézetből *Román Pállal* és *Szamosi Gézával* összefogva, 1949 januárjától júniusáig tartó úgynevezett intézeti iskolát indítottak a legtehetségesebb, a fenti feladatokra leginkább alkalmasnak látszó hallgatók számára.

Érdemes az „iskola” hallgatóinak teljes névsorát felidézni: *Barna B. Péter*, *Békésy András*, *Bitskei Margit*, *Bráda Ferenc*, *Frank Zsuzsa*, *Goitein (Biró) Gábor*, *Groma Géza*, *Groszmann (Radvány) Imre*, *Hajnal Endre*, *Keszthelyi Lajos*, *Marx György*, *Nagy Judit*, *Nagy Károly*, *Nébli Vendel*, *Neufeld (Nagy) László*, *Orient Ottó*, *Somló Ágnes*, *Szabó János*, *Szemes Márta*, *Tóth Lajos*, *Voszka Rudolf*, valamint a medikus *Siegler János* és a vegyész *Hangos István*, *Hangos György*, *Horkai Ferenc*.

Közülük *Békésy András* még 1943-ban kezdte tanulmányait, de a háború miatt csak 1949-ben szerzett oklevelet, *Frank Zsuzsa*, *Goitein (Biró) Gábor*, *Marx György*, valamint *Nagy (Neufeld) László* 1945-ben iratkozott be az egyetemre, 1948 őszén negyedévesek voltak, *Tóth Lajos* 1947-ben, *Somló Ágnes* pedig csak 1948-ban kezdte tanulmányait, többségük azonban az 1946-ban indult évfolyamból került ki. Ugyanezen társaság kísérleti fizika felé hajló legjobb tagjai segítségével hozzákézdtek az egyetemi laboratóriumok modernizálásához is. Mindannyian nagy lelkesedéssel láttak hozzá a munkához. A viszonyokat jól jellemzi, hogy első feladatuk egy repülőgép roncsainak eltávolítása volt a laborból. Szinte semmi nem állt rendelkezésükre, még a bándugókat is maguk „gyártották”. Ennek ellenére pár hónap alatt 12 új, modern fizikai mérést állítottak össze

következő tanév laboratóriumi gyakorlatai számára. Érdekes ezeket itt felsorolni:

1. Gázkisülések mérése a nyomás függvényében.
2. Frank–Hertz-féle mérés négyelektródás elektroncsővel.
3. e/m mérés Busch-féle módszerrel.
4. e/m mérés Hull-féle módszerrel.
5. Mérések elektrolittankkal. Elektronoszorozó-modell. Pentódamodell.
6. Meredekség, áthatás és erősítési tényező mérése pentódánál.
7. Szűrőkörök vizsgálata.
8. Fotocellák vizsgálata.
9. Elektronoszorozó vizsgálata.
10. Fényhullámhossz mérése kettős tükrrel és prizmával.
11. Katódsugár-oszcilloszkóp vizsgálata.
12. Millikan-féle e -mérés.

Az emberi sorsok alakulása

A labor megépítésében végzett megfeszített tempójú munka egy életre szóló barátságot alakított ki közöttük. Évtizedek múltán is összejöttek egy szalonnasütésre, vagy egy délutáni beszélgetésre. Pedig többüket komoly megpróbáltatások érték.

Ahogy a fiatal oktatók elképzelték, az intézeti iskola hallgatói közül valóban szép számmal kaptak – egyetemi tanulmányaik elvégzés után – gyakornoki, majd tanársegédi állást az egyetem fizikai intézetében, és lettek később vezető oktatók vagy kutatók akár ott, akár egy kutatóintézetben. Az Elméleti Fizikai Intézetbe került Békéssy András, Marx György, Nagy Károly és Szabó János, a Kísérleti Fizikai Intézetbe Barna Péter, Biró Gábor, Bitskei Margit, Bráda Ferenc, Frank Zsuzsa, Groma Géza, Keszthelyi Lajos, Nagy Judit, Nébli Vendel és Tóth Lajos, az orvosi fizikai intézetbe pedig Somló Ágnes és Voszka Rudolf. A már 1949-ben végzett Békéssy András, az 1951-ben tanári oklevelet szerzett Nagy László és Tóth Lajos, valamint az első végzős fizikus évfolyam tagjaként 1952-ben fizikus oklevelet szerzett Somló Ágnes is érdekes pályát futott be, de a továbbiakban csak a hetven éve végzettek sorsának alakulásával foglalkozunk.

A Novobátzky-féle elméleti fizikai tanszékre került Marx Györgyöt és Nagy Károlyt, akik mindketten később egyetemi tanárok, akadémikusok lettek, nem kell bemutatni a *Fizikai Szemle* olvasóinak. Szabó János is sokak számára ismerős lehet. Az elméleti fizikai tanszéken eltöltött mintegy egy évtized után a miskolci egyetem fizikai tanszékét vezette nyugdíjazásáig. Voszka Rudolf is szépen ívelő tudományos pályát futott be. Az orvosi fizikai intézetben eltöltött évek után az MTA Kristályfizikai Kutatólaboratóriumának tudományos igazgatója lett.



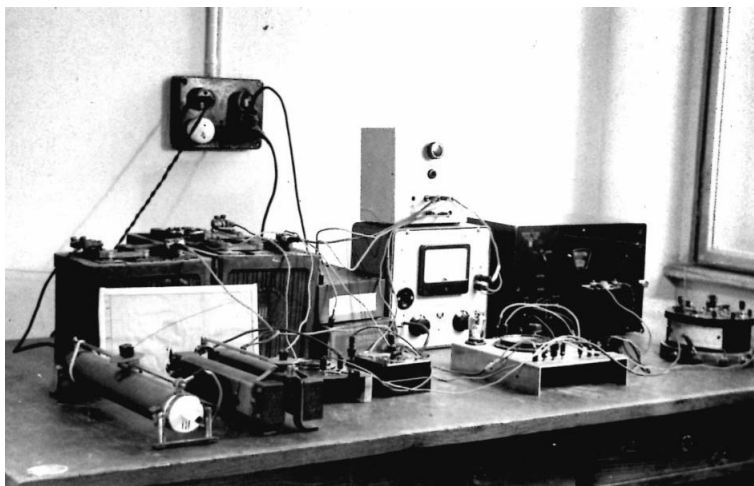
Meredekség, áthatás és erősítési tényező mérése pentódánál.

A kísérleti fizikára került Turiné Frank Zsuzsa és Biró Gábor csak néhány évig maradt ott. Turiné a Műszaki és Természettudományi Egyesületek Szövetségének főtítkárhelyettese lett, és emellett társadalmi munkában évtizedeken át volt a *Szemle* felelős szerkesztője. Biró Gábort egy időre elszippantotta a filozófia, majd a BME Kísérleti Fizikai Intézetében oktatott, egy időben egyetemi tanárként a tanszéket is vezette.

Keszthelyi Lajos aspirantúrája után a KFKI-ba került főállásba, csak másodállásban dolgozott a tanszéken 1958-ig. Ő lett az évfolyam harmadik akadémikusa, a Szegedi Biológiai Központ főigazgatója. Őt sem kell bemutatni. A többiek sorsa már nem alakult ilyen simán.

Ahogy erről is volt szó a *Szemle* nyári számában, 1956 őszén a Kísérleti Fizikai Intézetet két tanszékre vágták szét. Az I. számú Kísérleti Fizikai Tanszék vezetésére Nagy Elemér kapott kinevezést egyetemi tanárként, hiszen éppen akkor szerezte meg a fizikai tudományok doktora fokozatot. Pócza Jenő docensként a II. számú Kísérleti Fizikai Tanszék vezetője lett. Bráda Ferenc és Nébli Vendel az I. számú tanszéken, a fent felsoroltak közül a többiek a II. számú tanszéken lettek tanársegédek. Három év múlva azonban már egyiküket sem találjuk ott.

Szűrőkörök vizsgálata mérőhelye.

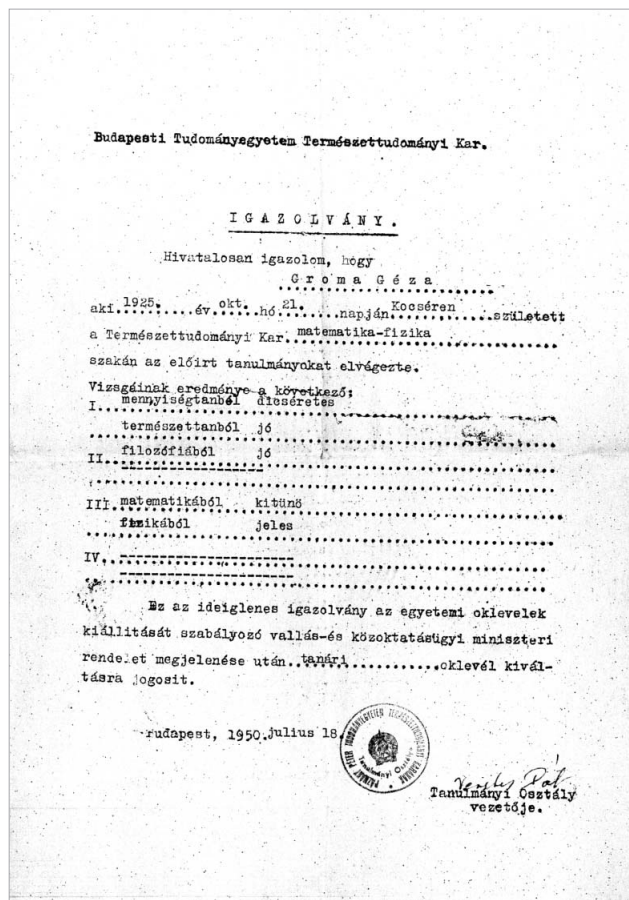


Bráda Ferenc és Nébli Vendel 1958 táján távozott az egyetemről. Bráda Ferenc a REMIX Rádiótechnikai Vállalatnál kapott állást, majd a Híradástechnikai Ipari Kutatóintézet főosztályvezetőjeként irányította az elektronikai alkatrészek megbízhatósági vizsgálatával kapcsolatos műszaki-tudományos munkát. Nébli Vendel először csak általános iskolai tanári állást kapott. Később került újra egyetemi környezetbe. A miskolci Nehézipari Műszaki Egyetem adjunktusaként, majd docenseként fémfizikával foglalkozott, kandidátusi fokozatot is szerzett.

Ugyanekkor megszüntették Keszthelyi Lajos másodállását is. Ma már nehéz kideríteni, hogy mi is volt ezek oka. Azt viszont tudjuk, a *Szemle* nyári számában már erről is volt szó, hogy 1959 nyarán a tanszékek átszervezésére való hivatkozással, de nyilvánvalóan ideológiai megfontolásból Pócza Jenővel együtt mindazokat eltávolították az egyetemről, akik az 1950-ben végzett évfolyamból még a kísérleti tanszéken dolgoztak. Erre a sorsra jutott *Lándori Sára* (Keszthelyi Lajosné), aki szintén ezen évfolyam tagja volt, és végzése óta tanársegédként, illetve a fizikai intézet könyvtárának vezetőjeként dolgozott, és az egy évvel később végzett Tóth Lajos is.

Ez az eltávolítás – Keszthelyi Lajos kivételével, akinek biztos állása volt a KFKI-ban – természetesen mindegyikük karrierjében súlyos törést eredményezett. Legtöbbjük teljesen új témában és az egyetemi

Diploma helyett: igazolás az előírt tanulmányok elvégzéséről.



műlőtől jelentősen különböző körülmények között volt kénytelen folytatni munkáját. Tehetségüket és szorgalmukat mutatja azonban, hogy egy évtized elteltével a magyar fizikus társadalom meghatározó személyiségévé tudtak válni. Barna Péter 1961-ben kerülhetett akadémiai kutatóintézetbe, a Műszaki Fizikai Kutatóintézetbe, és lett a vékonyréteg-fizika nemzetközileg elismert kutatója. Groma Géza a Csepel Művek Fémművében kapott először állást, és csak 1971-ben került kutatóintézetbe, az Aluterv-FKI-ba. Ennek ellenére mindketten megszerezték az akadémiai doktori fokozatot. Bitskei Margit (Tóth Lajosné) és Lándori Sára (Keszthelyi Lajosné) később a Gamma Művekhez került, Nagy Judit (Groma Gézáné) azonban végig középiskolai tanár maradt.

Ezen évfolyam tagja volt még *Koczkás Edit* (Marx Györgyné), aki a KFKI műegyetemen működő Spektroszkópiai Osztályán kezdte pályáját, majd a BME Kísérleti Fizikai Tanszékén tanított, és *Ziegler Mária* (Náray Zsoltné), aki szintén a KFKI-ban kezdte pályáját, *Jánossy Lajos* mellett dolgozva, majd Jánossy tudományos hagyatékának feldolgozásával foglalkozott.

Természetesen a matematika–fizika szakos tanári pályára készülőknek csak egy része lett fizikussá. Voltak, akiket a matematika ejtett rabul, és váltak matematikussá. *Dux Erik* és *Monostory Iván* például a Budapesti Műszaki Egyetem matematika intézetének lett az oktatója, a Gödöllői Agrártudományi Egyetem matematikai tanszékét vezető *Obádovics J. Gyula* neve pedig a *Matematika* című kézikönyve révén fogalomná vált. A végzett hallgatók többsége azonban középiskolában helyezkedett el tanárként. Közülük csak hármójuk sorsát mutatjuk be. *Czóky Béla* (1925–2013) a felvidéki Rimasimonyiban született. A háború végén átkerült Miskolcra, ott érettségizett, Budapesten járt egyetemre. A végzés után azonban visszatért szülőföldjére, és 1951-től 1990-ig a révkomáromi magyar gimnáziumban tanított. *Kereszti Mibály* néhány székesfehérvári év után átment Szombathelyre, és évtizedekig tanított a Berzsényi Dániel Kereskedelmi Technikumban. *Lindeisz Ferenc* (1924–2016) végzésétől nyugdíjazásáig, sőt néhány évet azon túl is a gyulai gimnázium tanára volt, kivéve három évet 1957 és 1960 között, amikor „népgazdasági érdekből” a dobozi általános iskolába helyezték, megtorlásul azért, mert 1956-ban beválasztották a városi forradalmi tanácsba.

A diplomák sorsa

A két évfolyam hallgatóinak egyszerre, 1950-ben kellett volna megkapniuk tanári oklevelüket. A történet azonban itt újabb furcsa fordulatot vett.

A hallgatók, akik akár 1945-ben, akár 1946-ban kezdték az egyetemet, annak idején a Pázmány Péter Tudományegyetem Bölcsészettudományi Karára iratkoztak be. Mivel az egyetemi reform keretében 1949. május 16-i hatállyal létrejött a Természettudományi Kar, de az egyetem neve hivatalosan nem változott meg, erre csak később, 1950 szeptemberében került

sor, a végzeteknek a Pázmány Péter Tudományegyetem Természettudományi Kara által kiállított tanári oklevelet kellett volna megkapniuk 1950 nyarán. Ehelyett a Budapesti Tudományegyetem Természettudományi Karának Tanulmányi Osztályától olyan igazolványt kaptak, miszerint az előirt tanulmányokat elvégezték. Érdekes az igazolvány utolsó mondata: „Ez az ideiglenes igazolvány az egyetemi oklevelek kiállítását szabályozó vallás- és közoktatásügyi miniszteri rendelet megjelenése után tanári oklevél kiváltására jogosít.” Ezt a középiskolai tanári oklevelet végül több mint egy évvel később, 1951 szeptemberében állították ki, akkor már a Budapesti Eötvös Lóránd (sic!) Tudományegyetem rektora és a Természettudományi Kar dékánja aláírásával.

Húsz évvel ezelőtt, amikor aranydiplomájukat vehették át, még 28-an éltek ebből a matematika–fizika szakon 1950-ben végzett kettős évfolyamból. Tíz évvel később közülük 16-an kaptak gyémántdiplomát: Barna B. Péter, Czókoly Béla, Groma Gézőné Nagy Judit, Horváth Mária Erzsébet, Kereszti Mihály, Keszthelyi Lajos, Keszthelyi Lajosné Lándori Sára, Lindeisz Ferenc, Marossy Ferencné Domokos Ilona, Monostory Iván, Nagy Károly, Obádovics J. Gyula, Pásztóhy Éva, Tóth Lajosné Bitskei Margit, Törő Béla és Turi Istvánné Frank Zsuzsa. Most a rubindiplomát négyen vehetik át: az egyetemet 1945-ben kezdők közül Obádovics József Gyula, az 1946-ban indulók közül pedig Barna B. Péter, Kereszti Mihály és Keszthelyi Lajos. Szívből gratulálunk nekik. Isten éltesse őket!

VÉLEMÉNYEK

A SÖTÉTSÉG HATÁRÁN

Meg vagyok győződve arról, hogy a természettudományokkal foglalkozó szakemberek tisztában vannak azzal, milyen súlyos problémákkal küzd a reál tárgyak tanítása. Írásomban igyekszem rávilágítani arra, hogy az alább leírt gondok messze túlmutatnak az oktatásügy keretein, s egy évtizeden belül komoly és nehezen orvosolható társadalmi, gazdasági következményekkel járnak. – Mivel 24 esztendeje tanítok matematikát és fizikát egy vidéki gimnáziumban, a fizika helyzetén keresztül fogom bemutatni a természettudományos oktatásügyet általánosan jellemző nehézségeket. (Mindenképp hasonló dolgokról számolhatnának be a kémia, illetve biológiát tanító kollégák is.)

A válság egyértelműen tetten érhető az óraszámok alakulásában. Az *1. táblázatban* a 2000-ben, illetve 2024-ben érettségiző normál tanrendű (nem tagozatos) általános iskolai és gimnáziumi tanulók heti óraszámát gyűjtöttem össze némi nemzetközi kitekintés mellett.

Szomorú tény, hogy csaknem negyed évszázad alatt 42%-kal csökkent a tanítási időkeret hazánkban, s ezzel lemaradtunk a hozzánk hasonló geopolitikai adottságokkal rendelkező szomszédainktól is. Jöttek-mentek a

nemzeti alaptantervek, a kerettantervek, a kompetencia alapú oktatás, a science és egyéb csodaszavak, de megkérdőjelezhetetlen, hogy nincs annyi idő kísérletezésre, feladatmegoldásra, gyakorlati alkalmazások bemutatására – összességében a tananyag elmélyítésére –, mint korábban. Az iskolapadból kikerülő fiatalok felkészültsége minden erőfeszítés ellenére sem érheti el az előző évszázad végének színvonalát. Pedig a tudományos, a technikai és a gazdasági fejlődés egyik fundamentuma a továbbtanuló fiatalok tudása.

Mindazonáltal el kell ismerni azt is, hogy az óraszámok drasztikus csökkentésének volt pozitív hozadéka is: nem volt annyira szembetűnő a fizikatanárok szá-

Kis Tamás

Eötvös József Református Oktatási Központ, Heves

1. táblázat

Heti óraszám fizikából

	Magyarország		Szlovákia*	Románia
	2000	2024	2024	2024
6. évfolyam	2	–	2	2
7. évfolyam	2	2	1	2
8. évfolyam	2	1	2	2
9. évfolyam	2	2	1	3
10. évfolyam	2	3	2	3
11. évfolyam	2	–	3 (vagy 2)	3
12. évfolyam	2	–	– (vagy 1)	3

* Szlovákiában az általános iskola 9 évfolyamos. Az alsó tagozat 5 osztályos, így a 6–9. évfolyam felel meg a mi felső tagozatunknak. A gimnáziumi tanulók a 13. tanév végén érettségiznek. – A táblázat a szlovákiai évfolyambeosztás szerint tartalmazza az óraszámokat.



Kis Tamás matematika–fizika szakos tanár, fejlesztő-innovátor mesterpedagógus. A kísérletezés, a megfigyeléseken alapuló fizikaoktatás elkötelezettje. A Földi János természettudományi verseny szervezője, a Mikola Sándor fizikaverseny bizottságának tagja. Pro Progressio és MOL MesterM díjas.

mának csökkenése. Mostanáig... Szeptemberben olvastam arról, hogy idén összesen 20-nál is kevesebb fizikatanár-szakos hallgatót vettek fel a hazai egyetemek. Nem kell hozzá nagy jóstehetség, hogy ki merjem jelenteni: a nyugdíjba vonuló és a frissen végzett kollégák száma közti hatalmas különbség súlyos következményekkel fog járni. Évről-évre fokozódik a tanárihiány, s ezen az óraszámok csökkentése sem segíthet, mert már nincs hová sorvasztani az időkeretet! – De miért ilyen népszerűtlen a fizikatanári pálya?

Talán nem is a legjobb kifejezés a „népszerűtlenség”. Korunk fiatalsága (tisztelet a kivételnek) a „minél egyszerűbben, minél gyorsabban és minél többet” filozófia alapján képzelet eljövését. Ez nem meglepő, hiszen a legtöbb kommunikációs csatornán ezt kapják. A „másként gondolkodó” kivételek egyre kevesebben vannak. A fizika ráadásul nem tartozik a legkönnyebb tantárgyak közé. Szépsége, az általa nyújtott élmény ma már nem elég ahhoz, hogy tanulására ösztönözze a diákságot. Akik pedig mégis ezt a „nehéz utat” választják, tudják, hogy nem a tanári szak tétel meg a legjobban számukra. Sokkal jobb megélhetésre számíthatnak mérnökként, illetve programozóként. És ez ellen lehetetlen érvelni.

A valósághoz hozzá tartozik, hogy még akkor sem egyértelműen adottak a feltételek, ha néhány elszánt diák fizikával szeretne továbbtanulni. Ugyanis a gimnáziumok egy kritikus létszám (4-5 fő) alatt nem mindig indítanak érettségi felkészítőt, fakultációt. A közoktatásban is uralkodó fiskális szemlélet miatt előfordul, hogy a fiataloknak meg kell változtatniuk elképzeléseiket, s ezzel potenciális szakembereket veszítünk el.

Keves olyan foglalkozás van, amit annyira ismernek a gyerekek, mint a tanári pályát. Életük egy jelentős részét az iskolai közegben töltik, ezért gyakorlatilag a pedagóguslét minden részletével tisztában vannak. Ez alapján nem is volt meglepő, amikor a tanítványaim az anyagi okok mellett arra hivatkoztak, hogy ők nem szeretnének ilyen gyerekeket tanítani... – S valóban: az új évezred egyik fontos kihívása az iskolák számára, hogy a családoktól egyre inkább átvegyék a nevelés feladatát is. Erre a nagy felelősségre pedig nincs felkészülve az iskolarendszer.

A problémák tehát összetettek, de a bérezés, az óraszámok alakulása, az ellátandó feladatok és a diákok, szülők hozzáállása, mind-mind a pedagógusok társadalmi megítélésének kivetülése. Hazánkban így „árazták be” a pályát, ennyire becsülik. – Természetesen szó sincs arról, hogy ebbe bele kell törődni! A kialakult helyzetnek megfelelően a megoldás is összetett, s azt is tudomásul kell venni, hogy pénz- és időigényes. A közoktatás rendkívül tehetetlen rendszer: a legapróbb változtatásnak is legalább egy évtized múlva jelentkeznek a hatásai. – De mit kellene tenni?

Alighanem először mindenkinek a bérrendezés jut eszébe. Véleményem szerint teljesen jogos elvárás a pedagógusok részéről, hogy fizetésük mielőbb felzárkózzon az uniós átlaghoz. De ez önmagában nem elég!

A fiatalokat motiválni kell arra, hogy tényleges életcéljuk legyen a tanári pálya. Erre vannak jó példák

hazánkban: a szakképző iskolákban ösztöndíjjal támogatja a tanulókat az állam. Jelenleg egy 9. osztályos (például kőműves) tanuló az első félévben, tanulmányi eredményétől függetlenül a minimálbér 10%-ára (16 100 Ft) jogosult havonta. Ez az úgynevezett ágazati ösztöndíj később, a tanulmányi eredménytől függően akár 35%-ra (56 350 Ft) is növekedhet. – Hasonlóan lehetne támogatni azokat a 11., 12. osztályos diákokat, akik (akár szerződéses formában) vállalják, hogy fizika (vagy más keresett) tanár szakon tanulnak tovább az érettségi után.

Emellett biztosítani kell a fakultációk finanszírozását abban az esetben is, ha csupán 1-2 tanulót foglalkoztatnak.

Nem fog változni a tanári pálya megítélése, amíg nem kapja vissza becsületét, a régi, s méltán kijáró társadalmi elismertségét! A tanárember nem a nemzet eltartottja, hanem sokkal inkább a nemzet építője, felemelője. Tekintélyt, tiszteletet kell kapniuk a pedagógusoknak. A külső, nem szakmai partnerek számára megkérdőjelezhetetlenné kell tenni a pedagógusok döntéseit; az észszerűség és az igazságosság határain belül védeni kell a tevékenységüket. (Ki venné a bátorságot, hogy beleszóljon egy villanyszerelő vagy egy sebész munkájába?! Még a focibírók döntéseit sem befolyásolhatja a partvonal mögül bekiabáló több ezer elfogult néző „véleménye”).

A hírnév helyreállítása nem történhet csupán kívülről, ehhez megfelelő minőség is szükséges. Jelenleg nem megoldott a pedagógusok munkájának rendszerintű segítése, felügyelete. Be kell látnunk, hogy a pálya „felhígult”, előfordulnak kevéssé elkötelezett és lelkiismeretes kollégák. A meggyőződés nélküli, felkészületlen tanár rombolja a szakma presztízsét.

Ha a természettudományos oktatás színvonalát tekintve nem szeretnénk végképp lemaradni a fejlett országoktól, akkor növelni kell az óraszámokat. Ez a most bevezetett kerettanterv átírása nélkül, legegyszerűbben egy államilag fenntartott szakköri programmal oldható meg, amely a felső tagozattól a 10. évfolyamig elkísérné a gyerekeket (ehhez hasonló a sportban a Bózsik-program). Ennek számos előnye lenne: alkalmazkodni lehet a helyi adottságokhoz, kötetlen foglalkozásokon lehet megszerettetni a fiatalokkal a reál tudományokat, kiváló lehetőség a tehetséggondozásra, nem kötelező minden diák számára. Gyarapítani kell a gimnáziumokban a reál tárgyakat kiemelten tanuló fiatalok számát, tudásszintjüket meg kell erősíteni. Mind ez elsősorban kőkemény nemzetgazdasági érdek.

Azt gondolom, hogy csak egy átfogó, alaposan kidolgozott oktatásügyi reform jelenthet megoldást, amelyet mielőbb meg kell valósítani. Minden elvesztegetett év súlyosbítja a válságot. Szerencsére vannak olyan, tiszteletet parancsoló múlttal rendelkező szakmai szervezeteink és elismert, híres tudósaink, akik szószólói lehetnek a változásnak. – Természetesen lehet utópisztikusnak tekinteni az elképzeléseket, legyinteni is lehet a felvetésekre, mert „úgysem fog sikerülni”. Én mégis inkább a cselekvést javaslom, mert a jövő a tét.

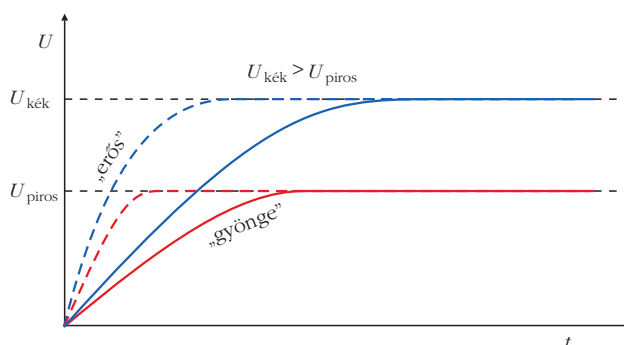
A FÉNYELEKTROMOS JELENSÉG VIZSGÁLATA myDAQ-val

Lipcsey-Magyar Márton Pál, Lichter Bertalan Ede, Piláth Károly
ELTE Trefort Ágoston Gyakorló Gimnázium

Az alábbi írásban a 2019–2020. évben az ELFT és a National Instruments Tanári myDAQ pályázatán I. helyezést nyert *Valós idejű erőmérés és további kísérletek* című munkánkból a *Fényelektromos jelenség vizsgálata* című fejezetet osztjuk meg a *Fizikai Szemle* olvasóival.

Tóth Eszter tanárnő kitűnő fizikakönyvében [1] találkoztam először az 1. ábrán látható diagrammal, amely szemléletességével belopta magát a szívembe. Az ábrán egy fotocella áramával töltődő kondenzátor feszültségét láthatjuk az idő függvényében, a hullámhosszal és a fényerősséggel paraméterezve.

A könyvben szereplő görbék alakja a 2. ábrán látható elvi kapcsolási rajz alapján érthető meg. Ha a rajz szerinti elrendezésben a fotocella katódját megvilágítjuk, akkor a vákuumcellában lévő fotokatódból elektronok lépnek ki. A kirepült elektronok az anódon halmozódnak fel. A töltésszétválasztódás miatt az anód és a katód között egyre növekvő elektromos feszültség alakul ki. A növekvő feszültség következtében egyre nő az anód és a katód között kialakuló elektromos mező kirepülő elektronokra kifejtett fékező hatása. Az újabb és újabb kilépő elektronoknak így egyre nagyobb fékező hatást kell legyőzniük, hogy elérjék az anódot. Amikor a töltésszétválás miatt kialakuló elektromos mező eU munkavégző képessége egyenlővé válik a kilépő elektronok



1. ábra. A Tóth Eszter könyvének szemléletes ábrája.

$$\frac{1}{2} m v^2$$

mozgási energiájával, akkor a kilépő elektronok már nem érik el az anódot, így egy adott feszültségnél megáll a töltések további szétválasztódása. Ennek következtében a kondenzátor feszültsége sem nő tovább. Ha a fotocellát a kísérletben először kis intenzitású (gyenge), majd nagyobb intenzitású (erős) monokromatikus fényel világítjuk meg, akkor a kondenzátor azonos színű fény esetén azonos feszültségre töltődik, de a folyamat tovább tart kisebb intenzitású fény esetén. A maximális egyensúlyi feszültség értéke a katódtól kilépő elektronok mozgási energiájától függ.

A görbék alakjából tehát jól látható, hogy a kék fény nagyobb energiát képes átadni az elektronoknak, mint a piros. A különböző fémekből készült katódok különböző energiával kötik elektronjaikat, így a céziumkatódból már a piros, míg a lítiumból csak a kék vagy a kéknél rövidebb hullámhosszúságú fény képes elektronokat kiléptetni. *Albert Einstein* nevéhez köthető az erre vonatkozó egyenlet felírása.

$$hf = W_{ki} + \frac{1}{2} m v^2. \quad (1)$$



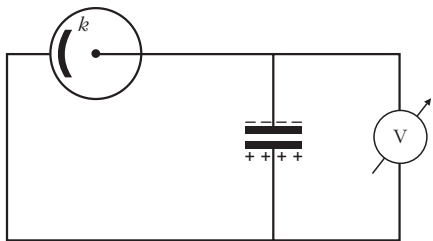
Lipcsey-Magyar Márton Pál 10.B osztályos tanuló, az ELTE Trefort Ágoston Gyakorló Gimnázium diákja.



Lichter Bertalan Ede 10.B osztályos tanuló, az ELTE Trefort Ágoston Gyakorló Gimnázium diákja.



Piláth Károly kutatótanár 1979-ben végzett az ELTE fizika-kémia szakán. Ezt 2005-ben informatikatanári végzettséggel egészítette ki a Veszprémi Egyetem Informatika Karán. Korábban a Balassi Bálint Nyolcévfolyamos Gimnáziumban tanított, majd 2005 óta a Trefort Ágoston Gyakorló Gimnázium tanára, vezetőtanára. 2013-tól 2018-ig a Trefort fizika-informatika munkaközösségének vezetője. 2017-től nyugdíjas óraadó az ELTE Trefort Ágoston Gyakorló Gimnáziumban.



2. ábra. A mérés elvi vázlata.

Az egyenletben h a Planck-állandót, f a katódot megvilágító fotonok frekvenciáját, W_{ki} az adott fémre vonatkozó kilépési munkát, az

$$\frac{1}{2} m v^2$$

pedig a kilépő elektronok mozgási energiáját jelenti. A fenti egyenlet kifejezhető a fotocellán mérhető feszültséggel is:

$$hf = W_{ki} + eU. \quad (2)$$

Amiből a kilépési munka egyszerűen adódik:

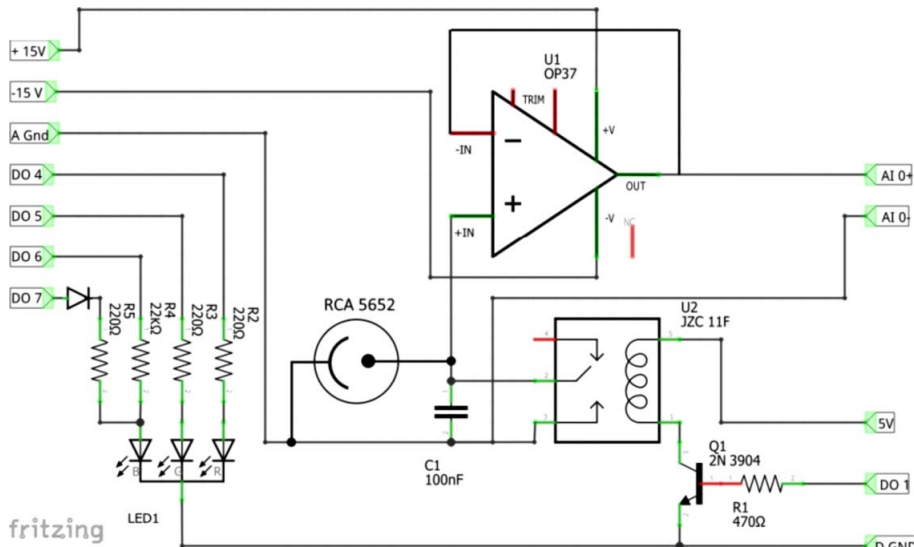
$$W_{ki} = hf - eU. \quad (3)$$

Már régóta tervezgettem, hogy tanítványaimnak bemutatom ezt a mérést, mert szerintem nagyon megkönnyíti a fényelektromos hatás lényegének megérté-

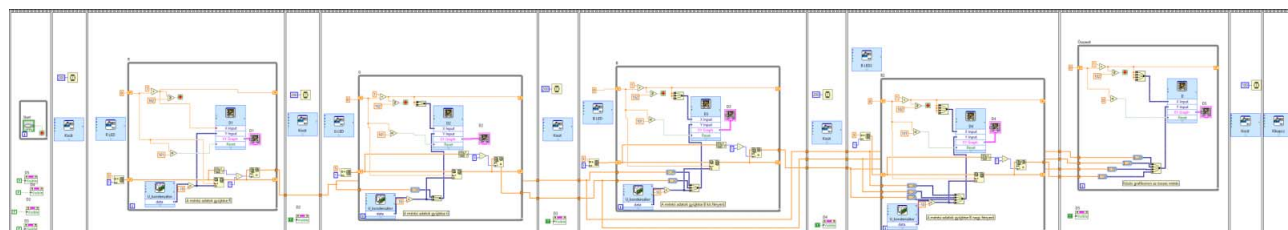
sét, azonban kivitelezése hagyományos eszközökkel nem egyszerű. A mérés végtelen nagy belső ellenállású voltmérőt igényel. A hagyományos műszerek belső ellenállása viszont e méréshez kicsi, a nagyobb belső ellenállású digitális voltmérők mérési ideje pedig hosszú, így nehéz leolvasni a feszültséget az idő függvényében. Lehetőségeinket elemezve könnyen kiderül, hogy ez a kísérlet egy tipikusan myDAQ-ra szabott feladat. Csak a méréshez szükséges kondenzátort kell tölteni egy fotocellával és közben folyamatosan mérni a kondenzátor feszültségét, az idő függvényében. Ebből a feladatsorból a fotocella beszerzése jelenti talán a legnehezebb feladatot! Az ebay-en azért időnként még lehet találni egy-egy ilyen lassan már múzeumi alkatrész kategóriába sorolható fotocellát. Mivel muzeális értékük már jelentős, ezért nem könnyű olcsón hozzájutni ezen alkatrészekhez. Türelmes keresgéssel azért sikerült beszereznem egy RCA 5652 típust. A 3. ábrán látható kapcsolási rajz alapján, különböző színű LED diódákkal megvilágított ilyen fotocellával töltöttünk fel egy 100 nF kapacitású kondenzátort. Minden újabb megvilágítás (színcsere) előtt, egy – a myDAQ-hoz mellékelt szenzorkészletből származó – JZC 11F típusú relével kisütöttük a kondenzátort, hogy a feltöltés időbelisége is kidomborodhasson. A különböző fényerősségről a LED áramának növelésével gondoskodtunk. A kapcsolási összeállításból kiderül, hogy a kondenzátor feszültségét egy OP 037 műveleti erősítővel illesztettük a myDAQ

analog bemenetének bemeneti impedanciájához. Ily módon gyakorlatilag a méréshez javasolt végtelen bemenő ellenállású voltmérővel mérhetjük a kondenzátor feszültségét az idő függvényében. A LED diódákat a DO7–DO4 digitális portokon keresztül kapcsolgattuk piros, zöld, majd kék, illetve nagyobb fényerejű kék sorrendben. A relét egy 2N 3904 típusú tranzisztor közbeiktatásával vezéreltük a DO 0 kimeneti portról. A vezérlő vi lehetett volna lényegesen egyszerűbb is, de a didaktikai hatás érdekében egymás után, egymásra rajzolva vettük fel a kondenzátorfeszültség idődiagram

3. ábra. A mérés kapcsolási összeállítása.



4. ábra. A mérést vezérlő vi.

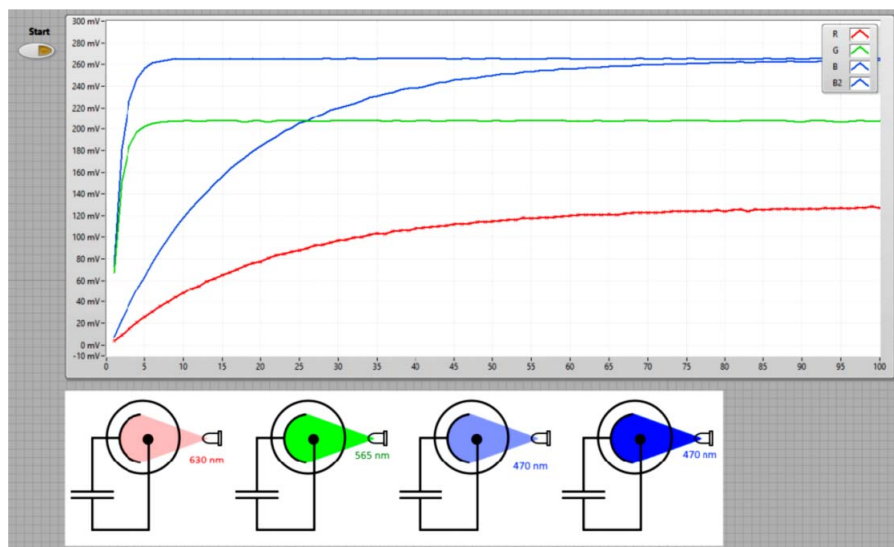


jaít, miközben igyekeztünk megfelelni a Tóth Eszter tanár-nő tankönyvében bemutatott ábrának.

A mérést egy „Flat Sequence Structure” elemmel vezéreltük (4. ábra). E műveletor „film-kockái” a következő lépéseket tartalmazzák. A mérés kezdete-kor kisütjük a C1 kondenzátort, majd bekapcsoljuk a piros LED-et. Mérjük a fotokatódból kilépő elektronokkal töltődő C1 kondenzátor feszültségét az idő függvényében. Az első mérést követően ismét kisütjük a kondenzátort, majd mérjük a zöld LED-del megvilágított kondenzátor feszültségét. Az eredményt rárajzoljuk a piros LED diagramjára, majd a kék LED következik, először kisebb, majd nagyobb fényerő-vel megvilágítva. Az esemé-nyek folyamatosan követik egymást, szinte életre keltve a fent említett fizikakönyv [1] re-mek ábráját. Egy ilyen mérés végeredménye az 5. ábrán te-kinthető meg.

Az 5. ábrán látható mérési eredmények alapján megpróbáltuk beazonosítani a foto-cella katódjának anyagát. Az 1. táblázat és a 3. egyenlet alapján a kilépési munkára 2,07 eV átlagos értéket kaptunk, amely a cézium 1,95 eV-os kilépési munkájához áll a legközelebb.

Az adatokból látszik, hogy a legnagyobb (1,95 eV) eltérést az irodalmi értéktől a kék tartományban kap-tuk. Hibaforrás lehetett, hogy a LED-ek hullámhossz-adatai az internetes irodalomból származnak, nem mértük őket. A méréshez használt kék LED sávzéle-sége is meglehetősen nagy volt ahhoz, hogy mono-kromatikus fényforrásként számolhassunk vele. A ki-sebb mérési pontatlanságoktól eltekintve, azért ez a



5. ábra. A Tóth Eszter-féle diagram mért változata.

1. táblázat

Az elektron kilépési munkája a fotocella katódjából

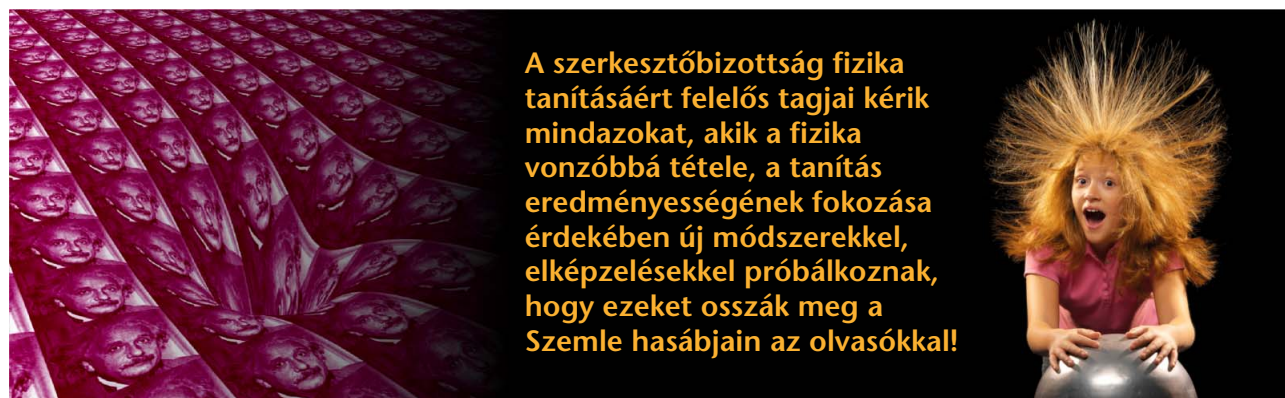
λ (nm)	U_c (mV)	f (10^{12} Hz)	hf (10^{-21} J)	eU (10^{-21} J)	W_{ki} (10^{-21} J)	W_{ki} (eV)
470	260	638	422,9	41,65	381,3	2,38
565	208	530	351,8	33,32	318,5	1,99
630	128	476	315,5	20,51	295,0	1,84
a kilépési munka átlaga:						2,07

mérés meglehetősen jól visszaadja a jelenség lénye-gét, így összességében úgy értékeltük, hogy megérte a befektetett munkát.

A mérés lépéseit bemutató videó a YouTube videó-megosztón – <https://youtu.be/dX84dpZZyr0> – tekinthető meg. A teljes pályázat és a hozzá tartó forrás-kódok letölthetők a http://www.trefort.elte.hu/fizika/mydaq2020_pilath.rar címről.

Irodalom

1. Tóth Eszter: *Fizika IV*. ISBN 963 19 0566 7 Nemzeti Tankönyv-kiadó, Budapest



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

EÖTVÖS LORÁND JUBILEUMI EMLÉKVERSENY 2019

Szarka László Csaba – MTA Könyvtár és Információs Központ

Győri István – SZTE Gyakorló Gimnázium és Általános Iskola

Molnár László – ELTE SEK Fizika Tanszék

Ujvári Sándor – Székesfehérvári Lánzos Kornél Gimnázium

Az Eötvös Loránd-émlékév fiatalok számára legnagyobb hatású eseményei minden bizonnyal az iskolai rendezvények, valamint az általános és középiskolai vetélkedők voltak. Soprontól Kolozsvárig, Kaposvártól Léváig számos iskolában tartottak hangulatos, saját szervezésű ünnepséget, és nem csupán a nagy tudósunk nevét viselő intézményekben. Az *Eötvös Loránd fizikus, geofizikus és a felsőoktatás megújítójának 100. évfordulója – Az UNESCO-val közösen emlékezve* című, az NKFI Alapból megvalósult projekt keretében három országos, illetve Kárpát-medencei vetélkedő zajlott: az év első felében az Eötvös Loránd Geofizikai Alapítvány Celldömölkön, ünnepélyes keretek között rendezte meg általános iskolai vetélkedőjük döntőjét, a középiskolás fiatalokat pedig az Eötvös Loránd Fizikai Társulat (ELFT) hagyományos Eötvös-versenye mellett az *Eötvös Loránd Jubileumi Emlékverseny* szólította meg. E harmadik, nagyszabású vetélkedőnek nem voltak közvetlen előzményei.

Az *Eötvös Loránd Jubileumi Emlékverseny* (négytagú csapatok számára kiírt műveltségi vetélkedő) koncepcióját az *Eötvös 100 koordinációs testület* készítette el. Miután a pénzügyi feltételek (2019 májusában) megteremtődtek, a szervezői és lebonyolítói feladatokat az ELFT és az MTA Könyvtár és Információs Központ vállalta magára, a SZTAKI és a Magyar Geofizikusok Egyesülete bevonásával. A vetélkedő tartalmát és egész szakmai folyamatát a *Molnár László* által vezetett csapat (*Finta Zsanett, Fűzfa Balázs, Győri István, Koós Ildikó, Kovács László, Márkus Zsolt, Molnár*



A Föld forgását az Eötvös-pörgettyű 21. századi, az OKTV-re készített változatával, amelyről cikk is megjelent tavalyi folyóiratunkban,¹ Groma István mutatta be a versenyzőknek.

Andrea, Ormos Tamás, Szabó Róbert, Ujvári Sándor, Veres Miklós, egyben a későbbi zsűri) alakította ki.

Az EMMI-nek, a Klebelsberg Központnak és a Magyar Természettudományi Társulatnak köszönhetően a szeptember eleji határidőig nem kevesebb, mint 224 csapat jelentkezett: nagyrészt vidékről, részben (10 százaléknyan) határokon túlról. Az előválogató öt héten át, heti gyakoriságú internetes fordulókban, a SZTAKI által kialakított informatikai keretek között

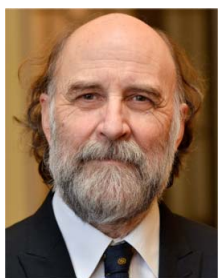
¹Groma I.: Az Eötvös-mérleg. *Fizikai Szemle* 69 (2019) 408–414.



Szarka László Csaba geofizikus–mérnök, az MTA rendes tagja, soproni egyetemi tanár. Az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet kutatója (1977–2010), az MTA Titkárság Kutatóintézet Főosztály vezetője (2010–2015), az MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont főigazgatója (2016–2018). 2019-ben – nyugdíjas-ként – az Eötvös 100 koordinációs testület elnöke volt. Elektromágneses geofizikával és környezeti kérdésekkel foglalkozik.



Molnár László kémia–fizika szakos tanár, környezetvédelmi szakmérnök; az ELTE SEK Fizika Tanszékének ny. oktatója. Több akkreditált tankönyv és oktatási segédanyag szerzője. Rendszeresen tart ismeretterjesztő előadásokat, kísérletbemutatókat és részt vesz az Öveges-verseny feladatainak kidolgozásában is. Az Eötvös Loránd Jubileumi Emlékversenyen a versenybizottság és a zsűri elnöke volt. Az ELFT Országos Elnökségének tagja. A kísérletező fizikatanítás elkötelezett híve.



Győri István 1978-ban végzett a szegedi József Attila Tudományegyetem matematika–fizika szakán. A megye két legrangosabb gimnáziumában (Radnóti Miklós Kísérleti Gimnázium, 1979–1988; SZTE Gyakorló Gimnázium és Általános Iskola, 1988–2016) tanított és volt a fizika munkaközösségek meghatározó alakja nyugállományba vonulásáig. Diákjai hosszú évek óta sikeresek az Országos Középiskolai Tanulmányi Versenyeken, az Eötvös- és a Mikola-versenyeken, a Nemzetközi Fizikai Diákolimpián.



Ujvári Sándor középiskolai fizikatanár, a Székesfehérvári Lánzos Kornél Gimnáziumban tanít. Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Oktatási Szakosztály és a Fejér Megyei Csoport elnöke. A fizika tanításában legfontosabbnak a jelenségek valóságos bemutatását, a diákok által végzett kísérleteket, méréseket tartja.

zajlott. Összesen 181 csapat teljesítette az összes fordulót. Közülük került ki a 2019. november 23-i döntő 14 csapatos mezőnye. A döntő helyszíne a Magyar Tudományos Akadémia Díszterme volt, ahol a Tudományos Világforum díszletei különlegesen ünnepélyes körülményeket teremtettek.

A döntő első harmadában a gyerekek írásbeli kérdésekre válaszoltak, majd a csapatok egy – a folyadékok felületi feszültségével kapcsolatos – fizikai kísérletet végeztek el. Végül három perces kiselőadás formájában ismeretterjesztői-előadói képességükről is számot adtak.

Eredmények

1. *Trivialisch* (Zrínyi Miklós Gimnázium, Zalaegerszeg: *Czett Máttyás, Pácsonyi Péter, Szalai Bence, Veres Kristóf*, mindannyian 12. évfolyam, felkészítő tanár: *Pálovics Róbert*),
2. *bar-obm-fi* (Bethlen Gábor Református Gimnázium, Hódmezővásárhely: *Torda Tegze, Szántai Gábor, Szőke Levente, Nagyéczi Gergő* mind 12., tanár: *Berecz János*),
3. *Toltelek* (Katona József Gimnázium, Kecskemét: *Boda Milán, Fekete Domonkos, Garamvölgyi István, Hudák János*, mind 12., tanár: *Sáróné Jéga-Szabó Irén*),
4. *FifikusFizikusok* (Talentum Tehetség Műhely, Győr),
5. *Rettenthetetlen4keszeg* (Boldog Brenner János Általános Iskola, Gimnázium és Kollégium, Szombathely),
6. *VAG-on* (Vámbéry Ármin Gimnázium, Dunaszerdahely),
7. *Farkasfalka* (Vajda János Gimnázium, Keszthely),
8. *NOOBMASTER69* (Baár-Madas Református Gimnázium, Budapest),
9. *torzingazok* (Középiskolai Leánykollégium, Budapest, Uzsoki utca),
10. *rfkv11m* (Kisvárdai SZC II. Rákóczi Ferenc Szakgimnáziuma és Szakközépiskolája, Kisvárd),
11. *ELTEAM* (Nagykanizsai Szakképzési Centrum Cserhádi Sándor Szakképző Iskolája és Kollégium),
12. *cserisek* (Nagykanizsai Szakképzési Centrum Cserhádi Sándor Szakképző Iskolája és Kollégium),
13. *Tudatlanokrfkv* (Kisvárdai SZC II. Rákóczi Ferenc Szakgimnáziuma és Szakközépiskolája, Kisvárd),
14. *EotvosCELL* (Vas Megyei SzC Eötvös Loránd Szakgimnáziuma és Szakközépiskolája, Celldömölk).

Az 1. helyezett csapat iskolájuk számára egy különleges, innovatív ajándékot kapott: a földforgást kimutatni képes mérőberendezést, azaz az Eötvös-féle forgómérleg (Eötvös Loránd eredeti kísérleti eszközének) *Groma István* ELTE-professzor és munkatársai által készített működőképes, 21. századi változatát. A többiek is természetmegfigyelő eszközt vihettek haza: a második helyezett csapat csillagászati távcsövet, a harmadik nagy felbontású mikroszkópot. A 1–3. helyezett tanulók egyéni ajándéka turistatávcső (a tanároké nap-



Írásbeli feladat.

órás iránytű) volt, továbbá a magyarországi UNESCO-világörökségi helyszíneket bemutató könyv (ez utóbbi az UNESCO Magyar Nemzeti Bizottság ajándékaént). A fő díjakat *Birkner Zoltán*, az NKFIH elnöke adta át. Az MTA és az ELTE a vadonatúj *Eötvös Loránd emlékalbum* egy-egy példányával, az Akadémiai Kiadó pedig a budapesti tudománytörténeti sétákról szóló könyvvel ajándékozta meg a döntő minden résztvevőjét (az első helyezettet pedig *Simonyi Károly: A fizika kultúrtörténetével*). A vetélkedő résztvevői (a 181 csapat tagjai) „Eötvös 100” tornaszákokat és -karkötőt, valamint Eötvös 100 ismeretterjesztő anyagokat kaptak.

A *FifikusFizikusok* csapat a Magyar Geofizikusok Egyesületétől, a *Rettenthetetlen4keszeg* a Wigner Fizikai Kutatóközponttól, *VAG-on* a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálattól kapott különdíjat. A zalaegerszegi *Trivialisch* elnyerte a legjobb előadást nyújtó csapatnak járó különdíjat, amit a Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet ajánlott fel.

A bevezető előadást az Eötvös-hatásról *Groma István* tartotta. A vetélkedő végén pedig (mialatt a zsűri értékelt), *Csenár Márton* mesélt Eötvös Loránd hegymászásairól, az egykori és a mai hegymászó felszerelésekről.

A kísérleti feladat megoldása az MTA Dísztermében (a győri csapat).





„Eötvös 100” üdvözlét Kolozsvárról.

Ha lett volna fair-play díj, akkor azt a kolozsvári Báthory István Elméleti Líceum *Dodekaéder* csapata kapta volna (*Sprencz Róbert, Beke-Szabó Bence, Szabó Loránd, Mostis Márk* és tanáruk, *Káptalan Erna Katalin*). A legtöbb pontot elért határon túli csapatként ők utazhattak volna Budapestre, de betegség miatt a távolmaradás mellett döntöttek – és ezt időben jelezték is; így elegendő idő maradt a következő határon túli csapat kiértékelésére és felkészülésére.

Az eseményről az M5 televíziócsatorna tudósításban számolt be, és a verseny reggelén a Kossuth rádió is hírt adott róla. A teljes napról készített videofelvétel megtekinthető a www.eotvos100.hu weboldalon. A legkiválóbb háromperces előadások – az ismeretterjesztési gyöngyszemekként – a youtube-on angol feliratozással is elérhetők. (A zalaegerszegi Pácsonyi Péteré itt: <https://www.youtube.com/watch?v=S51rS61yVsU&feature=youtu.be>; a győri Csimma Viktoré itt: <https://www.youtube.com/watch?v=CGrLmcXH0oI&feature=youtu.be>).

Az Eötvös Loránd Jubileumi Emlékverseny ezernyi diákot megmozgatott, híre külföldre, a Tudományos Világforum résztvevőihöz és az Eötvös 100 Honorary Board tagjaihoz is eljutott. A visszajelzések szerint akár hungarikum is lehetne. Az emlékverseny természetesen az érintettek körében is nagy sikert aratott, úgyhogy ezt a természettudományi-kulturális vetélkedőtípusat érdemes folytatni, és hasonló formában, de változó tartalommal 1-2 évente megrendezni.

A Magyar Geofizikusok Egyesülete konkrét javaslattal fordult az NKFI Hivatalhoz a vetélkedő 2020. évi támogatására, számítva az ELFT, az MTA KIK, a SZTAKI, illetve a 2019. évi szervezést végző személyek részvételére. A koronavírus-járvány miatt az idei – földtudományi témájú – vetélkedő sajnos elmaradt, de jövőre – és az azt követő években – egy hasonló vetélkedő minden bizonnyal megrendezésre kerül.

A verseny feladatairól

A versenyt olyan *műveltségi versenyként* hirdettük meg középiskolások számára, amelynek célja *Eötvös Loránd* életének, tudományos és közéleti munkásságának megismerése és megismertetése volt – a korszak kulturális környezetébe ágyazva. Így a természettudományi kérdések és feladatok mellett a résztvevők számíthattak történelmi és irodalmi kérdésekre is.

Az első 5 fordulóról

Az első 5 fordulót online bonyolítottuk le. A négyfős csapatoknak az első fordulóban irodalmi, a második fordulóban történelmi, a harmadikban fizikai, a negyedikben geofizikai kérdésekre kellett válaszolniuk. Az ötödik forduló Eötvös Loránd életével és sokoldalú tevékenységével kapcsolatos kérdéseket, feladatokat tartalmazott. A változatosság a feladattípusok sokféleségét is jelentette: online teszt, számítási feladat, kísérlet és értékelése. Ezeket a feladatokat más és más felületeken, más és más módszerekkel kellett megoldani: online és papíron, valós kísérletekkel és szimulációval.

Egyes feladatok megoldásához a versenyzőknek virtuálisan be kellett járni egy adott helyszínt (így például az Eötvös Kiállítást, vagy Eötvös túraútvonalait), illetve előre felkészülhettek a kiadott anyagokból. Valamennyi, a felkészüléshez szükséges ismerethez internetes hozzáférést adtunk. A témahét leírása és az „irodalomjegyzék” pénteken jelent meg a verseny honlapján; a felkészülési idő lejártá után, a következő héten szerdán vagy csütörtökön volt lehetőség a feladatlapok megnyitására és kitöltésére – természetesen a megadott időkorlátok között.

A verseny informatikai hátterét a SZTAKI munkatársai, *Márkus Zsolt* és *Veres Miklós* biztosították. A

beérkező megoldások azonnal feldolgozásra kerültek, és egy forduló lezárása után a versenybizottság és a versenyzők is rögtön láthatták az eredményeket. Munkájuk fontos része volt az „ügyelet”: telefonon vagy e-mailben segítettek a csapatoknak a felmerülő technikai problémák megoldásában.

Az *1. táblázat* az egyes fordulók eredményeit mutatja.

Az egyes fordulók eredményei				1. táblázat
forduló és az ott elérhető maximális pontszám	elért legjobb eredmény	eredmények középértéke	átlag felett teljesítő csapatok aránya	
1. Irodalom	24	24 pont (100%)	21 pont (88%)	40%
2. Történelem	52	50 pont (96%)	40 pont (88%)	49%
3. Fizika	68	66 pont (97%)	35 pont (51%)	48%
4. Geofizika	41	39 pont (95%)	24 pont (59%)	51%
5. Eötvös Loránd élete	33	32 pont (97%)	16 pont (48%)	49%

A 3. fordulón a következő két, ismertnek számító feladat is szerepelt.

11. feladat

Egy $R_B = 4000$ km sugarú, gömb alakú bolygó tömege $M_B = 4 \cdot 10^{24}$ kg. A bolygó körül $R = 7 R_B$ sugarú körpályán kering egy űrhajó. A gravitációs állandó értéke $6,67 \cdot 10^{-11}$ Nm²/kg².

a) Mekkora erre a bolygóra vonatkozóan a v_1 első kozmikus sebesség?

b) Mekkora a T_0 keringési ideje az ezzel a sebességgel felszínközeli pályán keringő űrhajónak?

c) Hányszorosa az $R = 7 R_B$ sugarú körpályán haladó űrhajó keringési ideje a T_0 -nak?

12. feladat

Egy **U** alakú drótkeret egyik oldala mozgatható, vékony drót. A keretet folyadékhártya tölti ki. Azt találjuk, hogy ha a mozgatható, $l = 6$ cm hosszúságú drótra egy $m = 0,8$ g tömegű nehezéket akasztunk, egyensúly áll be. A mozgatható drót tömege 0,07 g.

a) Számítsuk ki a keretet kitöltő folyadék felületi feszültségét!

b) Mennyi munkát kell végeznünk, ha állandó hőmérsékleten a folyadékhártya felületét $A = 1$ cm²-rel megnöveljük?

Tanulságos, hogy a 11. feladatra a csapatok csak 56%-a, a 12.-re csupán 25%-a adott hibátlan megoldást!

Szinte az emlékverseny gondolatának megszületésétől kezdve egyértelmű volt számunkra, hogy a *megmérettetés részét kell képezze egy kísérleti, mérési feladat is*. Diákjaink akkor tudják Eötvös Loránd munkásságát igazán méltányolni, ha szembesülnek azzal, milyen nehézségeket is hordoz egy természettudományos mérés kitervelése, és olyan szintű precizitással történő elvégzése, amire Eötvös, a tudós, a vérbeli kísérleti fizikus képes volt.

A mérési feladat kiválasztásánál több szempontot próbáltunk figyelembe venni. Mindenképpen szeretnénk volna, hogy a kitűzött probléma kapcsolódjon valamelyik olyan jelenségkörhöz (folyadékok felületi feszültsége, gravitáció), amelynek tanulmányozása során Eötvös nemzetközileg elismert eredményeket ért el. Ugyanakkor mérlegelnünk kellett, hogy a közoktatásban fizikát tanuló diákok milyen mélységű ismeretekkel rendelkezhetnek az érintett fejezetekben, illetve milyen mérési rutint, jártasságot feltételezhetünk a versenyzők részéről.

Így a 3. forduló részét képezte egy „klasszikus” mérési feladat, a g mérése fonálinga segítségével – a kapott, részletes mérési utasítás alapján. Erre a résztvevők csupán 19%-a érte el a maximális pontszámot!

A 4. fordulón a versenyzőknek el kellett látogatni a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar

2. táblázat

A döntő egyes témáihoz kapcsolódó feladatok eredményei

feladat és az elérhető maximális pontszám	elért legjobb eredmény	eredmények középértéke	átlag felett teljesítők száma, aránya
1. irodalom-történelem	45	28 pont (62%)	16 pont (36%) 8 csapat (57%)
2. fizika	49	47 pont (96%)	22 pont (45%) 5 csapat (36%)
3. geofizika	42	42 pont (100%)	25 pont (60%) 7 csapat (50%)
4. Eötvös Loránd élete és emlékezete	47	23,5 pont (50%)	15,5 pont (33%) 7 csapat (50%)
5. mérési feladat	52	52 pont (100%)	36 pont (69%) 8 csapat (57%)
6. FameLab	42	41 pont (98%)	35 pont (83%) 8 csapat (57%)

honlapján található Foucault-inga lapra. A webkamera képét felhasználva meg kellett mérniük az inga lengés- és körülfordulási idejét. Ehhez a feladathoz is részletes mérési utasítás tartozott. A maximális pontszámot itt is csak a résztvevők 19%-a érdemelte ki!

Végül meg kell említeni, hogy ugyancsak tanulságos az 5. forduló eredménye – annak tudatában különösen, hogy ehhez is bőséges ismeretanyag állt a versenyzők rendelkezésére.

A döntőről

Eötvös Lorándot az emlékezet elsősorban világhírű fizikusként tartja számon. Úgy az első öt forduló, mint a döntő feladatainak összeállításakor azonban arra is törekedtünk, hogy más, elismert tevékenységei – mint például a hegymászás, a fényképezés, a közéleti szerepvállalás – is említésre kerüljenek.

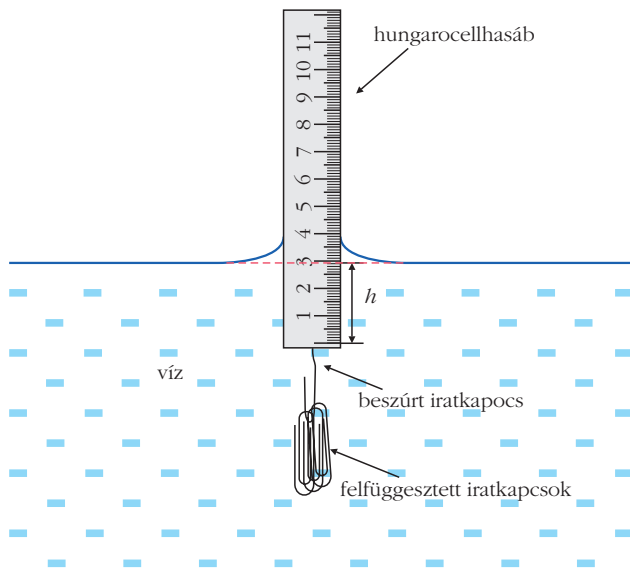
Záró feladatként került sor a FameLab-ra. Minden csapat maga választhatta meg előadása tartalmát, a kikötés csak az volt, hogy szervesen kapcsolódjon a verseny tematikájához. Az értékelésben – a szakmaiság mellett – fontos szerepet játszott a nyelvi eszközök használata, az előadásmód és a szép magyar beszéd is. A versenyzők maguk dönthették el azt is, hogy a csapatból ki tartja meg „első előadását az Akadémian”.

Az 2. táblázat az egyes témákhoz kapcsolódó feladatok eredményeit mutatja.

A döntő zárásaként – amíg a zsűri összesítette az eredményeket – Csenár Márton hegymászó, túravezető tartott nagy sikerű előadást a Dolomitokról és a hegymászásról, amelynek során bemutatta a hegymászásához ma használatos eszközöket is, részletesen ismertetve azok „működését”.

Még néhány gondolat a mérésről

Természetesen a döntőben is volt mérési feladat, amelynek kitűzésekor – a már elmondottakon kívül – figyelembe kellett vennünk, hogy az egy munkanapra szervezett vetélkedő színes programjában 1 óránál hosszabb időtartamot a mérésre nem szánhatunk, és azt



1. ábra. Kísérleti feladat: a felületi feszültség meghatározása.

is, hogy csak olyan felszerelések, anyagok-eszközök jöhetnek szóba, amelyek – viszonylag könnyen, gyorsan szétszatható-összeszedhető formában – minden csapat számára azonos színvonalon biztosíthatók a versenynek otthont adó MTA Dísztermének megtisztelően szép kulisszái között kiépítendő „laboratóriumban”.

A Versenybizottság végül egy felületi feszültség meghatározását célzó feladat kitűzése mellett tette le voksát. A mérésben egy hungarocell anyagú, milliméterskálával ellátott, átlátszó irodai ragasztószalaggal (cellux) bevont négyzetes hasáb mosogatószeres vízben történő úszásának vizsgálatán keresztül lehetett meghatározni a folyadék felületi feszültségét. A függőleges helyzetben úsztatott hasáb terhelését iratkapcsok ráakasztásával változtatva mérni kellett a bemerülés mélységét, és a kapott adatok grafikus kiértékelése alapján lehetett megadni a választ a kitűzött kérdésre (lásd az 1. ábrát).

A mérési feladat tárgyát tekintve mindenképpen illeszkedett kiválasztási szempontunkhoz: ebben a jelenségkörben Eötvös Loránd az általa kidolgozott reflexiós módszerrel kiemelkedően pontos eredményeket ért el, és olyan összefüggést ismert fel, illetve fogalmazott meg a felületi feszültség hőmérsékletfüggésére, amely azóta az Eötvös-törvény nevet viseli. A témaválasztásban még csak-csak tudtuk követni nagy fizikusunk nyomát, viszont Eötvös legendás pontosságát az adott körülmények között meg sem próbálhattuk megközelíteni. Az alábbiakban vázlatosan megemlítenénk néhány hibaforrást, amelyek a versenyző csapatok tagjainak ügyességétől, tevékenységük pontosságától függetlenül jelentősen befolyásolták a mérési eredményeket.

A felületi feszültségről a középiskolában, elsősorban a gimnáziumokban tanulhatnak a diákok. Sajnos, az örökös időzavarban a jelenségkör mennyiségi tárgyalása rendszerint elmarad, vagy felületesen, a megemlítés szintjén megy végbe. Legfeljebb ideális esetekkel találkozhatnak: 0° vagy 180° -os illeszkedési szögtől eltérő szituációk szóba sem kerülhetnek. Ezért az

mérés kiértékelésénél engedélyeznünk kellett azon egyszerűsítő feltevés használatát, hogy a folyadék tökéletesen nedvesíti a hasábot. Ez a valóságban korántsem igaz. Az úszó hasábra a folyadék által kifejtett „kapillaris erő” – a hasáb keresztmetszetének kerületén kívül – a folyadék felületi feszültségétől és az illeszkedési szög koszinuszától függ. Az általunk elérhető források alapján cellulóz-acetát hordozójú irodai ragasztószalagnál $50\text{--}60^\circ$ körüli, polipropilén felület esetén pedig 90° körüli illeszkedési szögértékeket várhatunk tiszta víz esetében. Mivel a ragasztószalag hordozójának anyagi összetétele, felületkezelése ismeretlen volt számunkra, az előkészületek alatt próbaméréseket végeztünk (természetesen a diákok számára majdan rendelkezésre álló mérési eszközökkel). Úgy tapasztaltuk (folyadékot a ragasztószalag hordozórétegének felületére cseppentve), hogy viszonylag kicsi illeszkedési szög, vagyis a „tökéletes nedvesítés” megközelítése csak a vízben néhány ezrelékes arányban mosogatószert feloldva érhető el – jöhet ennek következményeként a folyadék felületi feszültségének értéke csökken. Ezért szerepelt a versenyen kitűzött feladatban folyadékként mosogatószeres oldat.

A mérés során pontatlanság lépett fel a „próbahasáb” tömegének és hosszmereteinek meghatározása során is. A tömegmérésre ugyan századgrammos pontosságú mérleget használhattak a versenyzők, de a hasábra ható felhajtóerő figyelembe vételét nem igényelte a zsűri, ami a hungarocellhasáb kis sűrűsége miatt 3-4%-os hibát hordozott. A hosszmereteiket 1 mm-es beosztású vonalzóval mérhették a versenyzők, így a térfogat és a nedvesített kerület meghatározásánál is körülbelül 5%-os hiba lépett fel.

A legnagyobb nehézséget, és ebből következően az eredményt jelentősen befolyásoló hibaforrást mégis a bemerülés mélységének leolvasása jelentette: ebben a mérési elrendezésben, és ilyen rövid mérési időtartam alatt e probléma kiküszöbölésére sajnos nem láttunk lehetőséget.

A felsorolt hibaforrásokot figyelembe véve a versenyző csapatok eredményeit elég bő intervallumban helyesnek fogadtuk el: a $0,05\text{ N/m}$ és $0,1\text{ N/m}$ közé eső eredmények egyformán jónak minősültek.

Minden körülményt figyelembe véve azt mondhatjuk, hogy a versenyző csapatok többsége dicséretesen végrehajtotta a mérést, néhány esetben azonban – sajnos – tapasztalhattuk, milyen szerény mérési rutinnal rendelkeznek tanítványaink. Nem ők a hibásak, és nem is a tanáraik...

Válogatás a döntő feladataiból²

1. Irodalom

Ki a szerzője annak a versnek, melyből az alábbi idézetet vettük? Írd a helyes válasz betűjelét az üres négyzetbe! Ha a *d.* választ jelölöd meg, írd a nevet a pontozott vonalra!

²A helyes megoldásokat – a megfejtéseket kitalálni kívánó olvasóink kedvéért – az írás végén közöljük.

„Midőn feljött a hold s a csend beállta,
Terjedt fának tövében ültem én,
És képzetemben messze elrepültem...
Áldott anyám rólad emlékezém.

S a lantot is már-már kezembe vettem,
Hogy zengjek, ég áldását kérve rád,
Midőn a fa zúgni kezdett felettem,
S én elbámulva hallgatám szavát.”

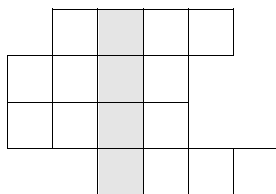
- Vadnai Károly
- Petőfi Sándor
- Tompa Mihály
- Más, éspedig:

2. Történelem

Évszám-keresztrejtvény. Mely dualizmus kori évszámokat rejtik az egyes sorok?

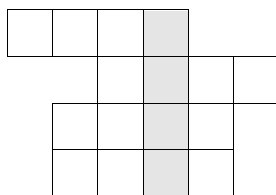
a)

- Vérvörös csütörtök
- Budapest egyesítése
- Aradi vértanúk kivégzése
- Októberi diploma



b)

- Kiegyezés
- Deák hűsvéti cikke
- Úrbéri pátens
- Zsebkendőszavazás



c)

Ha az a) megoldásban kapott, négy számjegű számból kivonod a b) megoldás ugyancsak négy számjegű számát, megoldásként egy évszámot kapsz.

Ehhez az évszámhoz Eötvös életében egy rendkívül fontos kísérleti mérés kapcsolható. Milyen találmányát alkotta meg ebben az esztendőben Eötvös Loránd?

3. Fizika

Tegyük fel, hogy mind a Föld, mind a Hold tökéletes körpályán kering a Nap, illetve a Föld körül, és ezek a pályák egy síkba esnek. (A valóságban a pályák ellipszisek és a Hold pályája körülbelül 5°-ban hajlik a Föld Nap körüli keringésének síkjához.) Mekkora a Hold Naphoz viszonyított sebességének legkisebb és legnagyobb értéke? Milyen fázisában veszi fel a Hold ezeket a sebességértékeket? Írd a helyes válasz betűjelét az üres négyzetbe!

A számítások egyszerűsítése miatt a Föld pályájának sugarát vegyük 150 millió km-nek, és tekintsük úgy, hogy a Hold a Földtől 384 000 km távolságban kering. A Föld keringési ideje 365,25 nap, a Hold 27,3 nap alatt kerüli meg a Földet.

a. A kerekített értékek 31 km/s, illetve 29 km/s. Legnagyobb sebességgel újhold, legkisebbel telihold idején halad a Hold a Naphoz képest.

- A kerekített értékek 31 km/s, illetve 29 km/s. Legnagyobb sebességgel telihold, legkisebbel újhold idején halad a Hold a Naphoz képest.
- A kerekített értékek 32,5 km/s, illetve 27,5 km/s. Legnagyobb sebességgel akkor halad a Hold a Naphoz képest, mikor az első negyedre eléri, legkisebbel az utolsó negyed állapotában.
- A kerekített értékek 32,5 km/s, illetve 27,5 km/s. Legkisebb sebességgel akkor halad a Hold a Naphoz képest, amikor az első negyedre eléri, legnagyobb az utolsó negyed állapotában.

4. Geofizika:

Eötvös eredményei közül a leghíresebb, amikor laboratóriumi mérésekkel 10^{-9} -es pontossággal állapította meg a tehetetlen

$$m = \frac{F}{a}$$

és a súlyos

$$m = G \frac{R^2}{fM}$$

tömegek azonosságát. Mi volt a mérési módszere? Írd a helyes válasz sorszámát az üres négyzetbe!

- Ugyanazzal a tömeggel súlymérést, valamint ejtési kísérletet is végzett. Az eredményeket összehasonlította.
- A torziós inga két, azonos tömegének anyagát mérésenként, szisztematikusan változtatta.
- Összehasonlító ejtő kísérleteket végzett eltérő anyagú, de azonos tömegű próbatestekkel.
- Azonos magasságból kalapácsot és tollat ejtett le, a földet érési időket mérte.

5. Életút

A táblázat kitöltésével tedd időrendi sorrendbe az alábbi eseményeket, amelyek Eötvös akadémiai működésével kapcsolatosak. Ha az eseményhez megadod a helyes évszámot is, plusz pontot ér.

- Eötvös Lorándot az MTA rendes tagjává választják.
- Az Akadémia nevében megkösorozza Kossuth Lajos koporsóját.
- Létrehozza a Bolyai-díjat.
- Az MTA elnökévé választja a közgyűlés.
- Első alkalommal, vendégelőadóként felolvassa tanulmányát a III. Matematikai és Természettudományi Osztály ülésén.
- Lemond az Akadémia elnöki tisztségéről.

1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		

Eötvös Loránd nevét egy kisbolygó is őrzi az égen. A 12301 Eotvos jelű kisbolygót 1991-ben fedezte fel Eric Walter Elst, belga csillagász a La Silla Observatóriumban, amely a chilei Atacama-sivatag peremén, Santiago de Chile városától 600 km-re északra, 2400 méteres magasságban helyezkedik el.

Milyen égitestek a kisbolygók? Írd a helyes válasz betűjelét az üres négyzetbe!

- Kisméretű, Föld-típusú bolygók.
- Kisméretű, rendszerint szabálytalan alakú, főleg kőzetanyagú égitestek.
- Kisméretű, gömb alakú égitestek.
- Kisméretű égitestek; csak a Nap közelében válnak láthatóvá, miután a napsugárzás hatására kómájuk és csóvájuk keletkezik.

Megoldások

1. Irodalom

d. Eötvös Loránd

2. Történelem

a) 9741

	1	9	1	2	
1	8	7	3		
1	8	4	9		
		1	8	6	0

b) 7850

1	8	6	7		
		1	8	6	5
	1	8	5	3	
	1	9	0	4	

c) 1891., Eötvös-inga / horizontális variométer

3. Fizika

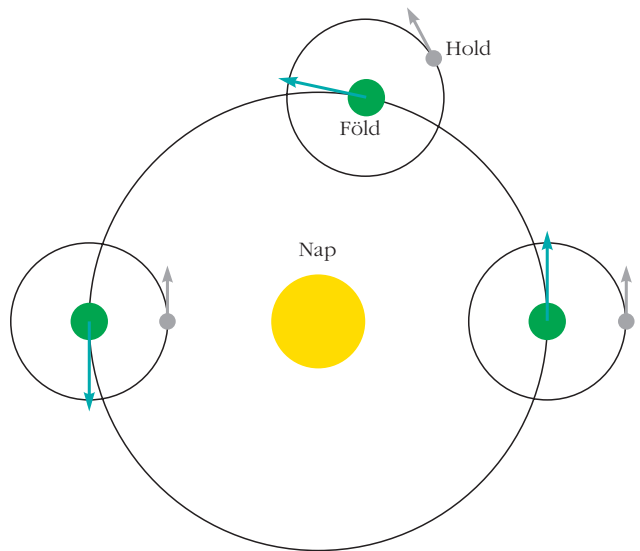
A Nap–Föld távolság, azaz a keringési pálya sugara, $R_F = 150$ millió km $= 1,5 \cdot 10^8$ km $= 1,5 \cdot 10^{11}$ m, és a Föld $T_F = 365,25$ nap $= 365,25 \cdot 86400$ s $= 3,15576 \cdot 10^7$ s alatt kerüli meg egyszer a Napot. Ezek alapján a Föld keringési sebessége meghatározható.

$$v_{\text{Föld}} = \frac{2 R_F \pi}{T_F} = 2,986 \cdot 10^4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 30 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

$R_H = 384\,000$ km $= 3,84 \cdot 10^8$ m, és a Hold $T_H = 27,3$ nap $= 2,35872 \cdot 10^6$ s alatt kerüli meg egyszer a Földet. Földhöz viszonyított sebessége ezért:

$$v_{\text{Hold}} = \frac{2 R_H \pi}{T_H} = 1,023 \cdot 10^3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 1 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

A Hold Naphoz viszonyított sebessége vektoriálisan tevődik össze a Föld Nap körüli keringési sebességéből és a Hold Föld körüli keringési sebességéből: a Hold együtt halad a Földdel a Nap körül, de még a



2. ábra. Szemléltetés a Hold Naphoz viszonyított sebességének meghatározásához.

Földhöz viszonyítva is „körbe-körbe szaladgál”. Mivel a Hold Föld körüli keringésének iránya megegyezik a Föld Nap körüli keringésének irányával, legnagyobb akkor lehet a Hold Naphoz viszonyított sebessége, amikor a két sebességvektor párhuzamos és egyirányú, legkisebb, amikor párhuzamos és ellentétes irányú (lásd az – egyáltalán nem méretarányos! – 2. ábrát): 31 km/s, illetve 29 km/s.

Ezeket a helyzeteket megnézve láthatjuk, hogy a Hold Naphoz viszonyított sebessége telihold környékén maximális, újhholdkor minimális, azaz a megoldás „b”.

4. Geofizika

Tehetetlen és súlyos tömeg azonossága: 2.

5. Életút

1.	e	1871
2.	a	1884
3.	d	1889
4.	b	1894
5.	c	1903
6.	h	1906

Kisbolygó jellemzője: „b”

SZÁMÍTUNK RÁD, LÉGY
MINKÉRT BARÁTJÁ!

LEGUTÓBB 916 000 FORINTTAL TÁMOGATTÁK
A TÁRSULAT MUNKÁJÁT, KÖSZÖNJÜK!

Adószámadó 1%-ával az Eötvös Társulatot!

Adószámunk: 19815644-2-43

AZ EÖTVÖS LORÁND FIZIKAI TÁRSULAT 2020. ÉVI KÜLDÖTTGYŰLÉSE

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat szeptember 12-én az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karának 1.75 konferenciatermében tartotta meg 2020. évi Küldöttgyűlését. *Sólyom Jenő* elnök az ülést 10 órakor megnyitotta, és bejelentette, hogy – mivel éppen a határozatképesség határánál vannak – az alapszabály értelmében az ülést 10 óra 30 percre újra összehívja, amikor az ülés a jelenlévők számától függetlenül határozatképes lesz.

A közbenső időben *Perneczky László*, az Atomenergia Kutatóintézet (KFKI AEKI) nyugalmazott tudományos munkatársa tartott egy – szokás szerint tartalmas és élvezetes – előadást *Eötvös Loránd a fotográfus nyomában a Dolomitokban (2003, 2008)* címmel.

A levezető Elnök megnyitója

Sólyom Jenő elnök az előadás után köszöntötte a jelenlévőket, és bejelentette, hogy a küldöttgyűlés határozatképes, sőt – amint az ellenőrzés során kiderült – valójában már fél órával korábban is a küldöttek több mint 50%-a jelen volt. Ezután megtartotta nyitó beszédét.

Küldöttgyűlés rendkívüli, hiszen azt a tavaszi koronavírus-járvány miatt kellett szeptemberre halasztani. A 2019-es év kiemelten sikeresnek mondható, részben az Eötvös-émlékév miatt, de ettől függetlenül is nagyon sok minden történt az elmúlt évben, amelyekről a főtítkári beszámoló részletesen is szól. A Küldöttgyűlés egyik fontos feladata, hogy elfogadja a Közhasznúsági beszámolót. A 102/2020. (IV. 10.) Kormányrendeletben leírtak alapján a koronavírus okozta veszélyhelyzet lehetőséget adott, hogy az éves pénzügyi beszámolót és költségtervet a Társulat Elnöksége és Felügyelőbizottsága fogadja el, és azt a veszélyhelyzet megszűnését követően, 90 napon belül összehívandó Küldöttgyűlés napirendjére tűzze ismertetésre, jóváhagyásra. A Küldöttgyűlés másik fontos feladata a jövő évi tisztújítás előkészítése. A Küldöttgyűlés harmadik lényeges eseménye az elmaradt díjátadók pótlása – a társulati díjak és egyéb versenyek díjainak kiosztása. Bőven akadnak feladatok, viszont a vírus-helyzet miatt arra kért minden megszólalót, hogy azt lehetőleg ütemesen tegye meg.

A megnyitó után a Küldöttgyűlés egyhangúlag elfogadta a napirendet, felkérte a Szavazatszámoló Bizottságot (*Borbély Venczel, Petrányi János, Seres István*) és a jegyzőkönyv-hitelesítőket (*Zubonyainé Pelka Zsuzsanna, Pónya Melinda*).

Főtítkári beszámoló

Groma István főtítkár akadályoztatása miatt az előző főtítkár, az elnökség tagja, *Újfalussy Balázs* terjesztette elő a főtítkári beszámolót.

Gazdálkodási, számviteli beszámoló

A 2019-es év – az Eötvös-émlékévhez köthető eredmények és a GIREP konferencia miatt – financiálisan is rendkívül sikeres volt. Ezeknek is köszönhetően a Társulat vagyona 13 395 000 Ft-ra gyarapodott. A tárgyévben az összes bevétel 88 823 000 Ft, az összes kiadás 82 078 000 Ft, így az eredmény 6 745 000 Ft volt.

Magánszemélyek tagdíjából 5 635 000 Ft, a személyi jövedelemadó 1%-ából 916 000 Ft bevétel keletkezett – mindkettő emelkedett az előző évhez képest.

Vissza nem térítendő pályázatok eredményeként összesen 8 710 000 Ft keletkezett, amihez az Emberi Erőforrások Minisztériumától 2 800 000 Ft, a Magyar Tudományos Akadémiától 4 150 000 Ft, a Nemzeti Kulturális Alaptól 1 760 000 Ft érkezett.

Jogi és pártolói tagdíjakból – MVM Paksi Atomerőmű Zrt., Wigner FK RMI, Wigner FK SZFI, Izotóp Intézet Kft., ELI-HU Nonprofit Kft., Energiatudományi Kutatóközpont, EK MFA, Semilab Zrt., B&T Service Kft., Mirrotron Kft. – összesen 2 040 000 Ft származott.

További adományozóktól, támogatóktól, külön megemlítve a 100 000 Ft-ot meghaladókat – Paks II. Atomerőmű Zrt., National Instruments, két magánszemély, Europhysics Letters surplus, MVM Paksi Atomerőmű Zrt., Ericsson Magyarország Kft., MVM Zrt., ALTEO Nyrt., Debreceni Önkormányzat, Richter Geodeon Nyrt., Bay Zoltán Nonprofit Kft., Ecole Polytechnique Laussane, Novofer Alapítvány, Alcufer Ipari Kft. –, összesen 16 906 000 Ft-tal gyarapodott a Társulat.

A 2020. évi költségterv

Eredmény összesen: 8 013 000 Ft, ha az IRPA2022 konferencia miatt görgetendő 6 320 482 Ft-ot nem számítjuk bele, akkor 1 692 215 Ft lenne a terv eredménye.

A gazdálkodásunk (bevételünk) egy igen nagy része a *Fizikai Szemle*, amelyet a tagok tagdíj fejében kapnak. Fontos megemlíteni, bár nem a 2019-es évhez kapcsolódik, hogy a Covid-19 első hulláma alatt (2020. március–június) a veszélyhelyzet idején a Társulat a *Fizikai Szemle* internetes változatát mindenki számára ingyen tette elérhetővé. A *Fizikai Szemle*

előfizetések egyre inkább az elektronikus előfizetés irányába tolnak el. Külön kell venni az alaptevékenységet és a vállalkozási tevékenységet. A *Fizikai Szemle* a vállalkozási részhez tartozik.

Tartalmi beszámoló a közhasznú tevékenységről

Tudományos tevékenység, kutatás

A tudományos tevékenység és kutatás területén a tudományos eredmények közzétételének, azok megvitatásának színteret adó tudományos konferenciák, iskolák, előadóülések, valamint más tudományos rendezvények szervezése és lebonyolítása tartozik ide. A 2019-es évből kiemelendők a Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam (220 fő, Hajdúszoboszló), a három évenként megrendezésre kerülő Magyar Fizikus Vándorgyűlés (190 fő, Sopron), a Fizikus Doktoranduszok Országos Konferenciája (DOFFI, 30 fő, Balatonfenyves), a Fizika Mindenkié rendezvény (országos), és a legnagyobb tavalyi rendezvény, a GIREP Nemzetközi Fizikaoktatási Konferencia (318 fő, Budapest).

További feladat volt a területi és szakcsoportok által szervezett előadások, bemutatók, kiállítások lebonyolítása, például a részecskefizikai szemináriumok, a Kutatók Éjszakája, a magfizikus klubdelutánok, az Ortvay Kollokvium, a Statisztikus Fizikai Nap, az Elméleti Fizikai Szeminárium és az Egy Kis Esti Fizika.

2019-ben tartottuk az *Eötvös Loránd* halálának 100. évfordulója alkalmából megszervezett emlékévet. Több rendezvény szervezésébe kapcsolódunk be, valamint a *Fizikai Szemle* is 21 írással emlékezett meg a Társulat névadójának tevékenységéről.

Szakmai folyóiratok, kulturális örökség megóvása

A Társulat havonta megjelenő folyóirata, a *Fizikai Szemle* a 2019. évben a 69. évfolyamába lépett. A többség az újságot most már pdf-formában kéri. Az elektronikus változatban az ábrák színesek, a nyomtatott lapban a videók, képek alkalmas eszközzel akár QR-kód leolvasásával is megnyithatók. Ígye szűnk bővíteni a *Szemle* honlapját, érdekesebbé és informatívabbá tenni, ahol extra anyagok is elérhetőek.

A *Középiskolai Matematikai és Fizikai Lapok* társlajdonosaként vesz részt annak megjelentetésében.

Rendszeresen koszorúzzuk fizikus nagyjaink síremlékeit. Megemlíthetjük Eötvös Loránd emléktáblájának, *Simonyi Károly* emléktáblájának és *Marx György* síremlékének koszorúzását stb.

Tehetség gondozás, képességfejlesztés, ismeretterjesztés

A Társulat tehetség gondozást elsősorban az általa szervezett versenyeken keresztül folytat. Ezek megmérettetési lehetőséget kínálnak a középiskolás diákoknak, illetve egyetemi hallgatóknak. 2019-ben több mint 10 versenyt rendeztünk, volt olyan, ahol a hallgatók száma a több száz főt is meghaladta.

Országos jellegű fizikaversenyeink: Eötvös-fizika verseny, Öveges József-fizikaverseny, Ortvay-verseny, Szilárd Leó-fizikaverseny, Mikola-verseny, Budó Ágoston Fizikai Feladatmegoldó Verseny, Bay Zoltán-ver-

seny, Varázstorony vetélkedő, Játsszunk Fizikát verseny, Hatvani István-fizikaverseny stb.

Illetve fontos megemlíteni Eötvös Loránd halálának 100. évfordulója alkalmából rendezett online csapatversenyt, amelynek döntője tavaly novemberben az MTA Dísztermében volt. A Társulatnak működik egy tehetségpontja is, ahol alkalmoszerűen lehet tartani különböző foglalkozásokat.

Köznevelés, tanártovábbképzés

A tanártovábbképzés a Társulat oktatási szakcsoportjai, valamint a területi csoportok szervezésében folyik. Ennek legfontosabb helyszíne az akkreditált továbbképzésként elismert Országos Fizikatanári Anket és Eszközbemutató, amelynek 2019-ben Debrecen adott otthont. 2019-ben kiutaztattuk Portugáliába a Science on Stage nemzetközi fesztivál előválogatóján továbbjutott fizikatanárokat, illetve részt vettünk a myDAQ pályázatban és az Ericsson-díjjal és a Rátz Tanár Úr Életműdíjjal jutalmazott tanárok kiválasztásában.

A Társulat vezető tisztségviselőiben nem volt változás, e Küldöttgyűlés feladata, hogy a Jelölőbizottság megújításáról szavazzon.

A 2020-as költségvetési terven láthatjuk a tervezett bevétel és kiadási pontokat. A 2019-es év bevétel szempontjából rendkívül kiugró év volt, annak megismétlésére idén sajnos nincs lehetőség, hiszen szinte minden rendezvény elmaradt és idén nincs Eötvös-emlékév sem. A Sugárvédelmi szakcsoport előreláthatóan 2022-ben szervezi az IRPA Nemzetközi Konferenciát. Annak anyagi forrásai már ebben az évben beérkeztek az előző szervezőktől, de azokat tovább kell görgetni 2022-re, ezért tűnik kiugróan magasnak az eredmény. Ha az IRPA2022 konferencia miatt görgetendő 6 320 482 Ft-ot nem számítjuk bele, akkor a terv eredménye 1 692 215 Ft.

Sólyom Jenő megköszönte a beszámolót és felkérte a Felügyelőbizottság elnökét, hogy terjessze elő jelentését.

A Felügyelőbizottság jelentése

A Bizottság jelentését *Theisz György* ismertette, aki tájékoztatást adott a jelenlegi helyzetről. A jelentés a következő:

„A 102/2020. (IV. 10.) Korm. rendelet Társulatra vonatkozó és vonatkoztatott részei alapján a számviteli törvény szerinti beszámolóról az ügyvezetés (Elnökség) a Felügyelő Bizottság írásbeli jelentésének birtokában döntött.

Ugyanez a rendelet előírja, hogy e rendelet szerint meghozott döntést a veszélyhelyzet megszűnését követő legfeljebb 90. napra összehívandó rendkívüli döntéshozó szervi ülés (Küldöttgyűlés) napirendjére kell tűzni. A veszélyhelyzet – a jogszabály aznap esti kihirdetése után – 2020. június 17-én éjfélkor megszűnt. Ez azt jelentette, hogy a megszűnést követő első nap június 18. Tehát a Küldöttgyűlést legkésőbb

szeptember 15-én kell megtartani. Ez csak egy újabb rendkívüli helyzet (vis maior) miatt módosulhat.

A Társulat Elnöksége ezeknek a feltételeknek teljes mértékben eleget tett.

A 2020. szeptember 12-én tartandó Rendkívüli Küldöttgyűlésen a Küldöttgyűlés kétféle döntést hozhat. Elfogadja a beterjesztett dokumentumokat, és ezzel visszaáll az Alapszabály szerinti működési rend. A Küldöttgyűlés dönthet úgy is, hogy a beterjesztett dokumentumokat (például a működés vagy a Társulat céljaival való összeegyeztethetlenségük miatt) nem tartja jogszerűnek, ezért nem fogadja el, és az Elnökséget korrekcióra kötelezheti, például egy önellenőrzési eljárás keretében. Ezzel természetesen vissza is állítja az alapszabály szerinti működési rendet.

A Felügyelőbizottság az Elnökség számára készített, és a küldötteknek már eljuttatott jelentésében a számviteli törvény szerinti beszámolót megalapozó dokumentumokat – és a saját jelentését is – elfogadásra ajánlja.

A Felügyelőbizottság most készített jelentése szerint az Elnökség az aktuális jogrend szerint járt el, így – a Felügyelőbizottság e jelentésével együtt – ezt az eljárást is elfogadásra ajánljuk.”

Vita és nyílt szavazás a főtítkári beszámolóról és a felügyelőbizottsági jelentésről

Sólyom Jenő megköszönte a jelentést és megnyitotta a vitát a főtítkári beszámolóról, illetve a Felügyelőbizottság jelentéséről, azonban hozzáfűzés nem érkezett a hallottakhoz.

A Küldöttgyűlés egyhangúlag elfogadta a Felügyelőbizottság jelentését, majd ugyanilyen arányban a főtítkári beszámolót is. Ezzel a Küldöttgyűlés tudomásul vette azt az eljárási rendet, hogy az Elnökség beadta a beszámolót, amit a Küldöttgyűlés megerősített, továbbá az Elnökség szabályosan járt el májusban.

Elnök úr elmondta, hogy a Társulat működése rendkívül nehézkessé vált a veszélyhelyzet miatt, hiszen szinte minden rendezvény, konferencia elmaradt. Mivel az elhangzottakhoz továbbra sem volt senkinek hozzáfűzni valója, továbbhaladhattak a következő napirendi pontra.

Javaslat a Jelölőbizottság személyi összetételére

2021-ben általános tisztújításra kerül sor, amit a Jelölőbizottságnak kell előkészítenie, az ügyrend szerint mindig a tisztújítás előtti évben új Jelölőbizottságot kell választani. A korábbi Jelölőbizottság ugyan meg-

újítható lett volna, de többen jelezték, hogy elfoglaltságaik miatt e munkában nem szeretnének részt venni. Ezért az Elnökség a következő személyeket javasolja: *Rácz Zoltán* (elnök), *Cserti József*, *Erdélyi Miklós*, *Miltner Tímea*, *Szénási Istvánné* (tagok).

Újabb javaslat nem érkezett, a Küldöttgyűlés egyhangúlag elfogadta, hogy a javasolt személyek kerüljenek a szavazólistára. Így lezajlott a szavazás, amit rövid szünet követett. A szünet alatt a szavazatszámológókat összesítették az eredményt. A leadott szavazatok szerint a küldöttek egyhangúlag elfogadták a Jelölőbizottság új összetételét.

A Társulat díjainak átadása

A szünet után Sólyom Jenő és a díjbizottság elnöke, *Kamarás Katalin* adta át a társulati díjakat.¹ Bozóky László-díjat *Deme Sándor*, Budó Ágoston-díjat *Lenk Sándor*, Jánossy Lajos-díjat *Pásztor Gabriella*, Gyulai Zoltán-díjat *Temleitner László*, Schmid Rezső-díjat *Kutasi Kinga* érdemelte ki. Prométheusz-díjban *Jarosievtz Beáta*, Marx György Felsőoktatási Díjban *Kovács László*, Mikola Sándor-díjban *Szabó László Attila* és *Tóth Pál* részesült. A *Fizikai Szemle* Nívódíját *Bokor Nándor* (tanítási) és *Patkós András* (általános kategória) érdemelte ki. Gratulálunk a díjazottaknak.

A küldöttgyűlés adott alkalmat A XXX. Öveges József Kárpát-medencei Fizikaverseny, valamint myDAQ pályázat eredményhirdetésére és díjátadójára is.

Zárszó

A Küldöttgyűlés zárásaként Sólyom Jenő elmondta, hogy nagyon nehéz időszakon vagyunk, van túl a Társulat, és sajnos látszik, hogy a folytatása még előttünk áll. Nem tudhatjuk, miként fog működni a Társulat a közeljövőben, hiszen rendezvényeket továbbra sem lehet tartani. Reményét fejezte ki, hogy a társulati élet, ha megváltozott módon is, de folytatódik. Online versenyekben már nagy tapasztalatra tettünk szert, tehát ennek segítségével sok minden megszervezhető, a Társulat tevékenységét a vírus nem állíthatja meg. Azon kitüntetetteknek, akik a Küldöttgyűlésre nem tudtak eljönni, a megérdemelt díjakat eljuttatják. Bizakodva abban, hogy a jövő évi májusi Küldöttgyűlés már nyugodtabb körülmények között tartható meg, megköszönte a Küldöttgyűlésen való megjelenést, a Bizottságok munkáját, majd mindenkinek jó egészséget kívánva bezárta az ülést.

¹A díjazottakat következő számunkban mutatjuk be.

