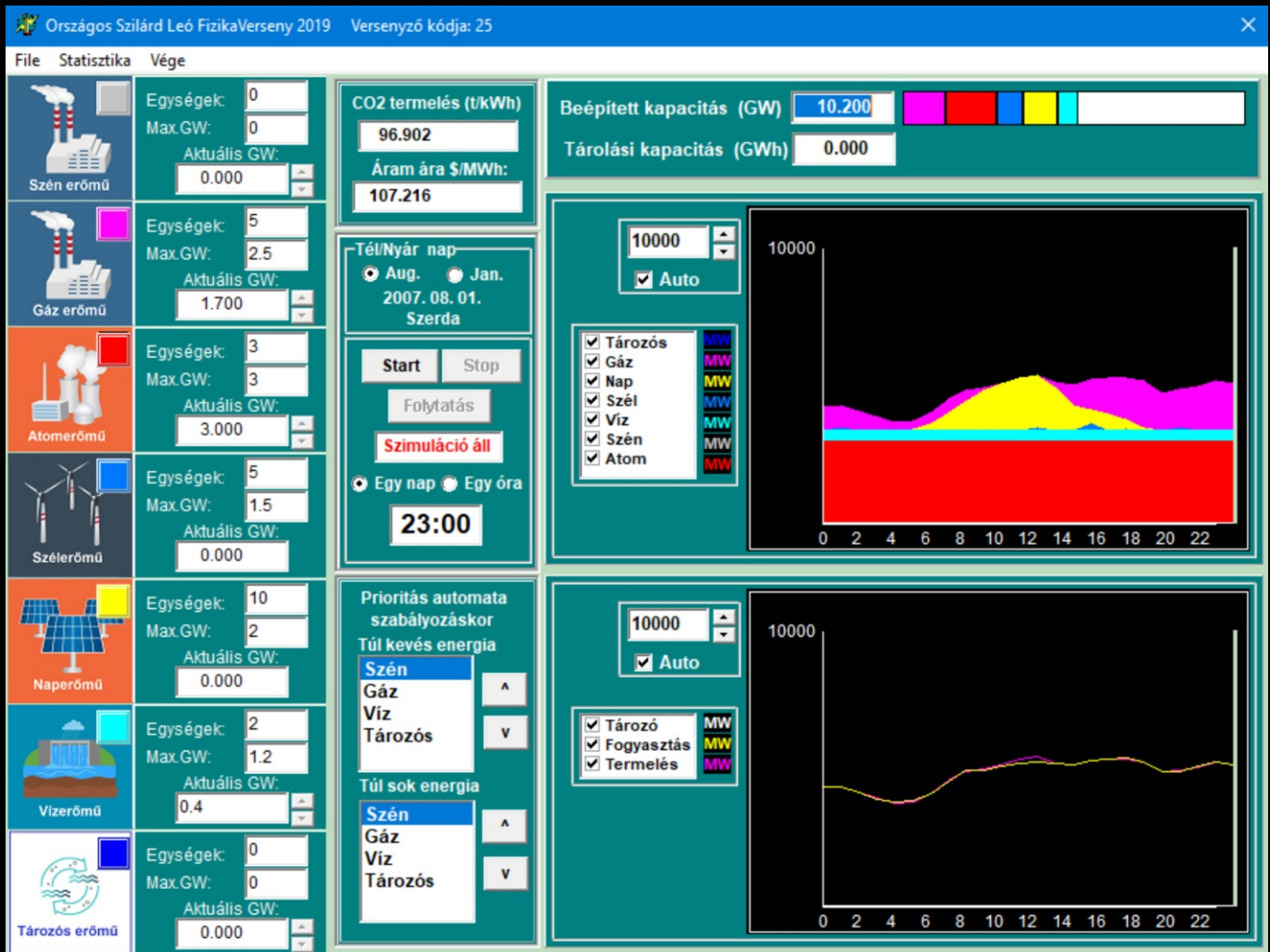


fizikai szemle



2020/10



A koronavírus-járvány miatt
a nagyszerű GIREP-konferenciasorozat következő eseménye
2020. november 16. és 18. között

GIREP WEBINAR 2020

címen, Zoom platformon tartandó online konferencia lesz.

A konferencia honlapja:

<https://www.um.edu.mt/events/girep>

A konferencia témái:

<https://www.um.edu.mt/events/girep/GIREPWEBINAR2020/webinartopics>

A konferencián részt vehetnek: kutatók, tanárok, doktoranduszok és egyetemi hallgatók.
Minden tag, akár új belépő részére is – belépés: <https://girep.org/register.html> –
a konferencia költsége rendkívül alacsony – **csak 40 euró** –, **tanároknak ingyenes!**

Határidők:

A kivonatok beküldése előadóknak: **2020. október 10.**

Jelentkezés és részvételi díj átutalása: **2020. november 5.**

A szervezők reményei szerint 2021-ben
személyes konferenciát is tarthatnak Máltán, az egyetemen.

A konferencia fő szervezői:

- GIREP (Groupe International de Recherche sur l'Enseignement de la Physique)
az általános és középiskolában tanító tanárok, fizikusok, kutatók, oktatáspolitikusok egyesülete.
- University of Malta, Faculty of Education és Faculty of Science

honlap



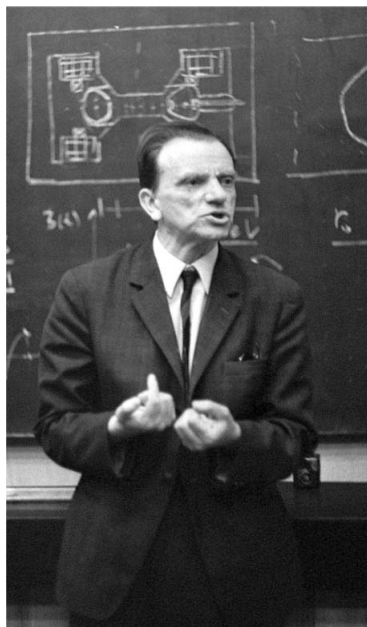
MPTL
Multimedia in Physics
Teaching and Learning



L-Università
ta' Malta

témák





Simonyi Károly

FIZIKATÖRTÉNET

Ezen számunk elején egy több cikkből álló összeállítással Pál Lénárd emléke előtt tisztelgünk halálának első évfordulóján. Az írásokból remélhetőleg azok számára is kirajzolódik Pál Lénárd alakja, akik személyesen nem találkoztak vele. Egyetemi tanárként igényes, korszerű ismereteket feldolgozó előadásaival és az általa vezetett szemináriumokkal az Eötvös Egyetemen számos évfolyam fizikushallgatóinak formálta meghatározó módon a gondolkodásmódját, sokaknak a pályafutását is. 1953-tól a KFKI vezető kutatójaként, majd a 70-es évektől kezdve, az azóta megszűnt intézmény legeredményesebb korszakában, igazgatójaként tevékenykedett. Kutatóként a fizika több területén ért el kiemelkedő eredményeket. Később, a rendszerváltás előtti időszakban széles látókörű tudománypolitikusként játszott jelentős szerepet, majd visszatért a kutatáshoz. Tevékenysége minden kétségen felül az 1945 utáni magyarországi fizikatörténet, sőt tudománytörténet egy jelentős fejezete.

És ha már fizikatörténetet emlegettem, mostani számunk »VÉLEMÉNYEK« rovatában közöljük fiatal kollégánk, Szabó Róbert írását, amelyben a fizika történeti megközelítését javasolja a fizikaoktatásban, mint egy alternatív tanítási lehetőséget. Ez a javaslat némileg összecseng Radnóti Katalinnak lapunk 2020/7–8-as számában megjelent *A fizikaoktatás kálváriája a rendszerváltozással kezdődően* címet viselő, sok értékes adatot is tartalmazó véleménycikkével, amely szerint a fizikaoktatás „legyen kevésbé kvantitatív, inkább leíró jellegű. ... A kvantitatív leírások is inkább mérések legyenek, amelyeket például Excelben ábrázolnak a diákok. ... Sokkal több leíró jellegű szöveg kell. A fizikai tartalmak történetekbe ágyazottak legyenek. ... A tudósok életrajzán keresztül ... [lehetne] bemutatni a tudományos megismerési folyamatot.” (Magam is nagyon szeretem a fizikatörténetet, nagy hatással voltak rám Simonyi Károlynak a fizika kultúrtörténetéről a múlt század hetvenes éveiben az ELTE-n tartott előadásai. Ezek az este fél hatkor kezdődő előadásokon a Trefort-kerti TTK főépületének nagy fizika előadóterme, a 200 fős XI-es terem, többször úgy megtelt, hogy állóhelyet is alig lehetett találni. Simonyi nem használt kivetítőt, ábráit filctollal írta az akkor kapható legnagyobb méretű, barnás árnyalatú csomagolópapírokra, amelyeket a táblára rögzített.) Hát igen, lehetséges, hogy ez a humánosabb fizikaváltozat népszerűbb lenne a tanulók körében, és kétségtelen, hogy az is előrelépés lehet, ha azok a diákok is legalább hallanak a fizika nagy tudósairól, akik nem értik, és nem is akarják megérteni, hogy mit alkottak. A gond az, hogy az ilyen ismeretek nagyrészt gyorsan feledésbe merülnek, és nem adnak semmi olyan kompetenciát, amit a humán tárgyak tanulásával ne szerezhetnének meg a tanulók. Ugyanakkor egyetértek azzal, hogy fontos (lenne), hogy a nagy fizikusok történetét, de legalább a nevét hallják a tanulók, de ez a felfedezések lényegének megértése nélkül nem sokat ér. Simonyi előadásainak, és a később azok nyomán született könyvének nem véletlenül *A fizika kultúrtörténete* a címe. A *Fizikai Szemle* olvasói számára gondolom evidencia, hogy a fizikai felismerések az emberiség kultúrájának fontos elemei, a fizika nagy alkotóinak és alkotásaiknak ismerete ugyanolyan fontos része a műveltségnek, mint az irodalom, a zene vagy a képzőművészet alapvető értékeinek ismerete. Tehát érdemes elmesélni például, hogy a könyvkötősegéd Faraday miként lett autodidakta módon a kultúrtörténet egyik legnagyobb alakja, de azért tanítsuk meg az áram mágneses hatását és az elektrolízist is, kvantitatív módon.


Lendvai János
főszerkesztő

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:

A 22. Országos Szilárd Leó Fizikaverseny döntőjének szimulációs programja, lásd Sükösd Csaba írását a 360–363. oldalakon.

TARTALOM

Lendvai János: Fizikatörténet	329
Pál Lénárd (1925–2019) <i>Egy éve hunyt el Pál Lénárd akadémikus, a szilárdtest- és a neutronfizika kiemelkedő kutatója, a magyar tudománypolitika meghatározó személyisége a 20. század második felében.</i>	
Sólyom Jenő: Pál Lénárd és a hazai szilárdtest-fizikai kutatások	331
Pázsit Imre: Nem halványuló emlékeim Pál Lénárdról	334
Nagy Dénes Lajos: Pál Lénárdról szubjektíven	337
Horváth Dezső: Pál Lénárd, egyetemi professzorom és intézeti igazgatóm	339
Pál Lénárd és a Fizikai Szemle	340
Kálmán Orsolya, Kiss Tamás: Nemlineáris kvantumprotokollok viselkedése zaj jelenlétében <i>A kvantuminformatika ideálisan zajmentes esetben működik, ezért a zaj szerepének megértése kulcsfontosságú a kvantuminformatikai rendszerekben.</i>	340
VÉLEMÉNYEK	
Szabó Róbert: A fizika történeti megközelítésének didaktikai szempontjai a fizikaórán <i>A szerző szerint eredményesebb lehetne a fizikaoktatás, ha történeti szemlélettel tanítanánk.</i>	345
A FIZIKA TANÍTÁSA	
Ujvári Balázs, Borbélyné Bacsó Viktória, Pirint Róbert Olivér, Szabó Dániel Dénes: Felhőben az egészségünk <i>A Debreceni Egyetem Fizikai Innovációs Kutatóműhelyében a 2019/2020-as tanévben, a járvány miatt bevezetett digitális munkarend idején is 14 témakörben végezhetek kutatást középiskolás tanulók.</i>	349
Pallag István, Halmos Balázs, Gergely Csongor: A koppanás hangjától az optikai fésűig – a pontos időmérés bővületében <i>A 2019/20-as ELFT–NI myDAQ pályázat egyik díjazott pályaműve.</i>	355
Sükösd Csaba: A 22. Országos Szilárd Leó Fizikaverseny – 3. rész <i>A nukleáris technológia iránti érdeklődés fokozását szolgáló verseny feladatainak és azok megoldásának ismertetése.</i>	360
Holics László: Fizikaoktatásunk margójára <i>Egy, a fizikaoktatásban elterjedt téves állítás helyreigazítása.</i>	363

J. Lendvai: History of physics

Pál Lénárd (1925–2019)

J. Sólyom: Lénárd Pál and the solid state physics research in Hungary

I. Pázsit: My non-fading memories of Lénárd Pál

D. L. Nagy: On Lénárd Pál, subjectively

D. Horváth: Lénárd Pál, my university professor and institute director

L. Pál and the Hungarian Physical Review

O. Kálmán, T. Kiss: Behavior of nonlinear quantum protocols in the presence of noise

OPINIONS

R. Szabó: Didactic aspects of the historical approach to physics in physics teaching

TEACHING PHYSICS

B. Ujvári, V. Borbély-Bacsó, R. O. Pirint, D. D. Szabó: Our health in the cloud

I. Pallag, B. Halmos, Cs. Gergely: From the sound of the impact to the optical comb – in the magic of accurate time measurement

Cs. Sükösd: The 22nd Szilárd Leo National Nuclear Study Competition – Part 3

L. Holics: On the margin of our physics education



PÁL LÉNÁRD ÉS A HAZAI SZILÁRDTEST-FIZIKAI KUTATÁSOK

Sólyom Jenő
ELTE és Wigner FK

A 95 évvel ezelőtt született és egy éve elhunyt Pál Lénárd tudományos érdeklődése elsősorban két területet ölelt fel: egyrészt a szilárdtest-fizikát, abban is különösen a mágneseséget, másrészt a reaktorfizikát, a stochasztikus jelenségek leírását. Az utóbbihoz kapcsolódó munkásságáról, érdemeiről a következő cikk szól a jelen számban.

Pál Lénárd érettségije után két évig a József nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem tanárképző intézetének volt a hallgatója, majd 1945 őszén beiratkozott a Pázmány Péter Tudományegyetem Bölcsészettudományi Karára, ahol néhány matematikai előadás mellett elsősorban kémiai és fizikai tárgyakat hallgatott. Anyakönyvi lapja szerint az első félévben (1. ábrán balra) nemcsak a *Békésy György* neve alatt meghirdetett *Fizikai méréseket* vette fel (ez a bejegyzés hátoldalán található), hanem *Bay Zoltán* és *Gombás Pál* *Atomfizika*, valamint *László Zoltán* *Bevezetés az anyag korpuszkuláris elméletébe* című előadását is. A második félévben (1. ábrán jobbra) több más fizikai tárgyú előadás között hallgatta a *Novobátszky Károly* által előadott *Elektrodinamikát*, a további félévekben pedig ugyancsak nála a *Mechanika*, a *Optika*, a *Kvantummechanika* és a *Speciális relativitáselmélet* előadásokat.

1949-ben vegyész oklevelet szerzett, de a fizika jobban érdekelt, az egyetem Gyakorlati Fizikai Intézetében lett tanársegéd. Amikor 1950 augusztusában *Jánossy Lajos* családjával hazatelepedett Írországból, *Fenyves Ervinnel*, *Haiman Ottóval* és *Ádám Ándrással* együtt ő is ott volt azok között, akik Lillafüreden



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.

II. A választott előadások		Heti óra
A tanár neve...	<i>Dr. György Gyula</i>	5
Tantárgy...	<i>Fizikai Kémia</i>	
A tanár neve...	<i>Dr. Bay Zoltán</i>	3
Tantárgy...	<i>Kémiai technológia</i>	
A tanár neve...	<i>Dr. Bay Zoltán</i>	3
Tantárgy...	<i>Kém. technológia</i>	
A tanár neve...	<i>Dr. László Zoltán</i>	3
Tantárgy...	<i>Bevezetés az anyag korpuszkuláris elméletébe</i>	
A tanár neve...	<i>Dr. Bay Zoltán</i>	3
Tantárgy...	<i>Atomfizika</i>	
A tanár neve...	<i>Dr. László Zoltán</i>	2
Tantárgy...	<i>Fizika az anyag korpuszkuláris elméletébe</i>	
A tanár neve...	<i>Dr. László Zoltán</i>	3
Tantárgy...	<i>Fizika az anyag korpuszkuláris elméletébe</i>	
A tanár neve...	<i>Dr. László Zoltán</i>	2
Tantárgy...	<i>Atomfizika</i>	
A tanár neve...	<i>Dr. László Zoltán</i>	1
Tantárgy...	<i>Termékdinamika</i>	

II. A választott előadások		Heti óra
A tanár neve...	<i>Dr. György Gyula Tibor</i>	5
Tantárgy...	<i>Fizikai Kémia</i>	
A tanár neve...	<i>Bay Zoltán</i>	3
Tantárgy...	<i>Kémiai technológia</i>	
A tanár neve...	<i>Novobátszky Károly</i>	4
Tantárgy...	<i>Elektrodinamika</i>	
A tanár neve...	<i>Bay Zoltán</i>	3
Tantárgy...	<i>Atomfizika</i>	
A tanár neve...	<i>Müller Sándor</i>	2
Tantárgy...	<i>A mágneses tér és az optika</i>	
A tanár neve...	<i>Pál Lénárd</i>	6
Tantárgy...	<i>Speciális relativitáselmélet</i>	
A tanár neve...	<i>Fényfizika</i>	2
Tantárgy...	<i>Optika</i>	
A tanár neve...	<i>Pál Lénárd</i>	2
Tantárgy...	<i>Speciális relativitáselmélet</i>	
A tanár neve...	<i>Richter István</i>	2
Tantárgy...	<i>Elektrodinamika</i>	
A tanár neve...	<i>Fényfizika</i>	1
Tantárgy...	<i>Optika</i>	

1. ábra. A Pál Lénárd által felvett tárgyak az 1945–46-os, illetve az 1946–47-es tanév első félévében a Pázmány Péter Tudományegyetem anyakönyvében (ELTE Levéltár).

felkeresték Jánossyt, hogy – mint a leendő kutatócsoport tagjai – a kozmikus sugárzási vizsgálatok hazai újraindításáról beszéljenek vele.

Élete azonban másképp alakult. Egyetlen fizikusként ő is tagja annak a csoportnak, amelyik 1950 őszén a Szovjetunióba utazott, hogy aspirantúra keretében ott készüljön fel a tudományos pályára. Jánossy azt szerette volna, hogy a Kaukázusban folyó kozmikus sugárzási vizsgálatokba kapcsolódjon be. *Szamosi Géza* viszont – aki az Elméleti Fizikai Intézet tanársegédje volt, és aktív szerepet játszott a KFKI létrehozásának éppen akkor a megvalósulás küszöbéhez érkezett folyamatában – azt tanácsolta, hogy magfizikával, a részecskegyorsítók fizikájával foglalkozzon. Ezek az elképzelések azonban nem valósulhattak meg. A két ország kapcsolatában a „testvériség” mellől hiányzott a bizalom. A magfizikai kutatásokat, még a kozmikus sugárzás vizsgálatát is szigorúan titkosnak nyilvánították, külföldit még azok közelébe sem engedtek. Így Pál Lénárdot végül – az MTA Matematikai és Fizikai Tudományok Osztálya vezetőségének beleegyezésével – a Lomonoszov Egyetemre irányították, ahol *Nyikolaj Szergejevics Akulov* (1900–1976) professzor mellett ferromágnességgel, a mágneses anizotropiával, illetve rendeződő ötvözetekben a rendeződés kinetikájával és a rendeződésnek a mágneses tulajdonságokra gyakorolt hatásával kezdett foglalkozni.



2. ábra. Nyikolaj Akulov csoportja a Lomonoszov egyetemen 1953-ban. A nyakkendőös Pál Lénárd Akulov mögött áll [1].

ni. Akulov (2. ábra) a mágneses anizotrópia nemzetközileg elismert kutatója volt.

Az egyetemen kedvtelésből hallgatta *Kolmogorov* valószínűségszámítási előadásait. Talán azért is, mert az ötvenes évek elején maga Akulov is sokat foglalkozott a láncreakciók matematikai elméletével. Ez a téma és az ott megtanult módszerek olyan mély benyomást tettek Pál Lénárdra, hogy életében többször is vissza-visszatért – különösen a KFKI-ba telepített kísérleti atomreaktor beindulása idején, majd nyugdíjas éveiben – a stochasztikus folyamatok vizsgálatához, elsősorban a reaktorokban lejátszódó láncreakciók elméleti leírásához. Egyébként élete első cikkét is, még moszkvai évei alatt, a kandidátusi értekezéséhez nem kapcsolódó témáról, véletlenszerű folyamatokban fellépő fluktuációk problémájáról írta. Hazatérte után azonban a mágneses anyagok kutatásának beindítását várták el tőle.

1953 őszén, a fizikai tudományok fiatal kandidátusát a Ferromágneses – a KFKI terveiben eleinte Fémfizikaként szereplő – Osztály vezetésével bízták meg. A gyakorlatilag 1954 elején néhány fővel induló – ideiglenesen a mai VI. épületben helyet kapott – osztály kutatási témaként a ferromágneses anyagok anizotrópiája hőmérsékletfüggésének elméleti és kísérleti vizsgálatát, valamint a ferritek váltakozó mágneses térben való viselkedésének tanulmányozását tűzte ki célul maga elé. Az osztály munkatársainak maguknak kellett megépíteniük a mágneses mérésekhez szükséges nagyterű szolenoidot és a szuszceptibilitásmérőt, de maguk állították elő a vizsgálandó anyagmintákat is.

Pál Lénárd életében nagy kihívást jelentett, hogy 1955-ben – mivel az intézet vezető munkatársai közül egyedül ő tudott jól oroszul, és meg tudta érteni az orosz nyelvű dokumentációkat – őt bízták meg a Szovjetuniótól vásárlandó kísérleti atomreaktor felépítésével és tudományos hasznosításával kapcsolatos munkák irányításával. 1956-ban az intézet

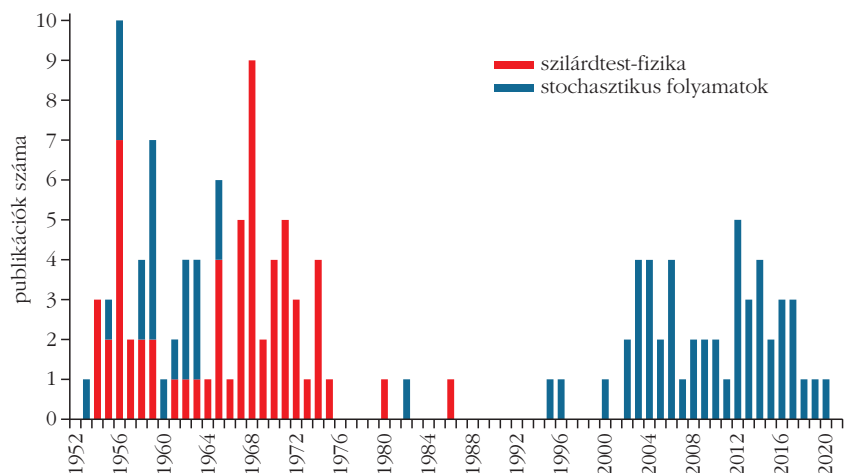
igazgatóhelyettese is lett. Az elkövetkező években a kísérleti atomreaktorral kapcsolatos szervezési munkákkal párhuzamosan Pál Lénárd tudományos munkássága is ebbe az irányba fordult. Amint a 3. ábrán látjuk, publikációinak témái ekkor inkább a hasadási folyamatokban megfigyelhető stochasztikus jelenségekkel voltak kapcsolatosak. Azonban az ötvenes évek második felében, a hatvanas évek elején is jelentek meg szilárdtest-fizikai tárgyú publikációi.

A KAR (Kísérleti Atomreaktor) mint a KFKI egy új szervezeti egysége 1956-os megalakulása után, még a reaktor beindulása előtt, megalakult a Neutronfizikai Osztály. Amikor 1958 folyamán a Ferromágneses Osztály beolvadt a Neutronfizikai Osztályba, az osztály témái között ott találjuk a szilárd testek tulajdonságait neutronok segítségével tanulmányozó témákat, például a nagyintenzitású neutronsugárzásnak kitett anyagokban keletkező rácshibák és az anyag mágneses tulajdonságai közötti összefüggéseknek, illetve a rend-rendezetlen átalakulás kinetikájának vizsgálatát, később a kritikus opaleszcencia, konkrétan a neutronok – kritikus pont körül felerősödő fluktuációk által okozott – erős szóródása vizsgálatát.

1962 táján újabb váltás történt Pál Lénárd életében. Az év tavaszán a KFKI 1959-es átszervezése során – a Neutronfizikai Osztály és az Elektromágneses Hullámok Osztálya részeiből – létrehozott Szilárdtest-fizikai Laboratóriumot leválasztották a III. Fizikai Főosztályról, egyesítették a Hidegüzemmel, és önálló osztályként közvetlenül a tudományos igazgatóhelyettes alá rendelték. A következő években Pál Lénárd tudományos érdeklődését szinte kizárólag a szilárdtest-fizika kötötte le. Jól mutatja ezt, hogy a hatvanas évek közepétől addig, amíg a tudománypolitika más irányba nem vitte, publikációi mind ilyen témában születtek. Olyan főnök volt, akinek a neve csak azokra a cikkekre került rá szerzőként, amelyekhez ötletekkel ténylegesen hozzájárult.

Kihasználva a reaktorból (4. ábra) nyerhető termikus neutronnyalábot, a hatvanas évek elején a KFKI-ban beindult a mágneses szerkezetek neutrondiffrakciós vizsgálata, és ezek programjának kialakításában

3. ábra. Pál Lénárd publikációinak év és téma szerinti megoszlása.





4. ábra. A Kísérleti Atomreaktor 15 éves fennállásának ünnepsésén, János Lajossal (balra) és a cigarettázó Szabó Ferencsel (Pál Katalin jóvoltából).

Pál Lénárd aktív szerepet játszott. Ekkor született két legtöbbet idézett, a mangánalapú ötvözetek mágneses szerkezetét és tulajdonságait tárgyaló cikke [2, 3]. Ezek érdekessége nem egyszerűen a független hivatkozásoknak az akkor Magyarországon született cikkekhez képest kiemelkedően magas száma, hanem azok időbeli eloszlása. Az elsőre eddig kapott közel 200 hivatkozásból több mint száz 2000 után, vagyis több mint harminc évvel a cikk megjelenése után született, és a hivatkozások száma még ötven év után is emelkedik.

Egy szilárdtest-fizikus szemével tekintve vissza tudományos pályájára, mégsem az ezen terület kutatómunkájában elért saját eredményeit tartom élete legmaradandóbb művének. Ennél sokkal jelentősebbnek gondolom a hazai szilárdtest-fizikai alap kutatás megszervezése érdekében tett lépéseit. Megítélésem szerint az 1960-as években Pál Lénárd legfőbb célja az volt, hogy a KFKI-ban betöltött pozíciójára alapozva egy sikeres, nemzetközileg elismert szilárdtest-fizikai műhely hozzon létre az intézetben. Ennek az alapját a Ferromágneses Osztály első munkatársai, Nagy Imre és Tarnóczi Tivadar, valamint a Neutronfizikai Osztályból és a Faragó Péter vezette Elektromágneses Hullámok Osztályából az átszervezések során a szilárdtest-fizikai területre került kutatók alkották, mint Kisdiné Koszó Éva, Fogarassy Bálint, Tompa Kálmán

5. ábra. Az Eötvös egyetemi tanszéki professzor- és Fizikai Szemlebeli főszerkesztő-társával, Marx Györggyel, az ő 75. születésnapján Mátradereszkén. Jobbra Czeizel Endre (fotó: Kármán Tamás).



és Tóth Ferenc, illetve Bata Lajos, Kosály György, Krén Emil és Kroó Norbert. Ezt a csapatot erősítette a kémikus Konczos Géza, aki a vizsgálandó anyagminták előállításáért volt felelős.

A hatvanas évek a szisztematikus építkezés ideje volt. Ekkor került ide – bár forma szerint az Elméleti Főosztály munkatársai lettek – a magfizikáról Menyhárd Nóra, valamint a kényszerűen a Műszaki Fizikai Kutatóintézetben eltöltött három év után Zawadowski Alfréd.

Másodállású egyetemi tanárként, az *Atomfizika* tárgy előadójaként és vizsgáztatójaként Pál Lénárd megismerte a fizikus hallgatókat, és igyekezett a legjobbakat a KFKI-ba, azon belül is a szilárdtest-fizika felé vonzani. Így került akkor az intézetbe Hargitai Csaba, Solt György, e sorok írója, Mezei Ferenc, Kádár György, Grüner György, Jánossy András, Nagy Dénes Lajos, Vincze Imre, Fazekas Patrik, hogy csak néhányat említsék. Cser László a Szovjetunióban végzeze került az intézetbe.

A hatvanas években a kutatási témák megválasztásában Pál Lénárd viszonylag szabad kezet hagyott a kutatóknak, csak azt várta el, hogy színvonalas munka folyjék. A KFKI kertjében növekvő vadvirágnak tekintette Menyhárd Nórának az erős csatolású anizotrop szupravezetők makroszkopikus elméletével foglalkozó kandidátusi értekezését, mégsem gyomláta ki azt. Az sem számított nála, hogy kinek milyen a származása, világnézete. Nem kellett párttagnak lenni, elég volt, ha valakit a tudományos pálya érdekelt, és a fizikát akarta művelni. Ahogyan mondta, a politika az ő területe, „ti csak dolgozzatok”.

A hatvanas évek végére a kutatási témák a szilárdtest-fizikán belül is szerteágazóvá váltak. A híg ötvözetek kísérleti és elméleti vizsgálata, majd az alacsony dimenziójú szerves vezetők megjelenése és térhódítása a KFKI-s szilárdtest-fizikusok között, már tőle függetlenül történt. Ahogyan a fiatal munkatársak felvétele sem csak rajta múlt. A hetvenes évek elején, amikor első igazgatóhelyettesből és a KFKI-s szilárdtest-fizikai kutatás legfőbb felelőséből és patrónusából az egész intézet igazgatója lett, és az I. épületbeli szobájából a IV. épületbe költözött, Pál Lénárd érdeklődési köre és prioritásai is megváltoztak. Az alap kutatási eredmények helyett fontosabbakká váltak az ipari alkalmazás felé orientált célprogramok.

Amikor újra visszatért a tudományhoz (5. ábra), akkor fiatalkori szerelméhez, a stochasztikus folyamatokhoz tért vissza. Mindez nem halványíthatja el azokat az elévülhetetlen érdemeit, amelyeket a múlt század hatvanas éveiben a hazai szilárdtest-fizika felfelé ívelő pályára állításával szerzett.

Irodalom

1. N. S. Perov: *Nyikolaj Szergejevics Akulov*. Fiziceszkij fakultet MGU, Moszkva (2003) 57.
2. Pál Lénárd két legidézettebb cikke:
2. E. Krén, G. Kádár, L. Pál, J. Sólyom, P. Szabó, T. Tarnóczi: Magnetic Structures and Exchange Interactions in the Mn-Pt System. *Physical Review* 171 (1968) 574–585.
3. L. Pál, E. Krén, G. Kádár, P. Szabó, T. Tarnóczi: Magnetic Structures and Phase Transformations in Mn-based CuAu-I type Alloys. *Journal of Applied Physics* 39 (1968) 538–544.

NEM HALVÁNYULÓ EMLÉKEIM PÁL LÉNÁRDRÓL

Pázsit Imre
Chalmers Műszaki Egyetem
Göteborg, Svédország

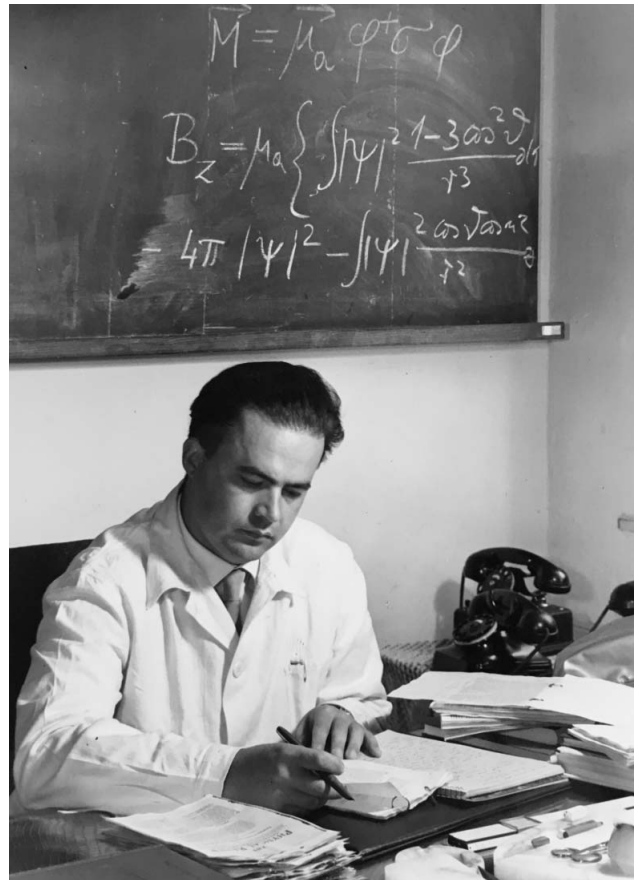
Pontosan egy évvel ezelőtt, ugyanezen a héten amikor ezeket a sorokat írom itt Grèz-sur-Loing-ban Párizstól 70 km-re délre, szintén Franciaországban voltam. Akkor éppen Párizsban, a 26. Nemzetközi Transzportelméleti konferencián, amit a Sorbonne-on tartottak. Mint sok más korábbi konferencián, ezen is egy *Lénárddal* közös munkánkat adtam elő. Ez volt az egyik legújabb akkori témánk, amiről a nyár folyamán sokszor beszélünk.

A „beszéltünk” kifejezés itt nem áttételes, hanem szó szerint értendő. Az együtt dolgozásunk kezdetétől, tehát a 2000-es évek elejétől kezdve, minden egyes héten csütörtök délelőtt fél tizenegykor ültem a gép előtt, és vártam Lénárd skype-hívását, ami óramű-pontossággal jött. Ahogy mondani szokták, akár esett, akár fűjt, a minden hét csütörtök délelőttjén lefolytatott skype-beszélgetésünk elmaradhatatlan esemény, fix pont volt a világban. Csak olyankor maradt el, amikor konferencián voltam, akkor vagy az időkülönbség miatt, vagy egyszerűen csak amiatt, mert az előadásokon ültem.

A skype-on való hetenkénti beszélgetés nem az én ötletem volt, nekem magamtól talán eszembe sem jutott volna. A legtöbb, Lénárddal egyidős ismerősöm, a szakmában dolgozókat is beleértve, eléggé idegenkedett az új technika által nyújtott ilyenfajta szociális kapcsolattartástól. *Peter Sigmund*, az atomi ütközési folyamatok jelenkori egyik legnagyobb alakja, *Niels Bohr* és tanítványa, *Jens Lindbard* hagyományainak a továbbvivője, egyszer azt is mondta – igaz már elég régen, amikor az internet még új volt –, hogy „elektronikus levelek helyett mi az információcserére a délutáni kávészüneteket használjuk”.

Lénárddal ez nem így volt. Ahogy már a 90. születésnapjára készített kis írásomban is említettem [1], ő nagyon fogékony volt minden olyan új dologra, aminek a kutatásban, együttműködésben haszna volt. Facebook-oldalt persze nem nyitott, de ez teljesen érthető, hiszen azt elsősorban nem szakmai célokra használják.

Még a konferenciát megelőző héten is megtartottuk a szokásos skype-beszélgetést. Sőt néhány nappal a konferencia előtt is újabb érdekes fejleménye-



A fiatal Pál Lénárd a hatvanas években (Pál Katalin jóvoltából).

ket ismertünk fel, amiket az utolsó pillanatban még az előadásba is sikerült belevenni, aminek Lénárd nagyon örült.

Akkor még nem tudhattam, hogy az lesz az utolsó skype-beszélgetésünk, és egyáltalán az utolsó kontaktusunk. A rákövetkező héten a konferencia miatt elmaradt a skype-hívás. Így nem is azonnal tudtam meg, hogy Lénárd azon a héten súlyos állapotban kórházba került. A konferencia után pedig hiába vártam a hívást. Csak akkor döbbsentem rá, hogy többé nem fogunk sem skype-on, sem személyesen beszélni. És arra is, hogy abban is igaza volt, amikor egyszer a nyár folyamán megemlítette, hogy ez lesz az utolsó, a „búcsúcikkünk”. Akkor én csak arra gondoltam, hogy talán nem lesz kedve újabb témákat elkezdni, de erre ő maga is rácaffolt, ahogy ezt majd lentebb leírom.

A fenti címről magyarázatként megemlítem, hogy van benne egy kis üzenet is, ami talán nem nyilvánvaló. Természetesen emlékeim Lénárdról, az együtt dolgozásunk éveiről, egyelőre semmit sem halványultak, sőt. A cím inkább egy közvetett utalás Lénárd saját gondolataira. Nevezetesen, a *Magyar Tu-*



Pázsit Imre (1948) az ELTE-n szerzett fizikus oklevelet 1971-ben, majd A KFKI Atomenergia Kutató Intézetében lett doktori ösztöndíjas, ahol 1990-ig dolgozott („kisdoktor” – 1975, kandidátus – 1985). 1991-től professzor a göteborgi (Svédország) Chalmers Műszaki Egyetem Fizikai Tanszékén. Fő kutatási területe a stochasztikus neutrontranszport-folyamatok elmélete és alkalmazása a reaktorkutatásban és a hasadóanyagok azonosításában (safeguards), valamint az erőművi reaktordinamika és reaktorzaj-diagnosztika.

domány 2001/1 számában cikket közölt *Halványuló emlékeim az 50 éve alapított KFKI-ról* címmel. Ez az írás egymagában egy tudománytörténeti gyöngyszem, az utóbbi évben rengetegszer elolvastam, mert remekül tükröződik benne Lénárd személyisége, munkássága, és segített az emlékeket is ébren tartani. Így a cím mottóját, egy magától értetődő változtatással, átvettem.

De ez egyben további gondolatokat is felvet. Habár a „halványuló emlékek” egy nagyon hangulatos kifejezés és remek keret, illetve bevezető, sőt hangulatot ad írásának, és nyilván ez is hozzájárult a címválasztáshoz, nekem mégis azonnal az jut eszembe, hogy Lénárd emlékezőképessége egészen páratlan volt, és a halványulásnak soha semmilyen jelét nem adta. Abból, hogy akármilyen új téma került szóba, azonnal felsorolta az összes releváns publikációt a területen, akármilyen régre visszamenőleg is, nekem teljesen határozottan az az érzésem alakult ki, hogy Lénárd minden emlékezett, amit csak egyszer is elolvasott vagy hallott. Valahol olvastam, hogy *Machiavelli* állította magáról ugyanezt, sőt úgy, hogy egy elolvasott könyv minden szavára emlékezett. Hogy Machiavelli állítása igaz vagy sem azt nem tudom, de Lénárd emlékezőképességére a fenti leírás mindenképpen igaz.

És ez nem csak a szakma területén volt így. Hihetetlenül olvasott ember volt, ami abból is látszik, hogy minden alkalomhoz, témához tudott egy mondat vagy versrészletet idézni. A fent említett *Magyar Tudományban* közölt cikk is egy jó példa erre. *Kata* lányától tudom, hogy a betegágyán, már nagyon súlyos állapotban, még elmondta *Ady Endre Párizban járt az Ősz* című versét. Az már a sors külön fintora, hogy jómagam akkor pont Párizsban voltam; mindig beleborzongok, amikor erre gondolok.

Egy másik példa – ami engem nagyon megérintett – egy 2002-ből származó emlék. Lénárdot meghívtuk az általunk rendezett SMORN-8 nemzetközi zajdiagnosztikai konferencia megnyitására plenáris előadónak, és több mint 25 év után akkor találkoztunk először. Én még abban sem voltam biztos, hogy emlékszik rám és hogy ő volt a „kisdoktori” bizottság elnöke a vizsgámon. Hát nemcsak hogy emlékezett, még a doktori dolgozatom saját példányát is hozta magával, amit egy végtelenül kedves bejegyzéssel együtt átadott nekem.

A SMORN-8-on tartott plenáris előadásának (*Neutron noise and random trees – links between past and present* [2]) bevezetőjét egyébként szívesen ajánlom a nem a szorosan vett szakmában dolgozó kollégák figyelmébe is. Ott saját szavaival írja le azt, hogy miként és mikor keltette fel érdeklődését a neutronlancok statisztikus tulajdonságainak vizsgálata.

Azt már a 90. születésnapra írt írásomban [1] leírtam, hogy Lénárd öt évtized óta élő legenda volt a nukleáris energetikai kutatásokban, a stochasztikus neutrontranszport és a neutronfluktuációk elméleti megalapozásával, a *Pál-Bell-egyenlet* révén. Így nem volt meglepő, hogy a szakmai közösséget megrázta

halálhíre, és rengeteg szimpátiamegnyilvánulást kaptunk. Sokan hangsúlyozták, hogy Lénárd esetében ez abból a szempontból is különleges, hogy a „legendák” már nem vesznek részt aktívan a szakma művelésében és továbbfejlesztésében; ezzel szemben ő egészen utolsó napjaiig aktív maradt a területen, és további jelentős új eredményeket közölt, tehát a tudományág aktív alakítója maradt. Örömmel és hálával gondolok arra, hogy közös munkánk, és nem kevésbé az együtt írt könyvünk, ehhez hozzájárult. A nemzetközi tudományos közvélemény megbecsülését jelzi, hogy az Amerikai Nukleáris Társaság (ANS) „Mathematics and Computation” osztályának kétévenként megrendezésre kerülő topikus konferenciáján (North Carolina State University, 2021. április 11–15.), amely ezen a területen a premierkonferencia, egy két részből álló, Lénárd tiszteletére rendezett speciális szekcióval emlékezünk munkásságára és a tudományág fejlesztésében elért eredményeire.

Lénárd elhunytának egy éves évfordulóján rengetegszer eszembe jut, hogy milyen többszörös véletlenül múlt a közel 20 éves együtt dolgozásunk. Kicsit a *Murray Gell-Mann* által megalkotott kifejezés, a „befagyott baleset” („frozen accident”) fogalma jut erről eszembe. Itt persze a „baleset” szó nem okvetlenül negatív dolgot jelent. Ezt 2001-ben hallottam tőle, amikor a Nobel-díj megalapításának századik évfordulóján Svédországban járt (az összes akkor élő Nobel-díjas fizikust meghívták Svédországba) és Göteborgba is eljött egy előadást tartani. Akkor már rég nem részecskefizikával foglalkozott, hanem komplex rendszerekkel, és az egyszerűség és bonyolultság kérdés izgatta [3]. A „befagyott baleset” egy olyan esemény, ami megtörténhetett volna, és amivel egészen más irányba terelődtek volna az események, jó esetben az egész történelem, de ami nem történt meg. Az erről írt cikkemben [3] van is egy nagyon szórakoztató illusztráció az *Annie Oakley* nevű mesterlövész és *II. Vilmos* császár találkozásáról 1889-ben, ami azzal is végződhetett volna, hogy Annie elhibázza a számát és lelövi a császárt, és akkor az európai történelem egész más irányba ment volna, de nem így történt.

Az én történetem természetesen nem ilyen drámai, csak arról van szó, hogy amikor a diplomaosztás után nem kaptam meg egy megpályázott doktori ösztöndíjat a KFKI AEKI Reaktorfizikai Osztályán, akkor a téma kiírója, későbbi témavezetőm, *Kosály Gyuri* azt javasolta, hogy írjak Pál Lénárdnak, aki akkor már a KFKI igazgatója volt, egy személyes levelet és kérem meg, hogy létesítsen nekem a KFKI Szilárdtestfizikai Főosztályán egy doktori ösztöndíjat. A kérvényt sok töprengés után végül nem írtam meg, és ez az én „befagyott balesetem”. Ugyanis, mások hasonló történetei kapcsán, de elsősorban a hosszú együtt dolgozásunk alatt szerzett saját személyes benyomásaim alapján, minden kétséget kizáróan biztos vagyok benne, hogy Lénárd valóban létesített volna egy extra ösztöndíjat. De akkor az nem a Reaktorfizikai Osztály

tályon lett volna, hanem egy más témában, szilárdtestfizikában. És akkor az elmúlt két évtized alatti közös munkánk sem jött volna létre. Ezért, így utólag, csak tiszta szívből örülni tudok, hogy azt a kérvényt nem írtam meg.

De ez egymagában még nem lett volna elég; ahhoz hogy az együtt dolgozásunk és a hosszú munkakapcsolatunk létrejöhesse, kellett még egy „befagyott baleset”. Ez pedig Lénárd korábban már említett, 2002-beli, Chalmersban tartott SMORN-8 konferencián való részvételéhez fűződik. A meghívással kapcsolatos levelezésünkből ez akkor nem derült ki, csak jóval utána tudtam meg személyesen Lénárd lányától, Katától, hogy ez mennyire egy hajszálon múlt. Lénárd akkor már a hetvenes éveinek vége felé közeledett, konferenciákon már régóta nem vett részt, és általában, részint egészségi állapotára való tekintettel, nem tervezett semmilyen külföldi utazást. Az első spontán reakciója az volt, hogy udvariasan megköszönve, elhárítja a meghívást. Katának minden diplomáciai képességére szüksége volt, hogy rábeszélje az útra. Hogy ez mekkora teljesítmény volt, azt mindenki fel tudja mérni, aki ismeri Lénárd személyiségét. Nem volt töprengő, fontolgató típus, azonnal véleményt tudott alkotni mindenről, irigylésre méltó gyors határozottsággal, és a döntései mellett ki is tartott. Végül Kata bevetette a fő érvet, nevezetesen, hogy szívesen elkíséri édesapját az útra. Ez döntött, és Lénárd így beleegyezett az utazásba és a konferencián való részvételbe.

Ez a második „befagyott baleset”, ami szintén szükséges feltétele volt a későbbi együttműködésnek. Az akkori személyes találkozás, a mindkettőnk érdeklő témákról, nyitott kérdésekről való beszélgetések lettek az utána megkezdett, mindkettőnknek sok örömet okozó közös munka kiindulópontja. Így mind a konferencia szervezője, mind a későbbi munkatárs szerepében köszönöm Katának ezt a bravúrt, hozzáátéve, hogy ezt ráadásul úgy kellett elérnie, hogy a későbbi közös munkánkat, mint az út egy „járulékos előnyét” nem tudta érvként felhasználni, hiszen arról akkor még egyikünk sem tudott.

Azt is említettem korábban, hogy Lénárd az utolsó napjaiig dolgozott és még akkor is új témákat keresett. Néhány héttel a tavaly szeptemberi párizsi konferencia előtt küldött egy kéziratot, amelyben a fragmentáció statisztikus elméletének néhány kérdésével foglalkozott. A fragmentáció (ami például a darálási folyamatban is fellép) a hasadási láncokkal rokon, de bonyolultabb folyamat, mert utóbbiban csak a hasadást előidéző, illetve a hasadásban keletkező neutronok sorsát követjük, a hasadási termékekét már nem, szemben a fragmentációs folyamatokkal, ahol az ösz-



Megbeszélés Nyikolaj Bogoljubovval (MTA tiszteleti tagja, 1970), a stochasztikus folyamatok egyik legnagyobb kutatójával (Pál Katalin jóvoltából).

szes, a törési folyamatban keletkező termék sorsát követjük. Ez lehetett volna a következő közös témánk, ha a sors nem akarja másképp. A történethez hozzátartozik, hogy két héttel a kézirat megkapása után (elektronikus formában) a laptopomat, három másik Macintosh géppel együtt az említett párizsi transzportelméleti konferencián egy kávészünetben ellopták. Utólag tudtam meg, hogy Párizs az Apple-gép-lopások fellegvára.

A baj sose jár egyedül, erről a kézitról a megkapástól a konferenciáig nem készült back-up. Viszont Lénárd hagyatékában nemcsak a kézirat kinyomtatott példánya volt meg, hanem a kézirat Mathematicával készült ábrái kódjának kinyomtatott változata is. Lénárd rendszeretete és precizitása legendás volt, amiről Kosály Gyuritól, aki Lénárddal volt doktorandusz, sokat hallottam, de magam is meggyőződtem róla, és ehhez a fenti történet is egy példa. Így a munka megmaradt az utókornak, és poszthumusz ez is publikálásra fog kerülni.

Remélhetőleg ezen kis írás hangulata is igazolja, hogy az emlékek igencsak élénken élnek, és semmit sem halványultak. Csak sajnós most már együtt járnak az együtt végzett munka hiányának érzésével, ami ugyanúgy nem halványul. Szerencsére a sok elkezdett, de be nem fejezett munka folytatása segít az emlékek és azok között az együtt végzett munka felett érzett öröm érzésének életben tartásában.

Irodalom

1. Pázsit Imre: Együtt dolgozni Pál Lénárddal. *Fizikai Szemle* 55/11 (2015) 367–371.
2. L. Pál: Neutron noise and random trees – links between past and present. Special Lecture SMORN VIII Göteborg, 2731 May 2002. *Progress in Nuclear Energy*, 43/1 (2003) 5–25, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0149197003000131>
3. M. Gell-Mann: Plectics: The study of simplicity and complexity. *Europhysics News* 33/1 (2002).

Pál Lénárd több mint öt évtizeden át játszott meghatározó szerepet életem és szakmai pályafutásom alakulásában. Róla csak szubjektíven tudok írni; meg sem próbálom másképp. A fél évszázad során ő is, én is sokat változtunk, és többször előfordult, hogy tudománypolitikai vagy kutatásirányítási kérdésekben nem voltunk egy véleményen (szóval sem állítom, hogy ilyenkor mindig nekem volt igazam). 1990 előtt más volt a világ, benne a tudomány világa is; az akkori helyzeteket nem szabad a mai normákat visszavetítve megítélni. Mégsem tudnék ebből az időszakból más, tudósként, tanárként és tudománypolitikusként Pál Lénárdhoz foghatóan egyaránt kompetens személyt megnevezni.

1962 őszén lettem az ELTE fizikus hallgatója. Bár mindig érdekelt az elmélet is, alapvetően mégis a kísérletezés kötött le. A kísérleti mágnességtannal 1964-ben ismerkedtem meg, amikor Jánossy Andrással közösen – Zsoldos Lehel vezetésével – egy TDK-dolgozatot készítettünk *Folyadékok és szilárd testek mágneses szuszceptibilitásának mérése* címmel. Pál Lénárddal először az 1964–65-ös tanév első félévében, mint az *Atomfizika II.* kurzus előadójával találkoztam. Meglepetésemre – látva indexemben a TDK-munkára vonatkozó friss bejegyzést – a vizsga végén megkérdezte, hogy lenne-e kedvem a mágneses témát a KFKI-ban folytatni; természetesen örömmel mondtam igent. Rövidesen KFKI-ösztöndíjas lettem, és (itt ragaszkodva az akkori helyesíráshoz) a Pál Lénárd által vezetett Szilárdtestfizikai Laboratóriumban *Tarnóczy Tivadarnál* folytattam a témát. Gyakran fordult elő, hogy Lénárd (akár az esti órákban) váratlanul megjelent, és a kísérletek állása felől érdeklődött. Az ilyen látogatásoktól mindenki tartott egy kicsit, mert kemény kérdéseket tudott feltenni, amelyekből azonban nagyon sokat lehetett tanulni is. A következő tanév elején *Korecz László* ismertett meg a Mössbauer-spektroszkópiával, amely mindmáig a fő kutatási módszerem maradt. Kézenfekvő volt, hogy diplomamunkámat is e módszer alkalmazásával készítsem. Így kerültem a Magfizikai Főosztályon *Keszthelyi Lajos* csoportjába *Dézsai Istvánhoz*, aki úttörő jelentőségű kutatásokat folytatott a lefagyasztott vizes oldatok amorf zárvaiban megfigyelhető üvegátmenettel kapcsolatban (az akkori interpretáció még nem pontosan ez volt).



Nagy Dénes Lajos (1944) kísérleti szilárdtest-fizikus, az MTA doktora, a Wigner Fizikai Kutatóközpont kutató professor emeritusa, az ELTE TTK Fizikai Intézet nyugalmazott egyetemi tanára. Fő kutatási területe anyagtudományi alkalmazások modellanyagainak vizsgálata magfizikai módszerekkel, elsősorban Mössbauer-spektroszkópiával. Első munkahelye a KFKI volt, és összesen mintegy hat évnyi németországi munkavállalásaitól eltekintve mindig ott, illetve annak utód szervezeteiben dolgozott.

Ezeket a vizsgálatokat Pál Lénárd a magfizikai témakörben az első helyen említette 1970. május 28-án, a KFKI alapításának húsz éves évfordulója alkalmából rendezett tudományos ülészen [1].

Pál Lénárd döntése volt 1967 őszén, hogy a Magfizikai Főosztályon Keszthelyi Lajoshoz tartozó Mössbauer-csoport mellett a KFKI-ban egy újabb Mössbauer-csoport létesüljön *Cser László* vezetésével a Szilárdtestfizikai Laboratóriumban (1970-től: Főosztályon); friss diplomásként én is itt kaptam állást 1967 szeptemberében. Az új csoport fő feladata mágneses ötvözetek és mágneses fázisátalakulások kutatása volt. Így kerültem a csoport harmadik tagjával, *Vincze Imrével* együtt ismét Pál Lénárdhoz. 1967-től 1973 őszéig (ekkor jutottam el először 15 hónapra az erlangen-i egyetemre), közelről láttam Lénárd tudományos és kutatópolitikai irányítását. Pál Lénárd magas színvonalú szemináriumain joggal lehetett tartani kérdéseitől és bírálatától; volt olyan kolléga, aki lényegében egy ilyen szemináriumon bemutatott, valóban gyenge munkabeszámolója folytán mondhatott búcsút a kutatói pályájának (később kiváló tudományos újságíró lett belőle). Egyik emlékezetes fénypontja volt a szemináriumsorozatnak, amikor *Mezei Ferenc* bemutatta a neutronspinechó módszerének a KFKI kutatóreaktora mellett sebtében megvalósított deszkamodelljét. De időnként bizony átkozódtunk is: „a tudomány közvetlen termelőerővé válik” aktuális lözung jegyében Lénárd engem is kirendelt, hogy néhány hónapon át munkaidőm felében *Grüner Györggyel* kettesben szakmányban mérjük a Csepel Vas- és Fémművekből szállított (és általunk nem is ismert specifikációjú) lágy mágneses anyagok hiszterézishurkait. Az sem váltotta ki a kutatók osztatlan lelkesedését, amikor és ahogyan Lénárd a kísérleti mágneses alapkutatások kapacitását a huzal-, illetve a buborékmemória fejlesztésére állította át. A vitathatatlán eredmények ellenére termékben alkalmazható eszköz egyikből sem lett, a kísérleti mágneses alapkutatás pedig jószerivel belerokkant.

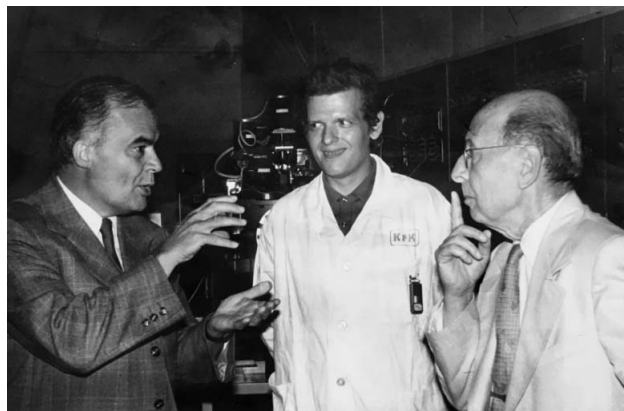
Mégis úgy gondolom, hogy a KFKI, majd utódintézetek vezetői között alighanem Lénárd volt az utolsó, aki az általa irányított szervezet kutatásait részleteiben is igen magas fokon látta át. Egyaránt otthon volt a mágnességtanban, a stochasztikus folyamatok matematikájában és a reaktorfizikában; ezeket az egymástól látszólag távoli területeket meglepő egységben kezelte. De a reaktorfizikával összefüggésben megbízható rálátása volt a magfizikára és annak rokntudományaira, a nukleáris elektronikára, valamint a nagy nemzetközi kutatási infrastruktúrákra is.

Bár Erlangenből hazatérve 1975 tavaszától ismét a Magfizikai Főosztályon dolgoztam, Lénárd továbbra is fontos szerepet játszott, sőt játszik ma is tudományos témáinkban. A hetvenes évek elején ő hívta fel figyelmünket az átmeneti fémekkel adalékolt LiNbO_3 kristá-

lyok különleges tulajdonságaira, amiből csoportunk a kilencvenes évek végéig több mint húsz cikket publikált, és a téma ma sincs teljesen lezárva. Ő indította el a KFKI-ban még a hatvanas évek végén [2] a Mössbauer-spektroszkópia relaxációs jelenségeivel kapcsolatos kutatásokat is, amelyekhez szintén egy tucat későbbi cikkünk kapcsolódik. Különös aktualitása van ma a FeRh ötvözet mágneses fázisátalakulásának, ami Pál Lénárd és Tarnóczy Tivadar kezdeményezésére a hatvanas években és a hetvenes évek elején a Szilárdtestfizikai Laboratórium kiemelt témája volt, jöllehet Lénárd maga szerzőként mindössze két FeRh-cikket szerepelt. A nemzetközileg már ekkor is két évtizedes múltú visszatekintő téma ezután világszerte még több mint négy évtizeden át szendergett, majd mintegy hat évvel ezelőtt hirtelen az anyagtudomány egyik legintenzívebben kutatott területévé vált, amikor kiderült, hogy FeRh vékonyrétegeket piezoelektromos anyagokra növesztve, azokból elektromos térrel kapcsolható, energiahatékony mágneses eszközök állíthatók elő, így csoportunk egyik legutóbbi közleménye [3] is Pál Lénárdra vezethető vissza. Tanulság mindazoknak, akik azt hiszik, hogy egy kutatási téma hosszútávú jelentősége a cikkek pillanatnyi tudományometriai mutatói alapján megítélhető.

Pál Lénárd 1953-tól 1978-ig dolgozott a KFKI-ban. 1967 és 1978 között sokszor találkoztam vele kutatóként, tudományos vezetőként, de ismertem őt az intézet belső politikai fórumairól is, amelyek némelyikében magam is részt vettem. Akkor sem lehet megindultság nélkül olvasni azokat a rezignált és bölcs sorait, amelyekben a 2000 szeptemberében 50 éves KFKI-nak erről az időszakáról vallott [4], ha azok néhány kitételét bizonyára másképp fogalmaztam volna.

Lénárd a következő 12 évben lényegében politikusként tevékenykedett. Amikor 1990-ben *Kosáry Domokos*, az MTA elnöke – megígérve, hogy az akadémián nem lesz boszorkányüldözés – azt kérte akadémikustársaitól, hogy aki esetleg úgy érzi és akiről úgy érzi, hogy talán túlságosan exponálta politikailag magát, az vonuljon egy sorsal hátrább és igyekezzék csöndes, szakmai munkával megmutatni, hogy az akadémiai tagságra érdemes [5], Lénárd azon kevesek közé tartozott, akik ezt zokszó nélkül megtették. Immár 65 évesen ismét a tudomány felé fordult, és még 28 éven át mutatott fel korához képest szinte hihetetlen produktivitást. 1995-ben jelentette meg kétkötetes munkáját a valószínűségszámítás és a statisztika alapjairól [6]. 2000-ben egyszerezős cikket publikált a *Physical Review E*-ben a hiszterézis stochasztikus modelljéről [7]. A stochasztikus folyamatokról egy sereg munkája lappang publikálatlanul az arXiv repozitóriumban, de tucatnyi, ebben az időszakban megjelent tudományos közleménye közül az egyik munkájára, amelyet 2003-ban *Guba Attilával* és *Makai Mibálllyal* együtt tett közzé [8], máig 126 független hivatkozás érkezett. 2007-ben kezdődött rendkívül gyümölcsöző publikációs tevékenysége *Pázsit Imrével*, amely haláláig tartott, de még 2020-ban is eredményezett új cikket.



Wigner Jenővel 1976-os látogatásán, közepén Mezey Gábor (Pál Katalin jóvoltából).

Visszavonulása után a volt KFKI-sok közül kevesen tartották Lénárddal a kapcsolatot. A középkorúak többsége elfelejtette; a fiatalok már a nevét sem ismerik, vagy ha mégis, akkor csak eltorzított, negatív felhangú legendákból. Én novemberi születésnapja előtt rendszeresen felhívtam telefonon, és utána – általában közvetlenül karácsony előtt – jó néhányszor meglátogattam. Utoljára 2018. december 20-án jártam nála. Fizikailag már nem volt jó állapotban, de szelleme briliáns volt. Kérésének megfelelően, friss információt és egy táskányi írott anyagot hoztam neki Dubnából, az ott 2035-re megépítendő új pulzált neutronforrásról (2018-ban még két terv létezett: egy gyorsító alapú változat és a 2020 nyarán született döntés alapján végül is megépítendő új impulzusreaktor). Lénárd elmondta véleményét mindkét variánsról; minden részlet behatóan érdekelte. 2019 őszén is készültem a küszöbön álló telefonálásra, majd a látogatásra, de erre már nem kerülhetett sor.

Pál Lénárdot sok pályatársa kezelte és ma is sokan kezelik súlyos fenntartásokkal, sőt ellenszenvvel. Nem volt és nincs meg bennük az a bölcsesség, amely Lénárdot élete utolsó két és fél évtizedében jellemezte, és amely a múltba nézéshez elengedhetetlenül szükséges. Pedig ők is, Pál Lénárd is az egységes magyar fizikai kultúra részei. Saját magunk és utódaink felelőssége, hogy ezt a kultúrát nemzeti értéként őrizzük meg a jövő számára.

Irodalom

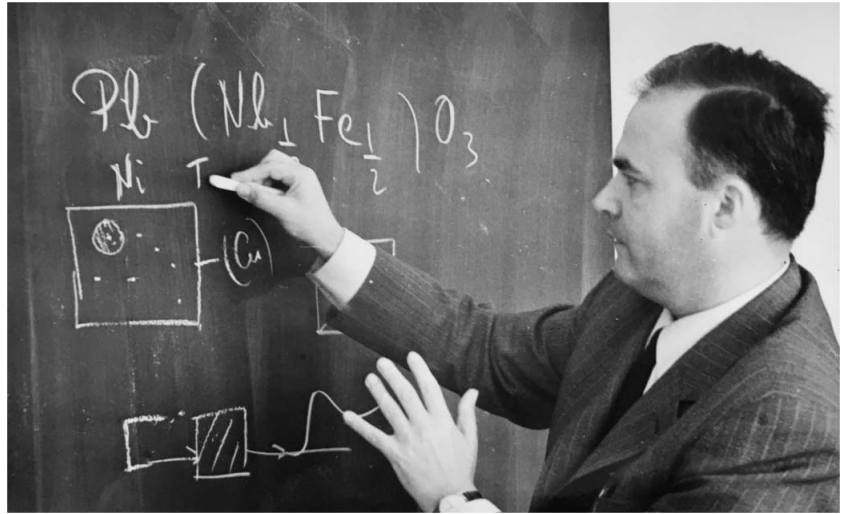
1. Pál Lénárd: Húsz éves a KFKI. *Fizikai Szemle* 20 (1970) 225–239.
2. Л. Пал: Влияние флуктуации внутреннего магнитного поля на эффект Мессбауэра. *Acta Phys. Acad. Sci. Hun.* 23 (1967) 161–183.
3. D. G. Merkel, A. Lengyel, D. L. Nagy, A. Németh, Z. E. Horváth, C. Bogdán, M. A. Gracheva, G. Hegedűs, Sz. Sajti, G. Z. Radnóczy, E. Szilágyi: Reversible control of magnetism in FeRh thin films. *Scientific Reports* 10 (2020) 13923.
4. Pál Lénárd: Halványuló emlékeim az 50 éve alapított KFKI-ról. *Magyar Tudomány* 2001/1 (2001) 66–82.
5. Kosáry Domokos: Búcsú a Debreceni Akadémiai Bizottságtól. *Debreceni Szemle, új folyam* 4 (1996) 305–310.
6. Pál Lénárd, Sente László (szerkesztő): *A valószínűségszámítás és a statisztika alapjai I-II*. Akadémiai Kiadó, Budapest (1995).
7. L. Pál: Stochastic model of hysteresis. *Phys. Rev. E* 61 (2000) 3490–3500.
8. A. Guba, M. Makai, L. Pál: Statistical aspects of best estimate method – I. *Reliability Engineering & System Safety* 80 (2003) 217–232.

PÁL LÉNÁRD, EGYETEMI PROFESSZOROM ÉS INTÉZETI IGAZGATÓM

Horváth Dezső
Wigner Fizikai Kutatóközpont

Pál Lénárd hosszú pályafutásom egyik legérdekesebb és legértékesebb professzora volt. A hatvanas években atomfizikára oktatott bennünket az ELTE-n: előadásai mindig világosak és igencsak gondolatébresztők voltak, bár a vizsgáira való felkészülés komoly erőfeszítést igényelt. Az intézeti szemináriumokon ott volt és hozzászólt: vette ugyanis a fáradságot, és felkészült a témákból. Soha nem felejttem el, micsoda erőfeszítésbe került felkészülnöm Pál Lénárd atomfizika-vizsgájára a Brown-mozgás Einstein-elméletéből. Lénárd mindent hajlandó volt tanítani, amire éppen szükség volt: én csak az atomfizikát hallgattam tőle, de tanított fizikushallgatóknak statisztikus fizikát, szilárdtest-fizikát, sőt még valószínűségelméletet is, amelyről tankönyvet is írt. Mindezek mellett időnként megjegyezte, hogy nem is fizikusként végzett, igazából inkább vegyésznek tartja magát.

Amikor beadtam egyetemi doktori dolgozatomat 1974-ben, Pál Lénárdot kértem fel egyik bírálómnak, és boldog voltam, hogy elfogadta. Ráadásul ebből az alkalomból, ahogyan az akkoriban szokás volt, felállt, ünnepélyesen kezét nyújtott, és azt mondta, tegeződ-jünk. Régen ismertük egymást és rendkívül udvarias ember volt, mindig visszaköszönt, amikor üdvözöltem, iszonyúan zavarba jöttünk tehát, hogy amikor legközelebb találkoztunk, én szervuszat mondtam, ő meg jó napot kívánt (aztán persze észébe jutott, és korrigálta szervuszra). Jó néhány kutatóintézetben dolgoztam, és Lénárd egyike volt annak a két igazgatónak (a másik *Erich Vogt* volt Vancouverben), akit komolyan érdekelt, mit csinálnak a kutatói. Később este gyakran körbejárt a KFKI-ban, és ahol világos laborablakot látott, benyitott és megkérdezte, mit csinálnak. Egyik éjjel *Kajcsos Zsolttal* kettesben a pozitron-szögkorrelációs méréshez építettünk berendezést, amikor Pál Lénárd betoppant és kifagatott bennünket, mit csinálunk. Ószinte meglepetésünkre azt tanácsolta, vegyük fonto-



lora a pozitronannihilációs Doppler-spektroszkópiát, mint szintén fontos, hasonló módszert, tehát ismerte ezt az akkor még gyerekcipőben járó témát. Valóban felmerült a Doppler-módszer, de az anyagiak hiánya miatt a szögkorreláció mellett döntöttünk.

Fenyves Józseftől hallottam a következő történetet. Szokásos reggeli körútjai egyikén Pál Lénárd benyitott a KFKI I-es épület magasföldszinti üvegtechnikai műhelyébe. A műhelyben az ajtónak háttal a technikus éppen fusított az esztergán valami otthoni darabot. Lénárd mögé állt észrevétlen és hosszan nézte, majd amikor észrevették, Lénárd megkérdezte tőle, hogy a darab, *Vámos* elvtárs, ami készül, vajon micsoda. *Vámos* rövid gondolkodás után kivágva magát: „A darab, ami készül, Pál elvtárs, nem más, mint HEREPFEDÉNY.” Arról már *Móra Ferenc* óta tudjuk, hogy nem tudjuk micsoda. Lénárd se tudta, de további jó munkát kívánva *Vámos* barátunkat magára hagyta. Lénárdot persze nem hagyta nyugodni a dolog, különösképp a név idegenszerű, mégis meggyőzően műszaki hangzása miatt, ezért egy alkalommal az üvegtechnikai műhely akkori vezetőjét, *Zsigmond Györgyöt* kérdezte meg a HEREPFEDÉNY hovatartozását illetően, elmesélve neki az elnevezés megjelenését műhelybeli körútja alkalmával. *Zsigmond György* jót nevetve tájékoztatta igazgatóját, hogy a műhelyben a túlzottan kíváncsi érdeklődőknek ezzel az elnevezéssel szokták nem az orrára kötni a készülő munkadarab mibenlétét. Az eset után *Vámos István* még sok éven át dolgozott az intézetben jó egészségben.

A hetvenes években Dubnában dolgoztam, amikor egyszer óriási meglepetésemre Pál Lénárdot láttam a szovjet televízióban előadást tartani ékes orosznyelven (az előadás témájára, sajnos, nem emlékszem).

Kiváló egyetemi oktató, fizikus és tudományos szervező volt, emlékezünk rá tisztelettel.



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

PÁL LÉNÁRD ÉS A FIZIKAI SZEMLE

Pál Lénárd 1990 júliusától – az általa vezetett *Magyar Fizikai Folyóirat* és a *Marx György* főszerkesztésével irányított *Fizikai Szemle* egyesülésétől – 2002 decemberéig volt a *Fizikai Szemle* társfőszerkesztője. 1954 és 2009 között folyóiratunkban az alábbi írásokat publikálta.

Ferromágneses kutatások a Szovjetunióban — 1954/67

Szabadságunk tizedik évfordulójára — 1955/35

Ferromágneses félvezetők — 1956/156

Felkészülés az első magyar kísérleti atomreaktor felhasználására (társ szerzők: Kiss D., Kiss I.) — 1958/203

Gausser Károly, Sztróckay Kálmán: Az ember és a csillagok (könyvismertetés) — 1964/130

A fizika és a matematika kapcsolatáról — 1965/231

Irène Joliot-Curie (1879–1956) — 1966/259

Húsz éves a KFKI — 1970/215

Részecskefizika – ma és holnap — 1971/177

Fizika és társadalom — 1975/121

Miről mesélnek a fluktuációk? — 1976/401

Gondolatok a jövőről a nagy „tűzlopás” ürügyén — 1977/361

Gondolatok a kutatásról és a termelési szerkezetéről — 1978/11
MTESZ története — 1981/77

Megnyitó beszéd a GIREP Konferencián — 1982/41

A kis országok szerepe a nemzetközi űrkutatásban — 1984/169

A tudományos–technikai haladás és a nukleáris fegyverkezés — 1984/281

A tudományos és műszaki haladás időszerű kérdései — 1986/281

„A KFKI megjelenése sokakban váltott ki ellenérzéseket” — 1992/348

Marx György 70 — 1997/146

Marx György (szerk.): Szilárd Leó centenáriumi kötet (könyvismertetés) — 1998/142

Marx György: Szilárd Leó (könyvismertetés) — 1998/63

Bragg-díj 2001 — 2001/35

Köszönet a Wigner Jenő-díjért — 2001/368

Marx György 75 éves (társ szerző: Berényi D.) — 2002/133

Marx György: Wigner Jenő (könyvismertetés) — 2002/324

Mindig izgatott a „miért?” kérdése – beszélgetés *Jéki Lászlóval* — 2005/395

Ötven éve a KFKI-ban — 2009/81

NEMLINEÁRIS KVANTUMPROTOKOLLOK VISELKEDÉSE ZAJ JELENLÉTÉBEN

Kálmán Orsolya, Kiss Tamás
Wigner Fizikai Kutatóközpont

A kvantuminformátika gondolata jó ideje jelen van az elméleti kutatásban és napjainkban már a laboratóriumokban is ígéretes kísérletek folynak. Egyre több, egyre tisztább és zajmentesebb qubitet lehet kontrolláltan előállítani, feldolgozni és továbbítani. Ezek a mesterségesen életre hívott kvantumrendszerek, reményeink szerint, alkalmasak lesznek hasznos feladatok végrehajtására, fontos problémák megoldására.

A helyzet például arra a korszakra emlékeztet, amikor az első gőzgépeket megépítették. A híres 1666-os évet *Isaac Newton* a pestis járvány miatt bezárt Oxfordi Egyetemről visszahúzódva töltötte. Ebben a csodálatos évben, *annus mirabilis*, fektette le (saját emlékei szerint) azokat az alapokat, melyekre építve 1687-ben megjelentette a *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* című könyvét. Nem

sokkal ez után, a század utolsó éveiben kezdtek el gőzgépeket konstruálni, nagyrészt a newtoni mechanika elméleti alapjait felhasználva. A gőzgépeket, ezeket a mesterséges fizikai rendszereket tanulmányozva, hatásfokukat fokozatosan javítva azután a tudósok alapvető fizikai felismeréseket tettek, amiből egy teljesen új tudományterület, a termodinamika fejlődött ki. A mesterségesen konstruált kvantuminformátikai rendszerek tanulmányozása is hasonlóan inspirálóan hat manapság a fizikusokra. Ennek köszönhetően az elmúlt néhány évtizedben nagy figyelem irányult a kvantummechanika néhány alapvető tulajdonságának vizsgálatára: így például az összefonódásra, a kvantummechanikai mérésre, vagy a nyílt, zajos rendszerek viselkedésére.

A kvantuminformációs protokollok kétállapotú kvantumrendszerek, úgynevezett *qubitek* koherens időfejlődésén, valamint a rajtuk végzett méréseken,

Készült a 30. Magyar Fizikus Vándorgyűlésen (Sopron, 2019. augusztus 21–24.) elhangzott előadás alapján.



Kálmán Orsolya fizikus, a Wigner FK Kvantumoptikai és Kvantuminformátikai Osztályának tudományos főmunkatársa. Egyetemi tanulmányait a Szegedi Tudományegyetemen végezte és ugyanitt szerzett PhD fokozatot fizikából 2010-ben. Kutatási területe a spintronikai és hideg atomi rendszereken kívül a gyakorlati megvalósítási lehetőségekkel rendelkező kvantuminformátikai protokollok vizsgálata. 2019-ben az ELFT Gombás Pál-díjjal jutalmazta.



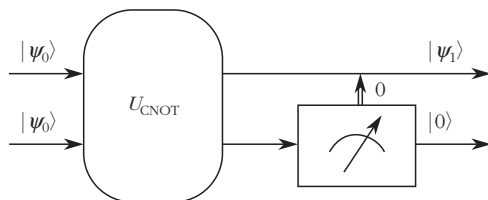
Kiss Tamás fizikus, a Wigner FK Kvantumoptikai és Kvantuminformátikai Osztályának vezetője. 1999-ben szerzett PhD fokozatot az ELTE-n. Kutatási területe a kvantuminformátika elmélete és gyakorlata, valamint a kvantummechanika alapjaihoz kapcsolódó problémák, így például az a kérdés, hogy a kvantum rendszereket hogyan zavarják meg a rajtuk végzett mérések. Számos ötletét megvalósították fotonikus kísérletekben. Éveket töltött a skóciai St. Andrews-i egyetemen, illetve több német kutatócsoportban.

illetve a mérések alapján alkalmazott szelekción alapulnak. Az egyes kvantummechanikai mérések kimenete fundamentálisan véletlenszerű. A megmért qubitet csak egy bizonyos valószínűséggel találjuk valamelyik állapotban. Munkánkban olyan protokollokra fókuszálunk, amelyekben közbeiktatott méréseket végzünk és a dinamikát csak olyankor folytatjuk, ha a mérés az általunk előírt állapotot adja, ellenkező esetben úgy tekintjük, hogy protokollunk lépése „nem sikerült”. Ez tehát azt jelenti, hogy egy lépés csak bizonyos valószínűséggel következik be, de ha sikeres volt, akkor a kezdőállapot egyértelműen meghatározza a végállapotot.

Egy ilyen nagyon egyszerű alpprotokollt újra és újra hattanva egy qubit dinamikája meglepően gazdag viselkedést mutat: komplex, determinisztikus káosz jelenik meg, amelyet a kezdőállapotok terében egy fraktál jelez. Ez a pókhálószerű képződmény választja el egymástól a különböző konvergenciaregiókat. A fraktál egy pontjából indulva nehezen megjósolható, úgynevezett kaotikus viselkedést kapunk. Ugyanezen elrendezés egy másik paraméterbeállítás esetén gyökeresen más arcát mutatja: minden kezdőállapot kaotikus viselkedéshez vezet. A rendszer ebben az esetben ergodikus: az időfejlődés során tetszőleges kezdőállapot kis környezete véges lépés alatt bejárja a teljes fázisteret. Mindez tiszta, külső zajtól mentes kezdőállapotokra igaz. Mi történik azonban akkor, ha a kezdőállapot zajos? Ezt vizsgáljuk ebben a munkában. Az első esetben azt tapasztaljuk, hogy a zaj mennyiségét fokozatosan növelve megmarad a fraktál, sőt egy kritikus zajmennyiségig a fraktáldimenzió sem változik. A kritikus pontban a fraktál eltűnik, a jellemző fraktáldimenzió lépcsőszerűen ugrik, ami egy fázisátalakuláshoz hasonlít. A másik említett esetben viszont tetszőlegesen kis zajt adagolva a kezdőállapothoz hosszútávon elveszítjük az ergodikusságot és bármely zajos kezdőállapot a maximálisan zajos végállapothoz tart.

Mérésekkel indukált nemlineáris dinamika

Tegyük fel, hogy van egy qubitsokaságunk, amelynek kvantumállapota kezdetben valamilyen $|\psi_0\rangle$ állapot, majd vegyünk ezekből párokat, amelyeken hajtsunk végre egy alapvető kétqubitese összefonó műveletet, például a CNOT műveletet (1. ábra).



1. ábra. A legegyszerűbb nemlineáris séma.

A CNOT (Controlled NOT) elnevezés onnan ered, hogy a két qubit közül az egyik (a kontroll qubit, az ábrán A -val jelölve) állapota határozza meg, hogy a

másik qubiten (a cél qubiten, az ábrán B -vel jelölve) végrehajtható-e a NOT művelet vagy sem. Ha a kontroll qubit (A) állapota $|0\rangle$, akkor a cél qubit (B) változatlan marad, ha pedig a kontroll qubit állapota $|1\rangle$, akkor a cél qubit állapota az ellenkezőjére változik. A $|0\rangle$ és a $|1\rangle$ állapotok alkotják az úgynevezett számítási bázist, vagyis ezen vektorok komplex számokkal vett lineáris kombinációjával fejezhető ki a qubit tetszőleges tiszta állapota. A CNOT művelet után mérjük meg a B -vel jelölt qubitet. Ha a mérési eredményünk 0, akkor tartjuk meg A -t, ellenkező esetben dobjuk el. Ez a nagyon alapvető protokoll – amelyet [1]-ben javasoltak először – arra vezet, hogy a megmaradt A qubit kvantumállapota a kezdeti állapothoz képest nemlineárisan változik meg. Írjuk ugyanis a $|\psi_0\rangle$ állapotot (kezdetben ebben az állapotban van A és B is) egyetlen z komplex számmal paraméterezve:¹

$$|\psi_0\rangle = \frac{1}{\sqrt{1+|z|^2}} (|0\rangle + z|1\rangle),$$

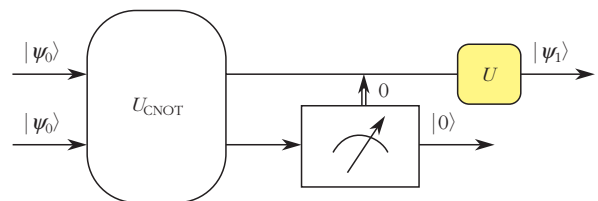
majd a bemenő kétqubitese állapotot pedig úgy, mint $|\Psi_0\rangle = |\psi_0\rangle_A \otimes |\psi_0\rangle_B$. A CNOT művelet elvégzése után, ha a B qubiten végrehajtott mérés eredménye 0, akkor az A qubit állapota:

$$|\psi_1\rangle_A = \frac{1}{\sqrt{1+|z|^4}} (|0\rangle + z^2|1\rangle),$$

vagyis az eredetileg z -vel jellemzett állapot a protokoll sikeres végrehajtása után z^2 -tel írható le, azaz nemlineárisan transzformálódik. Mivel egy kvantumállapotot egyértelműen jellemez egy z komplex szám, ezért elegendő a z komplex számon értelmezett $f(z)$ függvény tulajdonságait vizsgálnunk.

Érdekes protokollok tiszta állapotokon

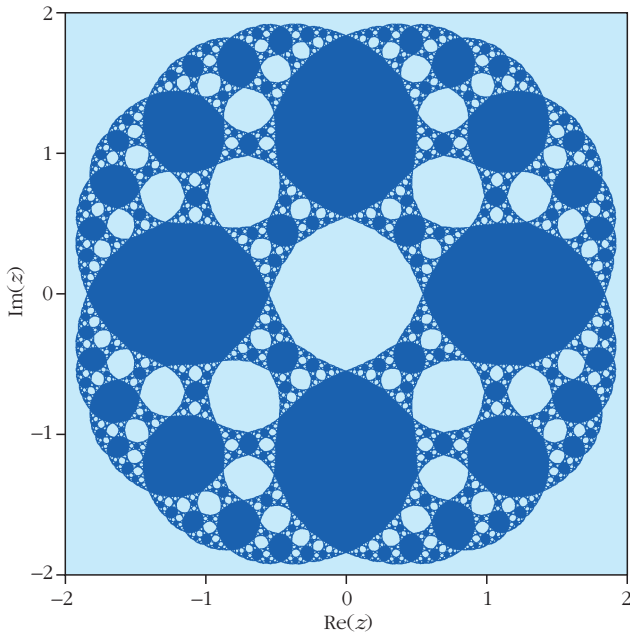
A fent bemutatott sémát kiegészíthetjük egy – a megtartott A qubiten ható – további egyqubitese U művelettel (2. ábra).



2. ábra. A nemlineáris séma kiegészítve egy U egyqubitese művelettel.

Az U művelet – a sémára jellemző komplex függvények tulajdonságait is figyelembe véve – általánosan két valós paraméterrel írható le, amelyek értékétől függően igen jelentősen különböző nemlineáris leképezések jöhetnek létre. A továbbiakban két speciális esettel foglalkozunk.

¹A két komplex együttható helyett elég egyet használni, mert a kvantumállapot egyre normált és a komplex fázisa tetszőleges lehet.



3. ábra. A kezdőállapotokat reprezentáló komplex z sík, aszerint színezve, hogy az adott pont az f_H függvény páros számú iterálása után a $z^{(1)}$ ponthoz (világoskék), vagy a $z^{(2)}$ ponthoz (sötétkék) konvergál.

Legyen az egyqubites leképezés egy úgynevezett Hadamard-kapu

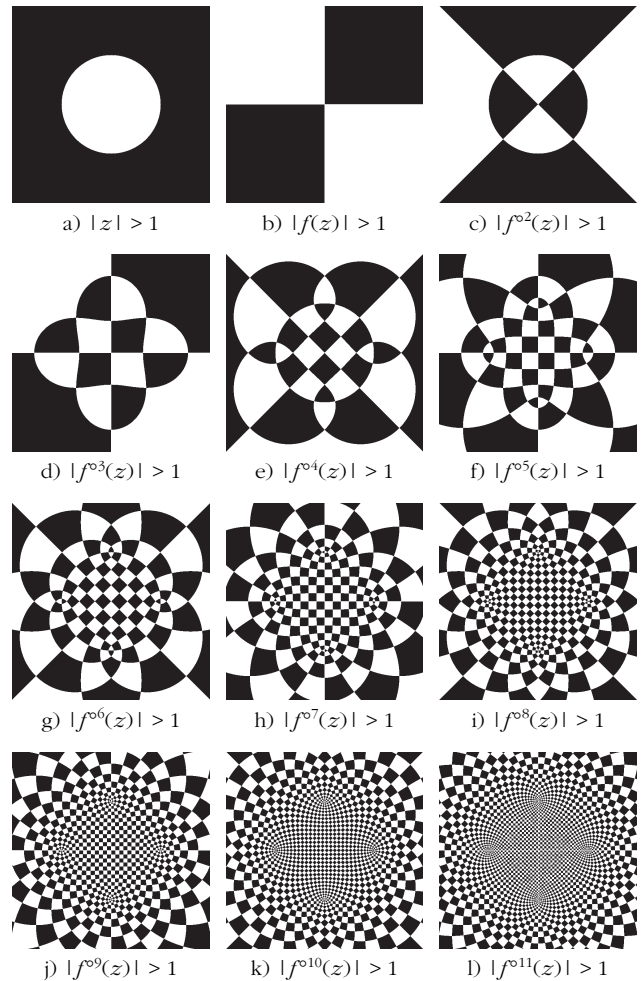
$$U_H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Ekkor a 2. ábrán bemutatott séma az

$$f_H(z) = \frac{1 - z^2}{1 + z^2}$$

nemlineáris leképezést eredményezi. Ha elgondoljuk, hogy a kezdeti qubitsokaságunk nagy, akkor a protokollt több qubitpáron is megismételhetjük, majd a sikeresen transzformált qubiteket is párba állíthatjuk és rajtuk még egyszer végrehajthatjuk a protokollt, majd a sikeresen transzformáltakon ismét és így tovább. Az egyes lépések az $f_H(z)$ függvény iteráltjainak feleltethetők meg. Egy ilyen típusú időfejlődést tehát a komplex függvény iteratív dinamikai tulajdonságaival jellemezhetünk.

Az f_H függvénynek egy vonzó ciklusa van: a $z^{(1)} = 0 \leftrightarrow z^{(2)} = 1$ ciklus és ugyanannyi iterációs lépés után a kezdeti állapotok egy része $z^{(1)}$ -hez, másik része $z^{(2)}$ -höz tart (3. ábra), majd egy lépés után váltanak. A kvantumállapotok nyelvén ez a 2-hosszú ciklus a $|0\rangle \leftrightarrow |1\rangle$ ciklusnak felel meg. A két szín határvonala egy olyan zárt halmaz, az úgynevezett Julia-halmaz, amelyből a leképezés az iterálása során nem vezet ki és amely tartalmazza a komplex kvadratikus racionális függvény összes taszító fix ciklusát, ennek ellenére kaotikusnak tekinthető, mivel bármely kis környezetből véve pontokat, azok az időfejlődés során az egész halmazt bejárják [2]. Látható, hogy a Julia-halmaz egy fraktál.



4. ábra. Az ergodikus eset időfejlődése. A kezdőállapotok z komplex síkjának pontjait akkor színeztük feketére, ha arra a pontra $n = 0, 1, 2, \dots$ alkalommal hattanva az $f(z)$ függvényt egynél nagyobb abszolút értékű számot kaptunk, egyébként fehéren hagytuk.

Tekintsük azt a protokollt, amelyben az U művelet:

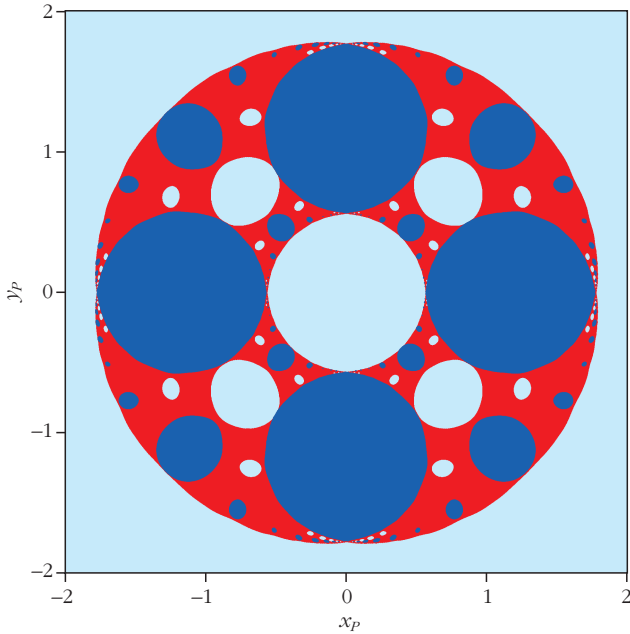
$$U_L = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & i \\ i & 1 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Ebben az esetben a séma az

$$f_L(z) = \frac{z^2 + i}{iz^2 + 1}$$

leképezést eredményezi. Ez egy igen speciális kvadratikus racionális függvény, egy úgynevezett Lattès-leképezés, amelyik nem rendelkezik vonzó fix ciklussal, vagyis a Julia-halmaza maga a komplex sík. Ez azt is jelenti, hogy minden tiszta kezdeti állapot kaotikusan fejlődik, ezért a dinamika ergodikus [3]. Az ergodikus tulajdonság itt úgy értendő, hogy ha egy tetszőleges kezdőállapot bármely kis nyílt környezetét vesszük, ezen halmaz iteráltjai véges számú lépés után lefedik a teljes állapotteret. A dinamika érzékenységet a kezdőállapotokra jól szemlélteti a 4. ábra.

A továbbiakban azt mutatjuk meg, hogyan módosítja a zaj ezen protokollok viselkedését.



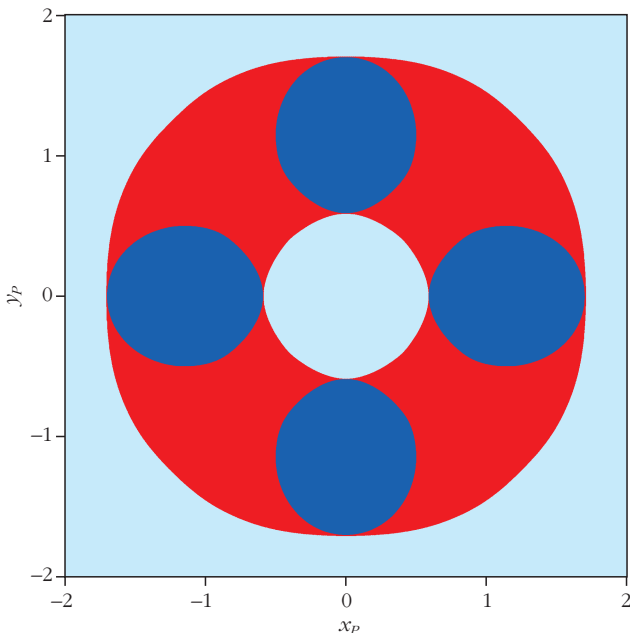
5. ábra. A $P = 0,87$ tisztaságú Bloch-gömb felület sztereografikus vetülete aszerint színezve, hogy az adott állapot a $z^{(1)} \leftrightarrow z^{(2)}$ tiszta ciklushoz (világoskék \leftrightarrow sötétkék), vagy a maximálisan kevert állapothoz (piros) konvergál. Itt $x_p = u([2P+1]^{1/2} + w)^{-1}$ és $y_p = v([2P+1]^{1/2} + w)^{-1}$.

Zajos kezdőállapotok dinamikája

Tegyük most fel, hogy qubitsokaságunk kezdőállapota zajos. Ekkor nem vektorokkal, hanem a sűrűségmátrixszal reprezentálhatjuk az állapotot, a következő alakban:

$$\rho_0 = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1+w & u-iv \\ u+iv & 1-w \end{pmatrix}, \quad (3)$$

6. ábra. A $P = 0,75$ tisztaságú Bloch-gömb felület sztereografikus vetülete. A színezés és a jelölések megegyeznek az 5. ábráéval.



ahol az u, v, w valós számok a ρ_0 koordinátái a Bloch-gömbben, amelyekre igaz, hogy

$$\text{Tr}(\rho^2) = P = \frac{1 + u^2 + v^2 + w^2}{2} \leq 1.$$

A P mennyiség egyúttal az állapot tisztaságát jellemzi: ha $P = 1$, akkor az állapot tiszta (ekkor a Bloch-gömb felszínén van az állapot), ha $P = 1/2$, akkor maximálisan kevert, azaz teljesen zajos (ez a Bloch-gömb középpontja).

A Hadamard-kapuvál kiegészített protokoll esetén egy lépés után a ρ_1 transzformált sűrűségmátrix Bloch-gömb koordinátái a következők lesznek:

$$u' = \frac{2w}{1+w^2}, \quad v' = \frac{-2uv}{1+w^2}, \quad w' = \frac{u^2 - v^2}{1+w^2}, \quad (4)$$

vagyis ebben az esetben – a tiszta esettel szemben – nem egy komplex kvadratikus függvény, hanem egy három valós változós valós leképezés (jelöljük ezt \mathcal{M}_H -val) írja le a kvantumállapotok transzformációját. Mivel a v' koordináta arányos a bemenő sűrűségmátrix v koordinátájával, ezért az $(u, v=0, w)$ egy invariáns síkja lesz az iterált \mathcal{M}_H leképezésnek, amelyről nem vezet ki a dinamika. Ez a sík a leképezés jónéhány fix ciklusát tartalmazza. Itt találjuk azt a továbbra is vonzó 2-hosszú tiszta ciklust, amelyet a tiszta állapotok esetén találtunk, valamint vonzó fixpontként megjelenik a maximálisan kevert állapot (a Bloch-gömb középpontja). Ezen kívül találunk még egy taszító kevert fixpontot is, amelynek koordinátái $C_1 = (0,639, 0, 0,361)$ és amely a $P = 0,769$ tisztaságnál található, a Bloch-gömb belsejében.

Ha ábrázoljuk, hogy melyik vonzó ciklushoz konvergálnak egy rögzített tisztaságú gömbfelületről származó kezdőállapotok, akkor azt tapasztaljuk, hogy a konvergens tartományok határvonalaként előálló struktúra egy bizonyos mértékű kezdeti zaj ellenére továbbra is egy fraktál, ahogyan az az 5. ábrán is látható.

Egyre kevertebb kezdőállapotokból indítva a protokollt, a maximálisan kevert állapothoz tartozó tartomány egyre dominánsabbá válik, mígnem egy kritikus tisztaságnál már a fraktáljellegét nagytáskával sem látjuk. Ezt a kritikus kezdeti tisztaságértéket numerikus szimulációink alapján $P_c = 0,769$ -nek találtuk. (P_c a numerikus módszerünk pontosságán belül megegyezik a fent említett C_1 kevert fixpont tisztaságával.) Ennél kisebb tisztaságú kezdeti állapotokra a különböző színű tartományok határvonala regulárisává válik, erre mutat példát a 6. ábra.

A különböző kezdeti tisztaságok esetén kapott fraktálméreteket numerikusan meghatározva² azt találtuk, hogy a fraktáldimenzió értéke a

²A fraktáldimenziót az úgynevezett „box-counting” módszerrel mértük, amely azon alapul, hogy a fraktált ábrázoló képet r oldalhosszúságú négyzetekkel lefedjük és megszámláljuk a lefedéshez szükséges négyzetek $N(r)$ számát különböző r -ekre, majd ábrázoljuk $\log(1/r)$ függvényében $\log(N(r))$ -et. Az így ábrázolt pontsorozat jó közelítéssel egy egyenesre esik, amelynek meredeksége adja meg a fraktáldimenzió értékét.

kritikus tisztaságig (P_c) állandó, az alatt viszont ugrás-szerűen megváltozik, egy fázisátalakuláshoz hasonlóan. Ez látható a 7. ábrán.

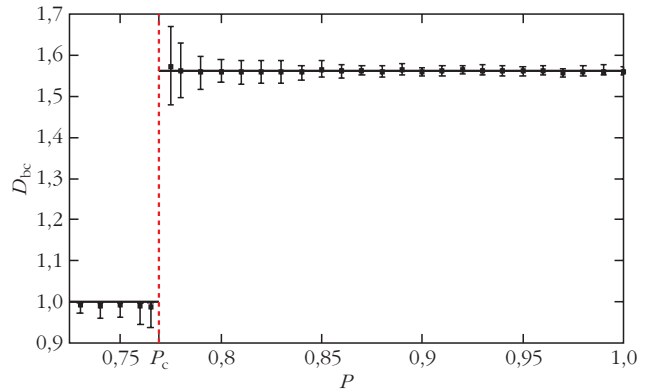
Ha nem túl sok zajt keverünk a kezdőállapothoz, akkor a D_{bc} fraktáldimenzió értéke állandónak tekinthető, értéke közelítőleg 1,56. A kritikus tisztaságot elérve a fraktál hirtelen eltűnik. Megjegyezzük, hogy a numerikus hiba mértéke a kritikus tisztaság közelében megnő, mivel itt a fraktál már csak egyre nagyobb nagyítás esetén látható [4].

Térjünk rá ezután a Lattès-protokollra [3], amelyről említettük, hogy minden tiszta kezdőállapotra kaotikus időfejlődést eredményez. Ha a kezdőállapot zajos, azaz egy (3) alakú, ρ_0 kevert állapot, akkor megmutatható, hogy ez a protokoll az \mathcal{M}_L valós leképezéssel írható le, amely egy lépés után a ρ_0 Bloch-koordinátáit az alábbiak szerint transzformálja:

$$u' = \frac{u^2 - v^2}{1 + w^2}, \quad v' = \frac{2uv}{1 + w^2}, \quad w' = \frac{2uv}{1 + w^2}. \quad (5)$$

E leképezésnek – a (4)-ben bemutatott \mathcal{M}_H leképezéssel ellentétben – nincs invariáns síkja. Analitikus és numerikus módszerekkel meghatároztuk a legfeljebb 2 hosszúságú ciklusokat (a hosszabb ciklusok meghatározása már jelentősen számításgényesebb feladat). Ezek egy kivételével mind megegyeznek a tiszta esethez tartozó leképezés fix ciklusával, amelyek mind taszítóak. Az említett kivétel a leképezés egyetlen vonzó kevert fixpontja: a maximálisan kevert állapot, ami a lehető legtöbb zajt tartalmazza (azaz a Bloch-gömb középpontja). Kevert taszító fixpontja – az \mathcal{M}_H -val szemben – nincs.

A zajos kezdőállapotok esetén végbemenő dinamika vizsgálatát numerikus szimulációkkal is elvégeztük. Véletlenszerűen választottunk kezdeti sűrűségmátrixokat a Bloch-gömbön belüli térrészből egyenletes eloszlás szerint, és megszámoltuk, hány iterációs lépésre van szükség ahhoz, hogy ezek az állapotok (egy előírt pontosságon belül) megközelítsék a maximálisan kevert állapotot (8. ábra). Azt találtuk, hogy minden ilyen véletlenszerűen választott kezdőállapot véges számú lépés után – az előírt pontosságon belül – eléri a maximálisan kevert állapotot. Minél kisebb a kezdeti zaj, annál több iterációra van szükség, de a lépések száma véges (ami függ az előírt pontosságtól). Ez arra utal, hogy a leképezésnek nincs más kevert vonzó fix ciklusa a Bloch-gömb belsejében, csak a maximálisan kevert állapot. Egy másik – itt nem részletezett – mód-



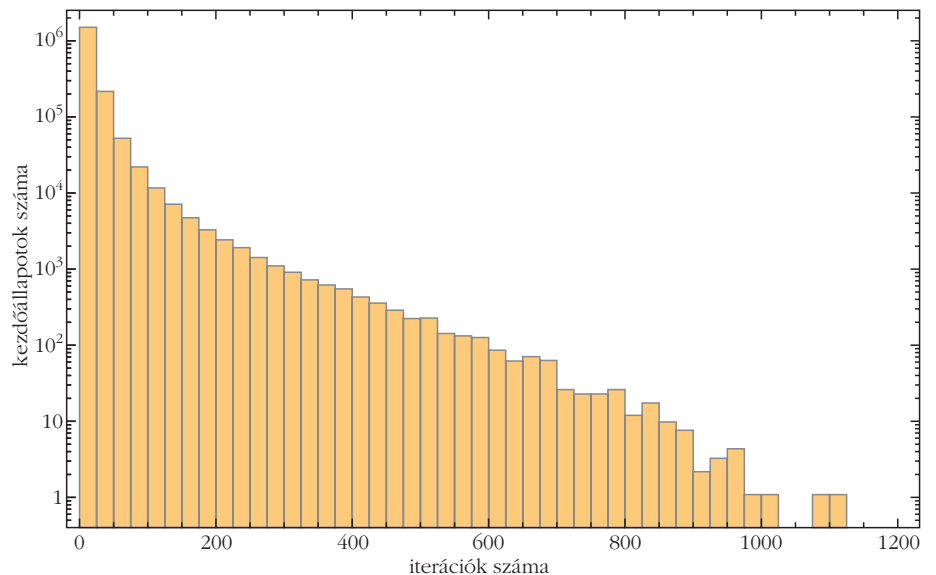
7. ábra. A fraktáldimenzió (D_{bc}) a kezdeti tisztaság függvényében. A fekete négyzetek 37 különböző elforgatás mellett meghatározott fraktáldimenzió-értékek átlagait jelölik, a függőleges vonalak pedig ezek szórását.

szerral azt is meg tudtuk mutatni, hogy a leképezésnek taszító kevert fix ciklusa sincs, amely a dinamikát befolyásolhatná [5].

Gyakorlati szempontból tekintve eredményeink arra világítanak rá, hogy míg a Hadamard-kapus protokoll megtartja az érdekes, fraktállal jellemezhető viselkedését bizonyos mértékű zaj mellett, addig a Lattès-protokoll nagyon érzékeny a kezdeti zajra. Ha a qubiteink zajos sokaságból származnak, akkor utóbbi esetben az időfejlődés már nem lesz tökéletesen kaotikus, mert az iterációk számának növekedésével a megmaradó qubitek állapota egyre zajosabbá válik. Numerikus szimulációink ugyanakkor azt jelzik, hogy bizonyos állapotok csak több mint ezer lépés után érik el a maximálisan kevert állapotot. Ezek azok az állapotok, amelyek csak kicsiny zajt tartalmaznak („majdnem” tiszták). Rájuk még néhány lépésig igaz, hogy „követik” a hozzájuk közeli tiszta állapotok időfejlődését.

Az általunk vizsgált rendszerek egyszerű blokkokból épülnek fel, ahol minden blokk ugyanolyan és

8. ábra. Azon kezdőállapotok száma, amelyek $\varepsilon = 10^{-3}$ pontossággal megközelítik a maximálisan kevert állapotot a feltüntetett számú lépés alatt. Összesen $1,6 \cdot 10^6$ számú véletlen kezdőállapotot vettünk egy $1 - \varepsilon$ sugarú gömbből a Bloch-gömbön belül.



tartalmaz egy elemi kvantumszámítógépet (egy két-qubites összefonó és egy egyqubites kvantumkaput, valamint egy kvantummechanikai mérést, aminek az egyik fajta eredményét fogadjuk el). Ilyen blokkokból építkezve és bemenetként azonosan preparált qubitek sokaságát választva azt találtuk, hogy a tiszta bemeneti és kimeneti qubitsokaság állapotának viszonya komplex kaotikus dinamikát követ [6]. Ez a viselkedés emlékeztet a klasszikus fizikában ismert determinisztikus káoszra, de a dinamikai transzformáció itt egy komplex számokon értelmezett kvadratikusan racionális függvény. Megjegyezzük, hogy ha nagyobb blokkokat választunk és két qubitből álló rendszereket tekintünk, akkor maga az összefonódás is kaotikusan fejlődhet [7].

A kvantuminformatica ideálisan zajmentes esetben működik. A zaj szerepének megértése ezért kulcsfontosságú kvantuminformaticai rendszerekben. A bemutatott esetek rávilágítanak arra, hogy a kezdeti feltételekre rendkívül érzékeny elrendezések zajos kezdeti állapotok esetén is megtarthatják jellegzetes fraktálulajdonságaikat egy kritikus zajmennyiségig. A másik itt tárgyalt példa ergodikus időfejlődést mutatott

tesztölegesen tiszta kezdőállapotra, amelyet azonban a legkisebb hozzákevert zaj is lerontott.

A napjainkban zajló gyors fejlődés egyre több qubitet feldolgozó kvantumszámítógépes platformot tesz elérhetővé. A jelenlegi kvantumprocesszorokkal már néhány lépésig a bemutatott protokoll is futtatható. Így akár a zaj szerepének jobb megértése céljából, akár hasznos protokollok részeként implementálhatjuk őket a jövőben.

Irodalom

1. Bechmann-Pasquinucci H. et al.: Non-linear quantum state transformation of spin-1/2. *Phys. Lett. A* 242 (1998) 198.
2. Milnor J. W.: *Dynamics in One Complex Variable*. Annals of Mathematical Studies, Princeton University Press (2006).
3. Gilyén A. et al.: Exponential Sensitivity and its Cost in Quantum Physics. *Sci. Rep.* 6 (2016) 20076.
4. Malachov M. et al.: Phase transition in iterated quantum protocols for noisy inputs. *Chaos* 29 (2019) 033107.
5. Kálmán O. et al.: Sensitivity to initial noise in measurement-induced nonlinear quantum dynamics. *J. Russ. Laser Res.* 39 (2018) 382–388.
6. Kiss T. et al.: Complex chaos in the conditional dynamics of qubits. *Phys. Rev. A* 74 (2006) 040301(R).
7. Kiss T. et al.: Measurement-Induced Chaos with Entangled States. *Phys. Rev. Lett.* 107 (2011) 100501.

VÉLEMÉNYEK

A FIZIKA TÖRTÉNETI MEGKÖZELÍTÉSÉNEK DIDAKTIKAI SZEMPONTJAI A FIZIKAÓRÁN

Szabó Róbert

ELTE Történelemtudományi Doktori Iskola és
Petőfi Sándor Kiskőrösi Evangélikus Gimnázium,
Szakgimnázium és Technikum

Véleményem szerint fontos belátni, hogy a hagyományos fizikaoktatás új és izgalmas megoldásokat igényel [1]. A minél több kísérletezés és demonstráció, az egyes fizikai problémák gyakorlati alkalmazásainak rögzítése, illetve az IKT-eszközök egyre hangsúlyosabb alkalmazása e célnak, a folyamatosan változó világ jelenlegi követelményeinek próbálnak megfelelni. A fizika, mint tantárgy megreformálásának további alternatíváját jelentheti a fizika történeti alapú megközelítése, vagy a történelmen keresztül történő szemlélete.

A szerző háláját tanúsítja *Tasnádi Péternek*, az ELTE TTK nyugalmzott egyetemi tanárának az írás témájában tett hasznos meglátásaiért.



Szabó Róbert az Eötvös Loránd Tudományegyetem Történelemtudományi Doktori Iskolájának első éves doktorandusza, valamint a Petőfi Sándor Kiskőrösi Evangélikus Gimnázium, Szakgimnázium és Technikum fizikatanára. Fizika szakmódszertan tekintetében másodéves egyetemista kora óta főként olyan témákban kutat, amelyekkel a fizika és történelem összekapcsolására törekszik, az elkészített tananyagokkal pedig a tanárszakos hallgatók, illetve kollégái munkáját segíti.

E felfogást előtérbe helyezve, írásomban a fizika történeti megközelítésével, a fizika történetének tanításával, didaktikai és pedagógiai elveivel kapcsolatos, hazánkban ezidáig megjelent értelmezéseket mutatom be. Cikkemben nem a fizikatörténeti műveket, vagy a fizika tanításának jelenlegi körülményeit, elvárásait kívánom bírálni, hanem olyan alternatív tanítási lehetőséget részletezek, amelynek – meglátásom szerint – a fizika tanításában lehet értelme vagy haszna.

Ehhez elsőként a fizikatörténet tanításával kapcsolatos körülményeket, illetve elvárásokat célszerű megvizsgálni, amelyet követően részleteiben is kifejtem a fizika történeti alapú megközelítésére vonatkozó két saját, önálló javaslatomat.

A fizikatörténet jelenlegi követelményei

A fizikatörténet tanításának fontosságát a Nemzeti Alaptanterv (NAT) is kiemeli, s jelentőségét fokozza, hogy a fizika az egyetlen olyan tantárgy, amelynek érettségi követelményei között tételesen is jelen van a tudománytörténet [2]. A részletek áttekintése céljából a jelenleg elvárt követelményrendszer tükröző 2020-as NAT-ot érdemes megvizsgálni, amely átfogóan tartalmazza a fizika, mint tantárgy által előírt célkitűzéseket és a legfontosabb követelményeket a hetedik-től a tizedik évfolyamig bezárólag.

A NAT a fizikatörténetre vonatkozóan, egyrészt általánosan közli, hogy „a tantárgy céljai közt szerepel a fizika természettudományos és általános társadalmi kontextusának kibontása, mely leginkább a tudománytörténet érdekesebb fejezeteinek tanulmányozása révén válik lehetővé” [3]. Másrészt, a *Tanulási eredmények* cím alatt mind a 7–8., mind a 9–10. évfolyamokra vonatkozóan megállapítja, hogy általános cél, illetve követelmény „a fizikai ismeretek bővülése és a társadalmi-gazdasági folyamatok, történelmi események közötti kapcsolatok” felismerése. Évfolyamok közötti eltérést az elvárásokra vonatkozó konkrétumok kifejtésénél fedezhetünk fel. Ugyanis, az általános iskolai képzés vonatkozásában a NAT a fizikai ismeretek bővítésében a fizikatörténet gazdasági és társadalmi hatásainak fontosságára koncentrált: egyrészt híres fizikusok életének és tevékenységének megismerését írja elő, illetve az ő tevékenységük „társadalmi összefüggéseit” kéri számon, másrészt a fizikai kutatás által megalapozott technikai fejlődés egyes fejezeteinek a társadalomra, illetve történelemre gyakorolt hatásának ismeretét várja el. (Ugyanakkor, nem konkretizálja, hogy mely tudósokra gondol, csak néhány példát említ *Isaac Newton*, *Arkhimédész*, *Galileo Galilei* és *Jedlik Ányos* személyében.) A középiskolai követelményekre vonatkozó előírás az általános iskolaival szemben már konkrét példák esetében várja el, hogy a tanuló képes legyen felismerni a kapcsolatot a fizikai tudásrendszer bővülése és a vele párhuzamosan zajló gazdasági-társadalmi folyamatok, illetve történelmi események között. Emellett előírja, hogy a tanulók képesek legyenek adatokat gyűjteni és feldolgozni 11 híres fizikus – név szerint *Galileo Galilei*, *Michael Faraday*, *James Watt*, *Eötvös Loránd*, *Marie Curie*, *Ernest Rutherford*, *Niels Bohr*, *Albert Einstein*, *Szilárd Leó*, *Wigner Jenő*, *Teller Ede*¹ – életével, tevékenységével, eredményeiknek gazdasági és társadalmi, valamint emberi hatásával kapcsolatban [3].

A fizika fizikatörténeti alapú megközelítésének jelentősége

Az alább részletezett szempontok alapján megállapítható, hogy a fizikatörténet tanításának hasznosságával kapcsolatban a kérdéskörre vonatkozó vélemények

¹Az persze már egy másik kérdés, hogy miért éppen ezen tudósról kell bővebb ismeretekkel rendelkezniük a tanulóknak.

egybehangzóan egyetértők. Ugyanakkor meglepő, hogy a fizikatörténet jelentőségének indoklásakor e vélemények alapvetően különböznek, s egymástól eltérő álláspontok sorakoztathatók fel.

Mindenekelőtt említve *Simonyi Károly* (1916–2001) professzort, mérnököt, fizikust – és a fizika történetének talán legnagyobb hazai ismerőjét –, az 1978-as megjelenés óta öt kiadást is megért *A fizika kultúrtörténete* című művében azt emelte ki, hogy a fizika történetének ismertetésével általánosságban tehetjük érdekessé, élményszerűvé a fizika tanítását, amely akár „életideálokat”, „magatartásmintákat” is adhat [4].

Radnai Gyula, az ELTE TTK nyugalmazott docense szerint a fizika történeti megközelítésének értéke, hogy segítségével a pedagógus a fizikai fogalmak fejlődését kronologikus úton keresztül tárgyalhatja. Ugyanakkor a tudósok egyéni sorsának megismerésével a régmúlt tudományos gondolkodásának társadalmi viszonyai is megismerhetők, amelyek esetenként kölcsönhatásban lehetnek a tudományok fejlődésével vagy éppen visszafejlődésével. Emellett a fizikatörténet nem csak a tudományos fejlődés sikerreit, hanem kudarcait is felidéz, bátorítva a tanulókat arra a magatartásra, hogy saját kudarcaikkal, illetve tanáraik tévedéseivel szemben legyenek megértőbbek és elfogadóbbak, hiszen számos példa akadt arra, hogy egy-egy tudós csak sokadszori kísérletezés után tudott helyes eredményre vagy következtetésre jutni [5].

Radnóti Katalin, az ELTE TTK főiskolai docsenek álláspontja szerint a fizikatörténet hasznossága abban rejlik, hogy a gyermeki – főként téves – elképzelések² szinte pontosan követik a mára már csak legfeljebb érdekesnek, ám tudományos szempontból mindenképp túlhaladottnak, elavultnak tekinthető elméleteket, amely hibás hipotéziseket a megfelelő tudás ismeretében könnyebben cáfолhatjuk meg [2].

Zemplén Gábor, a BME GTK Filozófia és Tudománytörténeti Tanszékének egyetemi tanára azt emeli ki, hogy a fizika tanításában előfordulhatnak olyan, nehezebben vagy csupán több időráfordítással elsajátítható témakörök vagy problémák, amelyek sikereesebb, hatékonyabb tanításakor a pedagógusok is tanácstalanok. Ezért lehet érdemes például a fizika történetet valamiképpen integrálni a tanórán [6].

Én magam – habár frissen végzett, fizika-történelem tanárszakos hallgatóként még éppen hogy csak ismerkedem a fizikatörténet tanításának módszertanával – korábbi tudományos diákköri (TDK) dolgozataimban, illetve megjelent publikációimban elsősorban azt emeltem ki, hogy a tudománytörténeti s így fizikatörténeti témák kidolgozásával, iskolai megtanításával a természettudományok felé kevésbé orientálódó diákok figyelmét is leköthetjük, nagyobb érdeklődésre sarkallhatjuk őket [7].

²A teljesség igénye nélkül említhető erre néhány példa, mint *Arisztotelész* mozgással kapcsolatos szemlélete, a hó mint mennyiség értelmezése stb. [2].

A fizikatörténet tanításának jelen helyzete

Nem csak a saját, a kollégákkal – s így gyakorló tanárokkal, illetve frissen végzett tanárszakos hallgatókkal – folytatott eszmecsereim igazolják, hanem véleményem szerint általános tapasztalat, hogy a pedagógusok elhanyagolják a fizika tanításában a történeti megközelítést, legalábbis ódzkodnak tőle. Felmerül a kérdés, hogy ennek mi lehet az oka, hiszen az előzőekben láttuk, hogy a fizikatörténet tanításának jelentőségét az említett vélemények egybehangzóan kiemelik.

Szerintem a legadekvátabb válaszra Zemplén Gábor mutat rá már idézett tanulmányában. Itt ugyanis a szerző kifejti, hogy a hiba két oka a tanárok gondolkodásában, illetve azok ismeretanyagában (legalábbis képzésében) érhető tetten. Egyrészt, legtöbbször talán úgy gondolkodik, hogy a tudománytörténeti vagy filozófiai diszciplína a fizikaórákon csak úgy jelenhet meg, mint ami nem a konkrét tananyag MELLETT, hanem HELYETT bukkan fel! Ez azt jelenti, hogy a pedagógusok egy része talán úgy gondolkodik, hogy a törzsanyag megtanításába beillesztett életrajzok vagy kitekintések tárgyalása után vissza kell térni a „komolyabb” tananyaghoz. Másrészt, a fizikatanárok (sőt a fizikával foglalkozó egyetemi oktatók, szaklapírók) gyakran nincsenek birtokában azon ismeretanyagoknak, amely lehetővé tenné számukra, hogy szakterületük ismereteit az említett diszciplínák valamelyikével kiegészítsék, hiszen erre senki sem képezte vagy készítette fel őket, miközben az esetleges önálló ismeretszerzésre sem idejük, sem lehetőségük nincs. Vagyis, ahhoz, hogy tudománytörténeti megközelítést használjanak, igényük lehet már kidolgozott fizikatörténeti segédanyagokra, esetleg feladatgyűjteményekre vagy tankönyvekre.

A fizikatörténet tanításának módszertani kérdései

Éppen az előbb említett problémából, vagyis a fizikatörténet gyakorlati alkalmazásának hiányából adódik, hogy a fizika történetének tanítására itthon még nem rendelkezünk kiforrott módszertannal, inkább csak ötletekkel. A következőkben két fő gondolat köré csoportosítva néhány ilyen lehetőséget mutatok be.

Az alkalmazás egyik lehetősége a fizikatörténet emberarcúságának kiemelésében rejlik. Zemplén Gábor mutat rá, hogy tudománytörténeti elemekkel tudatosan építhetünk – a tudás emberi dimenziójának és keletkezéstörténetének ismeretében, azaz felhasználva a tudomány „emberi arcát” – különböző motivációs gyakorlatokat, érzelmi konfliktusokat, sőt akár dramaturgiai játékokat is, amellyel serkenteni lehetne a tanulási folyamatot [6]. Kovács László nyugalmazott főiskolai tanár, fizikatörténész egyetért ezzel az állásponttal és kiemeli, hogy a fizikatörténet tanításának szerepe nem abban rejlik, hogy évszámok vagy nevek halmazát, esetleg ezek éppen releváns kombinációját

megtanítjuk, hanem, hogy magáról a fizikusról, illetve a felfedezés körülményeiről beszélünk. Az emberarcúság segíthet, hiszen az ember iránt könnyebb lehet felkelteni az érdeklődést, amelyet követően az már könnyen átvihető a vizsgált fizikai jelenségre vagy eszközre [8]. Simonyi Károly szerint, ha a hangsúlyt a nagy tudósok tevékenységére helyezzük, akkor a fizika fejlődésének folyamatát a „nagy egyéniségek nagy gondolatainak” megismerésével érthetjük meg. Ez lényegében azt jelenti, hogy megtanítjuk, hogy a fizika nagy törvényeit ki és mikor fedezte fel, esetleg ki kívül vetekszik az érdem elsőségéért, azaz merre felé hajlik el a „prioritásvita” [4]. Legfrissebb írásában Radnóti Katalin mindezt azzal egészíti ki, hogy érdemes egy felfedezés „életútjára” koncentrálni, azaz előtérbe helyezni a korabeli tudományos álláspontot és megismerési módszereket, hogy megvilágítsuk egy-egy tudós lehetséges kutatási kérdéseit, vizsgálódásának menetét [9].

Az alkalmazás másik lehetősége a fizikatörténetet formáló nagy kísérletek iskolai keretekben történő bemutatása vagy megépítése. Kovács László a már idézett tanulmányában fejti ki, hogy a tanulók általában szeretik a régi, híres kísérleteket, illetve előszeretettel építenek meg újra vagy javítanak működőképesen ilyen régi eszközöket. E célból a tanár elemezheti a kísérleti eszköz vázlatos rajzát, megmutathatja a berendezés eredeti fényképét vagy leírását, illetve az egykori méréseket reprezentálhatja a régi kísérleti berendezés korhű másolatának elkészítésével, megszerkesztésével is [8]. E módszertani lehetőséget követve, egy korábbi cikkemben régi középiskolám, a *Kalocsai Szent István Gimnázium* (korabeli nevén a *Kalocsai Érseki Főgimnázium*) röntgenlaboratóriumát, annak működésének alapját és alkalmazásának módját vettem górcső alá. Írásom bevezetőjében kifejtettem, hogy középiskolai fizikatanárként munkánk jelentős részét a fizikaszertárban vagy fizikalaboratóriumban töltjük a tanórai kísérletekre való felkészülés céljából, miközben lépten-nyomon olyan, esetenként nagyon régóta nem használt eszközökbe, berendezésekbe botlunk, amelyeket nemhogy használni nem tudunk, de rendeltetésük céljával sem vagyunk tisztában. A szertár 20., sőt 19. századi felszerelésének megismerése azonban három ok miatt is fontos. Egyrészt rendelkezésre állhat olyan eszköz, amely napjaink egy-egy új, drágán beszerezhető darabját is pótolhatja; másrészt alkalmazásukkal testközelben tudunk beszélni azokról a témákról, amelyek jelenünkben más, önálló tudományág (például orvostudomány) részeivé váltak, így az iskolában már demonstrációs célokból sem tanítjuk őket. Végül, a szükséges eszközök beszerzésével lehetővé válna, hogy írásom alapján a laboratóriumot újra megépítsük, sőt akár oktatási célra is alkalmazzuk [7].

Simonyi szerint a fizikatörténet ilyen szempontú tanítása azonban nem alkalmas az oktatásban a felfedezettől tanulásra, hiszen a diákok elé téve a régi tudósok által szerkesztett, az oktatásban azonban rendkívüli módon leegyszerűsített eszközöket, hamis hitet

ébreszthetünk a tanulóiban. Ezáltal úgy tűnhet, hogy a kísérletek eszközeinek megkonstruálása és azok végrehajtása könnyű, bárki számára elvégezhető feladat, hamisan állítva be a tudósok nagyszerű eredményeit. Ezért Simonyi szerint „csak a történelmi szemlélet mutathat rá, hogy tulajdonképpen miben volt a felfedezés döntő lépése, amelyekhez zsenialitásra és igen sokszor nem mindennapos emberi bátorságra volt szükség” [4]. Eszerint tehát tanulság, hogy a régi, szemléletformáló kísérletek alkalmazása vagy bemutatása csak akkor érheti el az általunk megkívánt eredményt, ha ahhoz elméleti szemléltetés is társul.

Saját vélemény, mint egy lehetséges megoldás

Saját álláspontom szerint a fizika történeti alapú megközelítésének lehetőségei nem merülnek ki pusztán az említett ötletek iskolai tanórán történő alkalmazásában. Véleményem kifejtésére a következőkben két, az eddigiekben nem említett lehetőséget vázolok fel, semmiképpen sem követendő előírásként, hanem csupán egy lehetséges megoldás gyanánt.

Egyrészt fontosnak vélem, hogy fordítsuk meg a fizika történeti alapú megközelítésének kérdését! Érdemes lehet ugyanis a történelemben előforduló, főleg technikai vonatkozású történeti eszközöket vagy történelmi eseményeket a fizika szemüvegén keresztül vizsgálni, azaz működésük, alkalmazásuk megmagyarázásához a természettudományok segítségét hívni. A releváns témák széles választékából néhány elemre már felhívtam a figyelmet korábbi írásaimban. A teljesség igénye nélkül említhető meg például az ókori Egyiptom múmiáinak radiokarbon kormeghatározása, az atombomba fizikája és annak történeti háttere, sőt akár a jövő tudományát érintő drónok technológiája is. Az első világháború, és azon belül a Párizs-ágyú néven elhíresült monstrum fizikájával kapcsolatban megjelent cikkem a háborúk fizikájának ismeretére koncentrált, s kiemeli, hogy a háborúk harceszközeit évezredek óta a fizika tudománya és a mérnöki technika támogatta, ebből adódóan pedig a múlt hadieseményeit áttekintve nem hagyhatjuk figyelmen kívül azok tudományos hátterét sem [1]. Az oktatás számára talán ez, a „történelem fizikájának” [10] vizsgálata jelenthet egyfajta újdonságot, amelyre ezideáig még kevés példa akadt. Éppen ezért javaslom minél több történelmi téma vagy esemény fizika felhasználásának segítségével történő kidolgozását, s ebből akár segédanyagok, vagy önálló tananyagok, óravázlatok elkészítését. Álláspontom igazolására Simonyi Károly gondolataira hivatkozom, aki szerint a fizika nem csupán természettudományi, hanem társadalmi jelenség, amelynek fejlődése összefügg a társadalmi jelenségek összességével. Teljes megértéséhez ismernünk kell többek között a technika történelmi fejlődését, illetve magával a történelemmel való kapcsolatát is [4].

Álláspontom másik elemét a történeti alapú megközelítés fizikatörténeti, de sokkal inkább a történelmi kontextusba ágyazott fizikafeladatokon keresztül való

láttatása adja. Kétségtelen tény ugyanis, hogy a feladatmegoldás a mai fizikatanítási gyakorlatban alapvető szerepet játszik, amelynek elsődleges oka, hogy a természettudományok ismeretrendszerét elsősorban feladatmegoldáson keresztül lehet megtanulni. Nem mindegy azonban, hogy milyen e feladatok megszervezése, mi a megoldandó probléma kontextusa, illetve, hogy mi a célunk a megoldott feladat végeredményével. Egyrészt, mivel jelenünkben egyre hangsúlyosabbá válik az a trend, hogy a feladatmegoldás (is) a gyakorlati élet kérdéseire kérdezzen rá, a fizikatörténeti és történelmi események integrálása segítségével ezt éppen elősegítjük, hiszen a múlt példáin keresztül lehetőséget nyújtunk a számolás gyakorlati jelentőségének érzékeltetésére, illetve a saját korában nagyon is jelentős kvantitatív vagy kvalitatív eredmények értékelésére. Példának okáért, nem azt kérdezzük meg a tanulóktól problémamegoldás céljából, hogy mi a közegellenállási erő képlete, hanem, hogy miként lehet az, hogy az ejtőernyősök a zuhanás során nem törik össze magukat, illetve, ha már a történelmi kontextusnál tartunk, akár azt is megkérdezhetnénk, hogy a második világháború úgynevezett Merkúr-hadműveletében (Kréta német megszállása 1941-ben) milyen sebességgel érkeztek földre a zuhanó ejtőernyősök, ha az ismert körülményeket (felszerelés tömege, ugrási magasság stb.) is figyelembe vesszük? Másrészt, véleményem szerint mai elvárás az is, hogy a sokszor „lélektelen és végtelen”, matematikai algoritmusok gyakoroltatása (mai terminológiával élve „behelyettesítő példák”) helyett – amely példának gyakran jellemzője a minél tömörebb megfogalmazás és a felesleges számadatok elkerülése – az adott fizikatörténeti vagy történeti esemény körülményeinek bemutatásával a feladatok hosszabb, izgalmasabb szöveggörnyezetet nyernek. A jelenünkben már ugyancsak elvárásnak tekinthető trend legfontosabb előnye, hogy nem csupán feladatmegoldásra sarkallja a tanulókat, hanem a változatos, mégis átfogó és komplex problémamegoldásra is, hiszen a tanuló feladata ebben az esetben a feladat szöveggörnyezetének értelmezése és megértése, a probléma kvantitatív megoldása, majd a megoldás kvalitatív elemzése, realitásának ellenőrzése is [11]. Másik javaslatom tehát az a fizikatanárok előtt álló feladat, hogy olyan feladatokat készítsünk tanulóink számára, amellyel a problémamegoldás előzőkben kiemelt két céljának is eleget teszünk. Ennek igyekszem megfelelni abban az általam készített, történeti alapú megközelítésű példatár első részében, amely a mechanika témakörébe tartozó, fizikatörténeti kísérletekkel vagy felfedezésekkel, illetve az általam választott történelmi eseményekkel foglalkozik [12].

Diszkusszió

Gondolataim összegzéseként két fontos megállapítást kívánok tenni. Egyrészt, szükségesnek érzem hangsúlyozni, hogy a fizika tanításában rejlt új szerű lehető-

ségek közül a fizikátörténet alkalmazása, illetve a fizika történeti alapú megközelítése csak egy javaslat a sok közül, ám semmiképpen sem egy mindenáron követendő példa. Másrészt, két javaslatomra reflektálva kívánom ismét kiemelni, hogy a gyakorlati alkalmazásra vonatkozóan nem rendelkezünk kiforrott „etalonnal”, ezért megkockáztatom kijelenteni, hogy annak módszertana és eredményessége csakis az azt kipróbáló bátor fizikatanár kreativitásától függ.

Irodalom

1. Szabó Róbert: Történelmi szimuláció: a távolsági ágyúzás fizikája. *Fizikai Szemle* 68/2 (2018) 60–64.
2. Radnóti Katalin: Óráról órára. *Fizikaórák megjegyzésekkel ellátva. Hallgatói segédlet a fizikatanítási gyakorlatokhoz*. Szegedi Tudományegyetem Bölcsészettudományi Kar Neveléstudományi Intézet és MTA–SZTE Természettudomány Tanítása Kutatócsoport, Szeged (2017) 13–156.
3. Fizika NAT 2020. *Magyar Közöny*, 2020/17 382–388.
4. Simonyi Károly: *A fizika kultúrtörténete a kezdetektől a huszadik század végéig*. Akadémiai Kiadó, Budapest (2011) 17–33.
5. Radnai Gyula: Rezgések és hullámok VII. Az elektromágneses hullámok tanításáról. *Fizikai Szemle* 30/7 (1980) 258–266.
6. Zemplén Gábor: Mi a haszna a természettudományos tárgyak oktatásában a tudománytörténet és a tudományfilozófia diszciplínáinak? *Iskolakultúra* 20/10–11 (2011) 56–61.
7. Szabó Róbert: A Kalocsai Érseki Főgimnázium röntgenlaboratóriuma és első világháborús szerepvállalása. *Fizikai Szemle* 69/3 (2019) 102–107.
8. Kovács László: A fizikátörténet szerepe a fizikatanításban. *Iskolakultúra* 6/5 (1996) 52–56.
9. Radnóti Katalin: A fizikaoktatás kálváriája a rendszerváltás óta. *Fizikai Szemle* 70/7–8 (2020) 265–272.
10. Szabó Róbert: *Pályán az ágyúgolyó*. Tudományos diákköri dolgozat, ELTE TTK (2016) 3.
11. Radnóti Katalin, Nahalka István, Poór István, Wagner Éva: *A fizikatanítás pedagógiája*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest (2002) 180–198.
12. Szabó Róbert: *Történelmi fizika példatár. I. kötet. Mechanika*. Internetes segédanyag (2020). Online elérhetőség: <http://fiztan.phd.elte.hu/kozincskinc/learning/index.html>

A FIZIKA TANÍTÁSA

FELHŐBEN AZ EGÉSZSÉGÜNK

Ujvári Balázs – Debreceni Egyetem

Borbélyné Bacsó Viktória – Medgyessy Ferenc Gimnázium, Művészeti Szakgimnázium és Technikum, Debrecen

Pirint Róbert Olivér – Ady Endre Gimnázium, Debrecen

Szabó Dániel Dénes – Medgyessy Ferenc Gimnázium, Művészeti Szakgimnázium és Technikum, Debrecen

Az elmúlt tanévben a COVID 19 járvány miatt számos tanulmányi verseny elmaradt vagy online módon fejeződött be. A Debreceni Egyetem Fizikai Innovációs Kutatóműhelyében a digitális munkarend bevezetésével sem állt meg a munka, a tanulók kutató mentoraiuk irányításával otthon is folytathatták a méréseket. A töretlen munka eredménye a TUDOK-on is megmutatkozott.



A 2019/2020-as tanévben a Debreceni Egyetem Fizikai Innovációs Kutatóműhelyében 14 témakörben végeztek kutatást középiskolás tanulók. Az egye-

A kutatás anyagi háttérét az NTP-MTTD-19 pályázat biztosította.



Ujvári Balázs fizikus, a Debreceni Egyetem adjunktusa, a helyi középiskolákkal közösen létrehozott Debreceni Egyetem Fizikai Innovációs Kutatóműhelyének mentora.

tem és a középiskolák együttműködésének köszönhetően a TUDOK-on (Tudományos Diákkörök XX. Kárpat-medencei Konferenciáján) a kutatóműhely két diákja, Szabó Dániel Dénes 11. osztályos és Pirint Róbert Olivér 10. osztályos tanuló „Nagydíj”-as lett.

Felhőben az egészségünk című pályázatuk lényege egy olyan hálózat kiépítése és működtetése, amely városi környezetben célozza meg az egészségünket is befolyásoló paraméterek (por, hőmérséklet, páratartalom...) mérését, illetve a mért adatok elemzésével előjelzést próbál adni a por- és a CO₂-koncentráció változására.

A tanulók – a vásárolt szenzorokból összerakott tennyerényi méretű, hordozható mérőberendezéseiket a



Borbélyné Bacsó Viktória a Medgyessy Ferenc Gimnázium, Művészeti Szakgimnázium és Technikum fizikatanára, a Debreceni Egyetem Fizikai Innovációs Kutatóműhelyének koordinátora.



1. ábra. Az MQ2 levegőminőség-szenzor (forrás: ebay.com).



2. ábra. A Nova Dust Sensor (forrás: reichelt.com).



3. ábra. Az MH-Z19B szén-dioxid-szenzor (forrás: alibaba.com).

város több pontján kihelyezve – figyelték Debrecen levegőjének minőségét, majd március közepétől ott-hon kihelyezett berendezésekkel folytatták a munkát. Így került a mérési adatok közé egy fűnyíró által felvert por, a szomszédban dolgozó gazda gazégetéskor termelt füstje, vagy a hazánkat a Kaszpi-tenger felől elérő vihar pora.

A munka kezdetekor több szállóporszenzort tesztelve az MQ2 (1. ábra) levegőminőség-szenzorra esett a választásunk.

Sajnos, ez a szenzor erőteljesen melegegett, mert a benne található fűtőszál segítségével üríti ki a leülepedett anyagokat, így bekapcsolása után bizonyos ideig várni kellett. A különböző hőmérsékletű mérések között jelentős volt az eltérés, ezért hőmérsékleti tényezővel kellett korrigálni a kapott adatokat, valamint nem volt alkalmas nagyobb, 2,5–10 μm szállóporkomponensek mérésére. Azonban előnye volt a kis áramfelvétel, a költséghatékonyság és a kellően kis méret. Egyetlen kalibrálás után megbízhatóan és viszonylag széles intervallumban, 300 és 10 000 ppm között volt képes érzékelni a levegőben lévő különböző részecskéket. December környékén anyagilag elérhetővé vált a Nova SDS011 Dust Sensor (2. ábra)

beszerzése is, amely egyaránt alkalmazható volt az 1–2,5 μm (PM2,5), illetve a 2,5–10 μm (PM10) közötti tartomány mérésére.

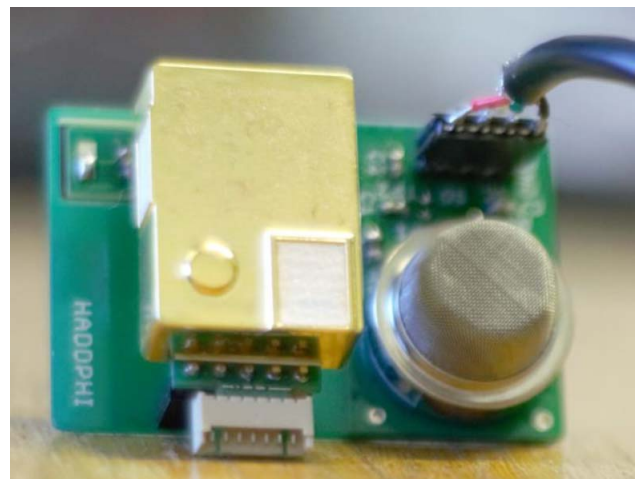
A Nova SDS011 Dust Sensor a kalibrálás során az MQ2-nél pontosabbnak adódott. Felbontása a 0–999,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mérési tartományban 0,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nagyobb mérete és a hűtését megoldó ventilátora miatt azonban a tervezett mérőállomás áramfelvétele megnövekedett.

A levegő minőségéről alkotott kép árnyalásához, a szállóporszenzorok mellett szén-dioxid-mérő szenzort is helyet kapott a mérőállomásban. Ezt az MH-Z19B szenzor (3. ábra) segítségével, amely 0–5000 ppm

4. ábra. A HDC1080 hőmérséklet- és páratartalom-szenzor (forrás: alibaba.com).



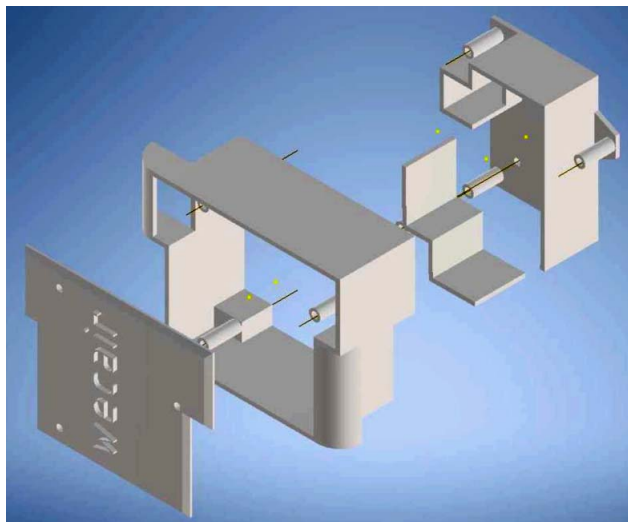
5. ábra. A NYÁK-lapra integrált szenzorok.



Pirint Róbert Olivér a Debreceni Ady Endre Gimnázium 11.B osztályos tanulója, a 2019/20-as tanév TUDOK Nagydíjasa, a 29. Ifjúsági Tudományos és Innovációs Tehetségkutató versenyben kiemelt dicséretben részesült.



Szabó Dániel Dénes a Medgyessy Ferenc Gimnázium, Művészeti Szakgimnázium és Technikum tanulója, a 2018/19-es tanév Gábor Dénes Középiskolai Ösztöndíj I. kategóriás díjazottja, valamint a 2019/20-as tanév TUDOK Nagydíjasa, a 29. Ifjúsági Tudományos és Innovációs Tehetségkutató versenyben kiemelt dicséretben részesült.



6. ábra. A Nova-szenzor integrált vázának robbantott rajza.



7. ábra. A felszerelt végleges váz a projekt nevével.

közötti tartományban ± 50 ppm pontossággal tudta mérni a levegő szén-dioxid-koncentrációját, valószínűleg meg. E gyárilag kalibrált eszköznek bemelegedésre van szüksége, ezért bekapcsolás után kicsit várni kellett a mérés kezdésével.

A hőmérséklet és páratartalom mérése a HDC1080 szenzorral történt (4. ábra). Ez a 3 milliméter hosszú apró szenzor a hőmérsékletet $\pm 0,2$ °C, míg a páratartalmat $\pm 2\%$ pontossággal képes mérni.

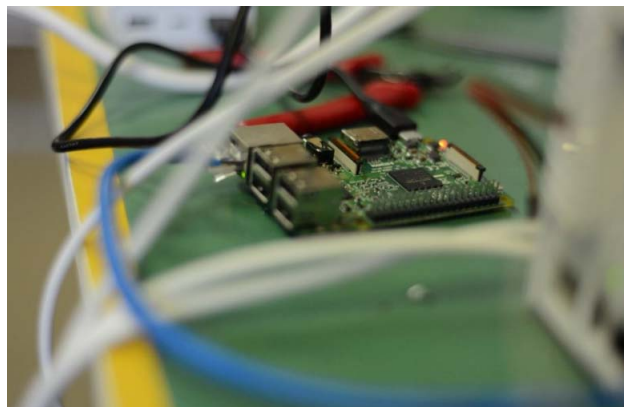
A mérőberendezés fontos kritériuma volt a kompakt kialakítás, ezért a szenzorok – a Nova szenzor kivételével – közös NYÁK-lapra kerültek (5. ábra), megteremtve a jeltovábbítás biztonságát.

A NYÁK-lapra integrált szenzorok még védtelenek az időjárás viszontagságai ellen, így egy légáteresztő vázra is szükség volt. Ezt a dobozkat az Autodesk Inventorban tervezve, 3D nyomtatással alkották meg a tanulók Szabó Dániel Dénes saját fejlesztésű nyomtatójával. Két váz is készült, a végleges váz (6. ábra) négy részből állt, és a korábbinál kevésbé légáteresztő, hiszen ventilátor biztosította a megfelelő légáramlást a berendezésen belül.

Tanítványaink alkotókedve a vázkészítéskor kapott szárnyra. Kitalálták a projekt WeCair nevét, amelyet rá is nyomtattak a vázra (7. ábra).



8. ábra. A LogiLink ua0175.



9. ábra. A Raspberry Pi szerver.

A valós idejű adattovábbításra egy sokoldalú eszköz, a LogiLink ua0175 szolgált (8. ábra), ez egy hordozható, külső akkumulátorral rendelkező tároló, amely néhány órán át tudja működtetni a mérőállomást, és WiFi 802.11 b/g/n átvitel kezelésére, így vezeték nélküli kapcsolaton keresztül fájlmegosztásra alkalmas. Ez a tenyérnyi méretű eszköz valószínűleg nem minden ok nélkül kapta a belső címkéjén olvasható „UFO” feliratot.

Néhány elektronikai módosítás után az eredeti firmware-t linux/unix alapú operációs rendszerre cseréltük, így az eszköz egy WiFi-s adatfeldolgozó és továbbító kis számítógéppé vált. A mérőállomás feladata tehát a NYÁK-lap szenzorainak méréseivel kezdődik, amely kábeles összeköttetésben van az UFO-val. Ez utóbbi egy vezeték nélküli hálózatra csatlakozik, amely egy Raspberry Pi (9. ábra) szerverre továbbítja az adatokat, majd dátummal ellátva egy MySQL adatbázisba rendezve tárolja. Egy mérőállomás ára – árfolyamtól függően – 25 és 29 ezer forint körül mozog.

Kalibrálás

A szenzor olyan kalibrálás nélkül, mint a zenekar hangolás nélkül. Hiteles kalibráláshoz elengedhetlen egy megbízható referenciaműszer. Erre a célra a Debreceni Atommagkutató Intézettől kölcsönzött



10. ábra. Az OPS M3330 mini aeroszol-spektrométer.



11. ábra. A dízelautó kipufogó gázának mérése.

OPS M3330 (10. ábra) nevű, rendkívül pontos, széles méréstartományú, azonban nagyon drága mini aeroszol-spektrométer szolgált.

Az OPS M3330 1 μm átmérőnél kisebb szállópor-komponenseket – ezek oly parányiak, hogy a bőrünkön is képesek átjutni – is érzékel. A műszer akkumulátorral is működtethető, ennek köszönhetően a szabadban is használható. Az eszközök kalibráló mérése több napon át tartott, így elég adatot gyűjtöttünk a görbék megfelelő normálásához.

A kalibráláshoz különböző módszereket alkalmaztunk. Elsőként zárt légtérbe, szorosan egymás mellett helyeztük el műszereinket, majd háztartási port szórunk rájuk. A túlságosan nagy méretű porszemcsekre nem reagáltak a műszerek. Második lépésként egy teherautó légszűrőjében felgyülemllett szennyeződéssel próbálkoztunk, miközben PM_{2,5} és PM₁₀-et is mérünk. Szivacsból származó krétaporral is kísérleteztünk, PM₁₀-túlsúlyt mérve. A szabadban dízelautó kipufogó gázának füstjét mértük (11. ábra), és PM_{2,5}-túlsúlyt mértünk, ami megegyezett előrejelzéseinkkel.

A Nova, az MQ2 és az OPS M3330 összehangolásánál kiderült, hogy a PM_{2,5}-es és a PM₁₀-es tartományt az MQ2 egyáltalán nem érzékeli. Az MQ2-vel felvett görbéken olyan transzformációt kellett végrehajtani, amivel egy síkba tudjuk hozni az OPS M3330 adataival. Ezzel szemben a Nova-szenzorokat csak össze kellett normálni az OPS M3330 által mért értékekkel és már működőképese is voltak.



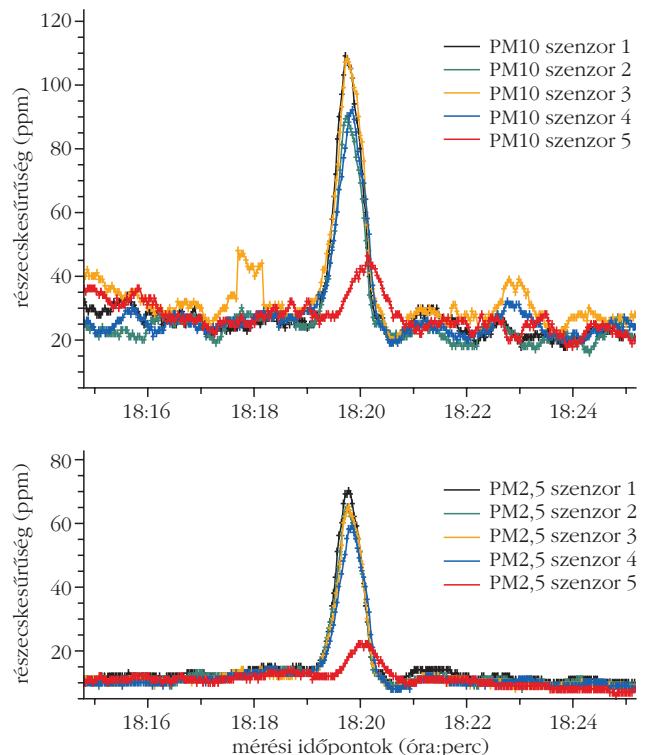
12. ábra. A mérőrendszer-hálózat otthoni kiépítése.

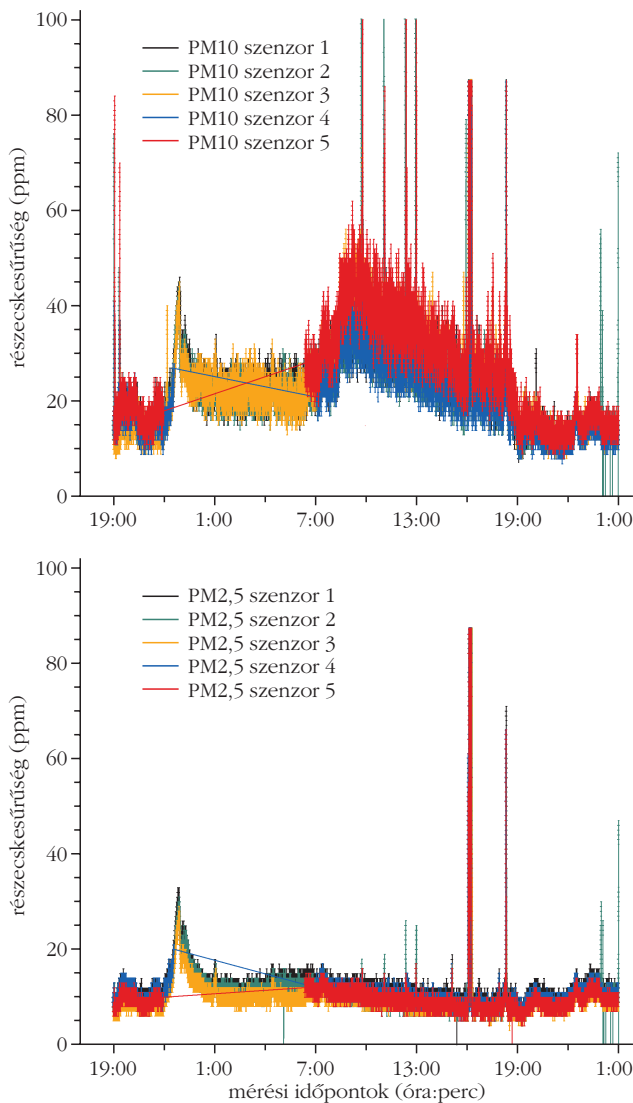
A kalibrálás alapján a Nova használata mellett döntöttünk, mert a mérések megmutatták, hogy a PM_{2,5}- és a PM₁₀-értékek nem mindig mozognak együtt: a PM₁₀ sokkal hamarabb ülepszik le, míg a PM_{2,5} sokkal tovább marad a légtérben. Az MQ2 mérési adataiból a különböző méretű szállópor-komponensek eredetére tudunk következtetéseket levonni.

Méréseink

Projektünk során alulról szerveződő hálózatot akarunk kiépíteni Debrecen különböző helyein, ismerőseinknél, barátainknál elhelyezett mérőállomásokkal. A járvány közbeszólt – az egyetem, az iskolák bezártak, az eszközbeszerzés is akadozott –, így ezt nem tudtuk maradéktalanul megvalósítani, otthon kellett mérni.

13. ábra. A 2020. március 28-i fűnyírás után készült görbék az öt darab Nova-szenzorral mérve.





14. ábra. A Kaszpi-tengeri vihar hazánkig terjedő porfelhőjének hatása 2020. március 27. és 29. között.

A mérőrendszer-hálózatot a kertben oszlopra fél méterenként felszerelt 4 darab mérőállomás alkotta. Zárt udvar szimulálására az ötödik szenzort szélvédett, fedett részre helyeztük (12. ábra). A forgalmat egy fűnyíró által keltett kipufogógáz és az általa felvert por szimulálta (13. ábra).

A hazánkat is elérő, Kaszpi-tenger felől érkező vihar hatalmas port kavart, amit levegőtisztaság-szenzoraink is képesek voltak kimutatni (14. ábra).

Egyszer véletlenül a néhány száz méterrel arrébb, gazégetésből eredő füstöt is megmértük (15. ábra).

Méréseinkből grafikonokat készítettünk, amelyekből az alábbi következtetéseket vontuk le: a homokviharnál elhanyagolható volt a kisebb méretű szállópor-szemcsék száma, azonban a fűnyírásakor, illetve a gazégetésnél nagyjából ugyanannyira növekszik meg a PM10- és PM2,5-méretű porszemek koncentrációja.

Mindemellett, a fűnyíró által felvert por és a kipufogógáz különböző koncentrációban, de elért a fedett és a többi négy mérőeszközhöz is. Éjszakánként – ami körülbelül este nyolctól reggel nyolcig tartott – a kör-

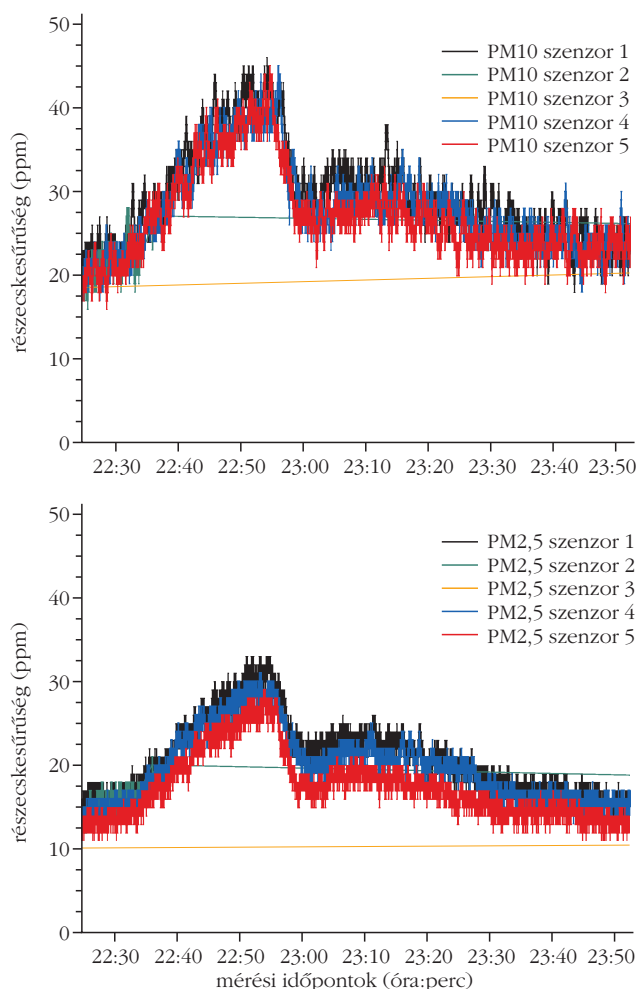
nyező háztartások fűtése által generált füst is megfigyelhető volt (16. ábra).

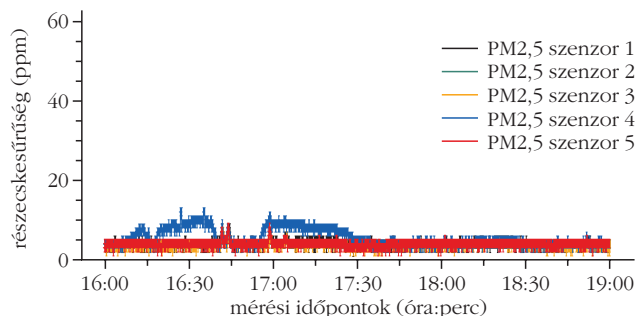
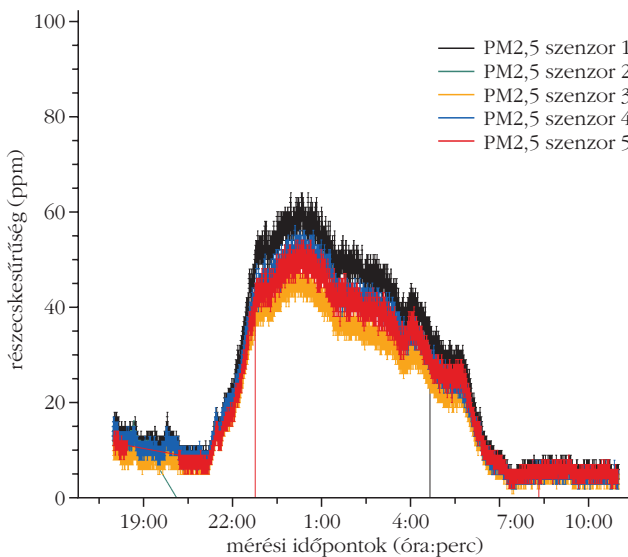
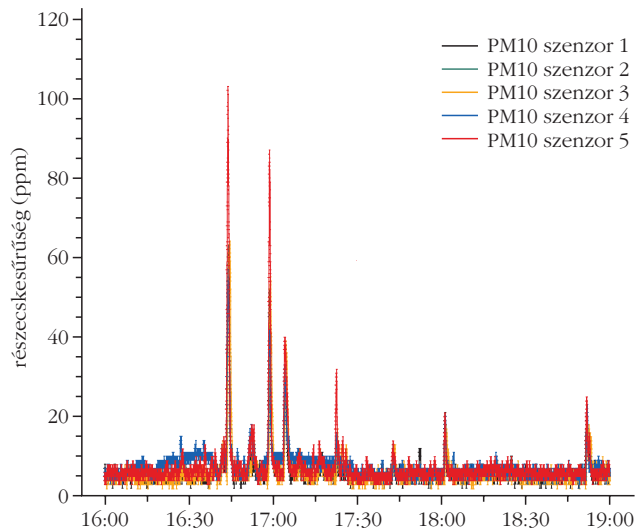
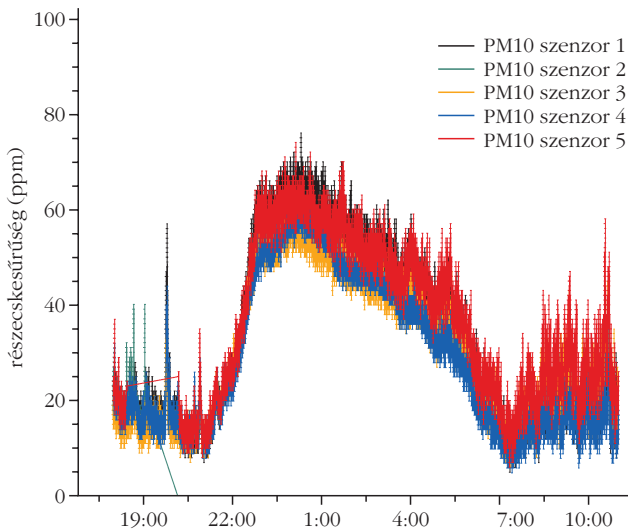
Az egyik délután a szomszéd üres telken traktorral művelték a földet, ez szintén szépen megjelenik a görbékben. Szembeötlő, hogy mind a PM10-, mind a PM2,5-értékek megemelkedtek és látszanak azok a csúcsok is, amikor a kerítéshez közel elhaladó traktor porfelhőbe burkolta műszereinket (17. ábra). A fokozatosan távolodó jármű egyre kevesebb növekedést okozott, ezért a csúcsok kisebbek.

Összegzés

Már néhány szenzor használatával is látható, hogy valós idejű, gyakori és modellalkotás szempontjából pontos értékekkel a hálózatba szervezett rendszerünk képes előre jelezni az egészségre káros légszennyezettséget. Több szenzort kell használnunk, hogy hálózati térképünk nagyobb és részletesebb legyen, és ezáltal jobban el tudjuk különíteni a szálló por kialakulásainak fajtáit (globális, például Kaszpi-tengeri és lokális, például gazégetés, traktor), mivel ezek eredményeinket befolyásolhatják. A teszterverzió használata

15. ábra. A 2020. március 27-én este, a közeli gazégetés miatt keletkezett csúcsok.





16. ábra. A 2020. március 29-ről 30-ra virradó éjszakai fűtés okozta pornövekedés.

17. ábra. A traktor által felvert por miatt keletkező csúcsok 2020. március 31-én.

alatt már elsajátítottuk az adatfeldolgozás lépéseit és a felmerülő problémákat megoldva megterveztük a következő, stabilabb mérőműszert.

lene telepíteni. Az állandó mérőállomások mellett mobil, például kerékpárra helyezett állomásokra – segítségükkel például közlekedési csomópontokban lehetne mérni – is szükség lenne. Ezekkel sokkal pontosabb méréseket végezhetnénk, mint a fix, tehát mozdulatlan pontok átlagolásával. Az így gyűjtött információkat feldolgozva hasznos tanácsokat tudnánk adni a forgalom szervezésére, esetleges korlátozására, a zöld területek kialakítására, a városok körül lévő védősávok elhelyezésére. Azokon a területeken, ahol fizikai eszközökkel lehetetlen mérsékelni a porterhelést, a lakosokat gyakoribb szűrővizsgálatokra kellene küldeni. Ezen intézkedésekkel számtalan életet lehetne meghosszabbítani, valamint rengeteg betegséget tudnánk megelőzni. Emiatt is tartjuk fontosnak a továbblépést, projektünk továbbvitelét a vírusjárvány megfékezés utáni időkre, a következő tanévre.

A továbblépés lehetőségei

Egy Debrecen méretű városban szálló por sajátosságainak megismeréséhez több száz mérőállomást kel-

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



<https://www.facebook.com/pages/Eötvös-Loránd-Fizikai-Társulat/434140519998696?fref=ts>

A KOPPANÁS HANGJÁTÓL AZ OPTIKAI FÉSŰIG

– a pontos időmérés bővületében

Pallag István, Halmos Balázs, Gergely Csongor
II. Rákóczi Ferenc Gimnázium, Budapest

Mérni, mérni, és mérni! Valószínűleg mély nyomokat hagytak bennem *Demény* tanár úr órái az egykori Kossuth Lajos Tudományegyetem Kísérleti Fizikai Intézetében, mert fizikatanári hitvallásom, hogy csak akkor lehet eredményes egy fizikaóra, ha az – a jelentőséget demonstráló – hatásos kísérlettel, vagy a felismerendő törvényt igazoló precíz méréssel kezdődik. Az „okos kütyük” világában a tanítványaim számára kézenfekvő, hogy a precíz fizikai mérés különféle szenzorok mérési eredményeinek számítógépes kiértékeléséből áll. E felismerés vezetett oda, hogy megismerkedjek az National Instruments myDAQ eszközzel és a hozzá használt Labview Development Systems programcsomaggal. Az ismerkedés kalandos útján kiváló útítársakat kaptam *Halmos Balázs* és *Gergely Csongor* tanítványaim személyében. Ezúton is köszönöm odaadó munkájukat.



1. ábra. Az állvány a guruló golyóval.

Méréseink

Nehézségi gyorsulás meghatározása az esés idejéből

Elsőként a szenzorcsomagban található mikrofon felhasználásával barátkoztunk. A mikrofon az „Audio in” bemeneten keresztül egyszerűen csatlakoztatható a myDAQ-hoz, és a Labview Acquire Sound eszközzel megjeleníthető és rögzíthető a mikrofon által észlelt hang időbeli lefolyása. Ez a lehetőség adta az ötletet,

hogy a szóbeli fizikaérettségi feladatok egyik mérését myDAQ segítségével végezzük el.

Feladat

Mérje meg különböző magasságokból leeső acélgolyó esési idejét Labview-val vezérelt NI myDAQ mérőeszköz segítségével! A magasságok és az esési idők alapján határozza meg a nehézségi gyorsulás értékét!

Megvalósítás

A megvalósítás egyezik az eredeti feladattal, tehát a bizonyos magasságra beállított kerámialapon a golyó végiggurul (1. ábra), majd a talajra esik. A golyó jellegzetes hanggal gurul a kerámialapon, amikor a lap szélét elhagyja, a hang megszűnik, majd hangosan koppan a padlón. Az eszközhöz csatlakoztatott mikrofonnal detektáljuk a golyó hangját, majd a hangfelvétel alapján ezredmásodperc pontossággal meghatározzuk a golyó esésének idejét, végül a

$$g = \frac{2h}{t^2} \quad (1)$$

A szerzők az ELFT–NI 2019–2020. évi myDAQ pályázatán a „Tapsztaltak” kategóriában II. díjat nyertek.



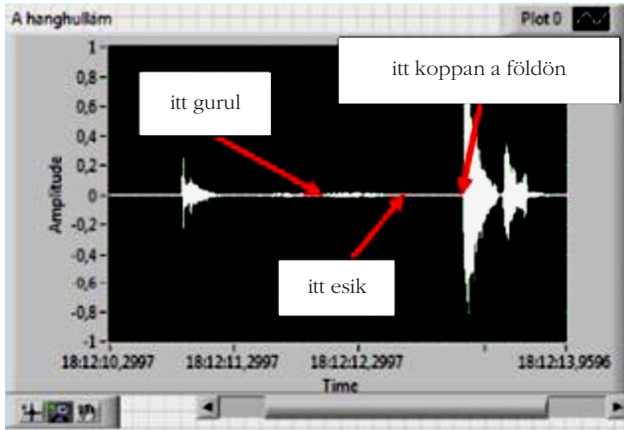
Pallag István fizikatanár lassan 35 éve kopatja a katedrát és töretlen lelkesedéssel fordul minden újdonság iránt. A szakmai fejlődés mellett, számára legalább olyan fontos, hogy tanítványaival együtt gondolkodva győzedelmeskedjen minden elé tornyosuló akadályon.



Gergely Csongor 11. osztályos tanuló fizika iránti szenvedélyét főként az aviatika területén használja, amely környezetben a myDAQ könnyedén integrálható számos alkalmazási területen, mint például meteorológiai mérések végzése vagy élő repülőgép-követés. Fontosnak és hasznosnak tartja, hogy átlássa az eszköz működésének alapjait egy olyan projekt résztvevőjeként, ami a középiskolai szintre hozza a készüléket, és az általa kínált edukációs lehetőségeket.



Halmos Balázs Paszkál matematika-fizika tagozatos, 10. osztályos diák. A fizika mellett az informatika is érdekli, azon belül leginkább a programozás. Gyakran és eredményesen vesz részt fizika- és informatikaversenyeken. A pályázat befejezése óta is rendszeresen dolgozik innovatív/digitális projekteken, amelyekben jelenleg is használja a pályázat során szerzett tapasztalatait, valamint az ott nyert myDAQ eszközt.



2. ábra. A hanghullám a golyó mozgásának különböző fázisaiban.

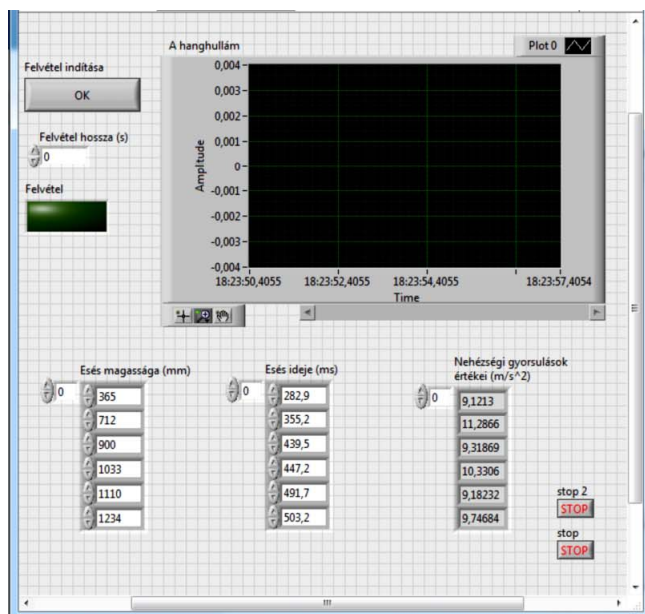
összefüggés segítségével meghatározzuk a nehézségi gyorsulás értékét. A mérést – különböző magasságból leejtett golyóval – megismételtük és az így kapott nehézségi gyorsulás-értékek átlagát számoltuk.

A mérést a frontpanelen lévő „Felvétel indítása” gombbal indítjuk, és a beállított (és előre kikísérletezett) idő elteltével elkészül a felvétel és megjelenik a grafikon. A grafikonról – kellő mértékű nagyítás után – ezredmásodpercnyi pontossággal leolvashatjuk az esés idejét (2. ábra). A magasságokat és a hozzá tartozó esési időket beírva a frontpanelen lejjebb elhelyezett tömbbe (array), a vi (virtuális műszer) minden magasság-idő párhoz kiszámítja a nehézségi gyorsulás-értéket (3. ábra).

Eredmények

A mért adatokat és a belőlük számolt nehézségi gyorsulás-értéket az 1. táblázatban foglaltuk össze. Az (1) összefüggés szerint az esési idő négyzetét és az esési magasság kétszeresét ábrázolva g meredekségű egyenes illeszhető a pontpárokra (4. ábra).

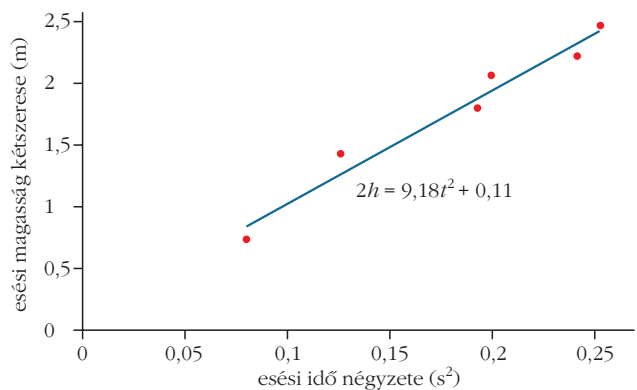
3. ábra. A nehezsegi_gyorsulas.vi képernyőfotója.



1. táblázat

A nehézségi gyorsulás számítása különböző magasságról leejtett golyó esési idejéből.

esési magasság, h (m)	$2h$ (m)	esési idő, t (s)	t^2 (s ²)	nehézségi gyorsulás, g (m/s ²)
0,365	0,73	0,2829	0,0800	9,121
0,712	1,424	0,3552	0,1262	11,287
0,9	1,8	0,4395	0,1932	9,319
1,033	2,066	0,4472	0,2000	10,331
1,11	2,22	0,4917	0,2418	9,182
1,234	2,468	0,5032	0,2532	9,747
átlag:				9,831
szórás:				0,771



4. ábra. A nehézségi gyorsulás számítása egyenesillesztéssel.

Következtetés / fejlődési lehetőségeink

A mérési eredményeink átlaga lelkesítő eredményt hozott, de a számolt szórás és a trendvonal meredek-

sége egyértelműen mutatja eredményeink pontatlanságát. Nem elegendő nagy pontossággal mérni az időtartamokat, ha a mért időtartam kezdőpontja bizonytalan. A mérést úgy tudjuk pontosítani, hogy a leolvasást is a Labview végzi. A leolvasás elve nyilvánvaló, de a kivitelezéshez még ismerkednünk kell a Labview lehetőségeivel. A jövő évi pályázatunkban a mérés javított verzióját szeretnénk bemutatni.

Fordulatszámérés Hall-szenzor segítségével

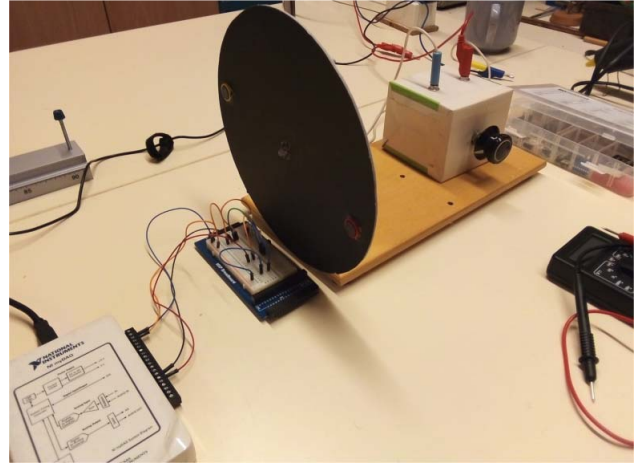
Az gravitációs gyorsulás mérése után érdeklődésünk a Hall-szenzor irányába fordult. Nagy lehetőséget látunk mágneses vagy mágnessel felszerelt tárgyak mozgásidejének mérésében. Azt kellett megoldanunk, hogy a szenzortól jövő két impulzus közötti időtartamot mérjük. Mivel csak egy szenzorral rendelkezünk, választásunk a periodikus mozgások tanulmányozására esett.

Feladat

Mérje meg egy elektromotorral forgatott papírkorong periódusidejét Labview-val vezérelt NI myDAQ mérőeszköz segítségével, és a mért időtartamból határozza meg a mozgás fordulatszámát!

Megvalósítás

A méréshez a Hall Effect Magnetic Sensor Switch U18 szenzort használtunk. A szenzor úgy működik, hogy a mágnes egyik pólusának közelítésekor a szenzorban kialakuló Hall-feszültség kapcsolja, állítja át (switch) a szenzoron mérhető feszültséget. Ha ellentétes mágneses pólust közelítünk, az újabb feszültségváltást eredményez. Ennek megfelelően azt kellett elérnünk, hogy bizonyos időnként egyik, majd másik pólus haladjon el a szenzor előtt. Ezt úgy valósítottuk meg, hogy egy kartonlapból kivágott korong két átellenes pontján helyeztünk el két, ellentétesen fordított irodai táblamagnet. A fel- és lekapcsolás közötti idő



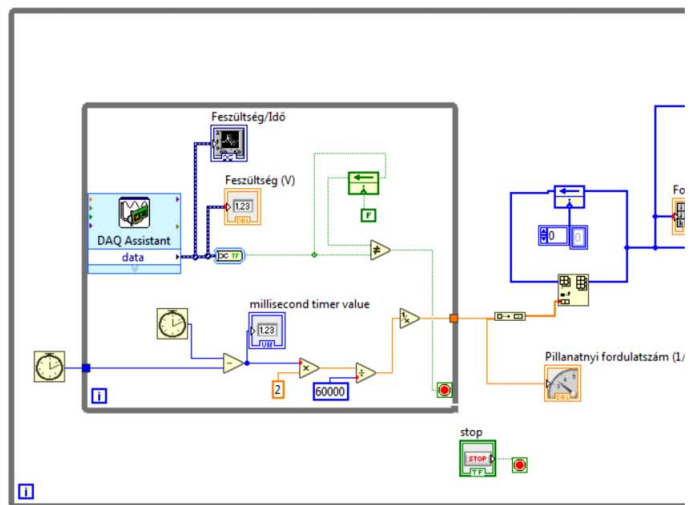
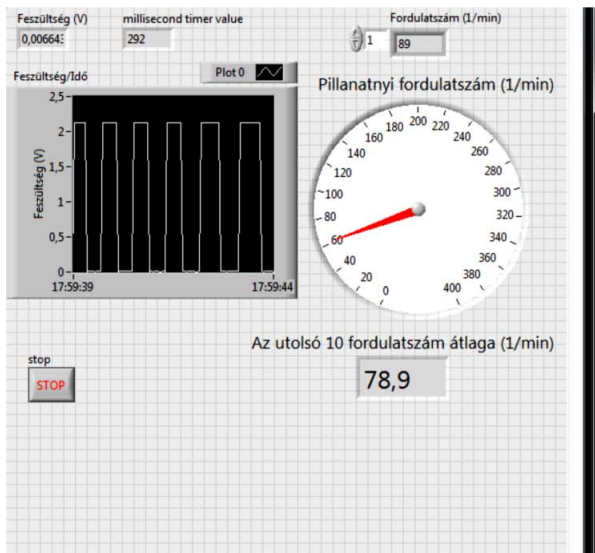
5. ábra. A forgó korong és a változtatható ellenállás.

a mágnesek egyenes körmozgása félperiódusának idejét adta. A fel- és lekapcsolás közötti időt két futó óra időkülönbségeként rögzítettük. A belső ciklus a feszültségváltáskor rögzíti az időt, egyben kilépve a ciklusból rögzíti a külső óra által mutatott időt, ami a következő ciklus kezdő időpontja lesz.

Eredmények

A kartonkorong forgatására a készletben található motort használtuk. Egy változtatható ellenállás közbeiktatásával tudtuk szabályozni a forgómozgás sebességét (5. ábra). A korong könnyű volt, és a mágnesek elhelyezkedése miatt egyenes tömegeloszlású, de a motor gyengesége miatt a forgás eléggé ingadozó lett. Amint a 6. ábrán látható, a félperiódus-idők (a négyzetjelek vízszintes hossza) nem egyformák, és a pillanatnyi fordulatszám is eltér az utolsó 10 fordulatszám átlagától. Méréseink során a változtatható ellenállás adott helyzete esetén az átlagos fordulatszám stabilizálódott, így a frontpanelen jól követhető, hogy a motorra eső feszültség változtatásával miként változik a fordulatszám.

6. ábra. A fordulatszam.vi képernyőfotója.



Következtetés / fejlődési lehetőségeink

Úgy érezzük, hogy a periodikus mozgások elemzésekor kihoztuk az egy darab Hall-szenzor nyújtotta lehetőség maximumát. Az összeállítás ráadásul egy az egyben alkalmazható a rezgőmozgás tanulmányozására. Különböző D rugóállandójú rugók és különböző m tömegű rezgőmozgást végző testek felhasználásával a rezgés f frekvenciájára igazolható az

$$f = \frac{1}{2} \pi \sqrt{\frac{m}{D}}$$

összefüggés.

Lejtőn guruló test sebessége és gyorsulása

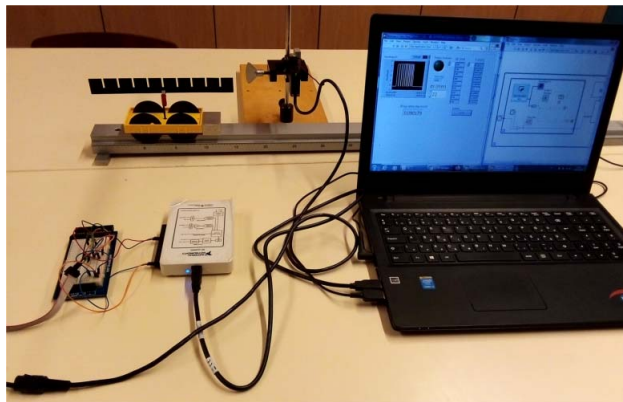
A következő lépésben elérkeztünk legfőbb célkitűzésünk, a fénykapu alkalmazásához. A fizikaszertár mélyéről előbányásztuk a Commodore plus4 számítógéppel működtetett mozgáselemző készletet, és annak fénykapuját a myDAQ segítségével csatlakoztattuk a Labview-t futtató számítógépünkhöz. A régi tuchel-csatlakozó átalakítása igazi kihívás volt, de kis segítséggel megbirkóztunk vele. Az összeállítást a legegyszerűbb esetben próbáltuk ki, egy lejtőn legördülő kis kocsit mozgását tanulmányoztuk.

Feladat

Mérje meg Labview-val vezérelt NI myDAQ mérőeszköz segítségével egy kis dőlésszögű lejtőn lefelé guruló test sebességének változását, és diagramon ábrázolja az eredményeket!

Megvalósítás

A fénykapu érzékeli a kocsira rögzített optikai fésű (7. ábra) által generált jeleket. Takaráskor a feszültség felugrik, majd a résnél nullára esik vissza. A fésű-



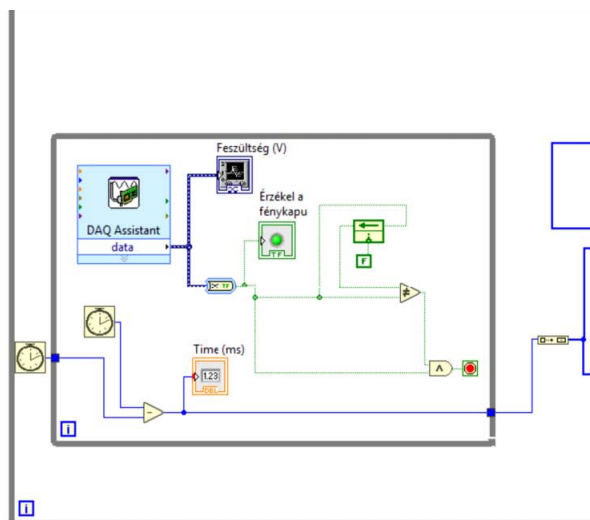
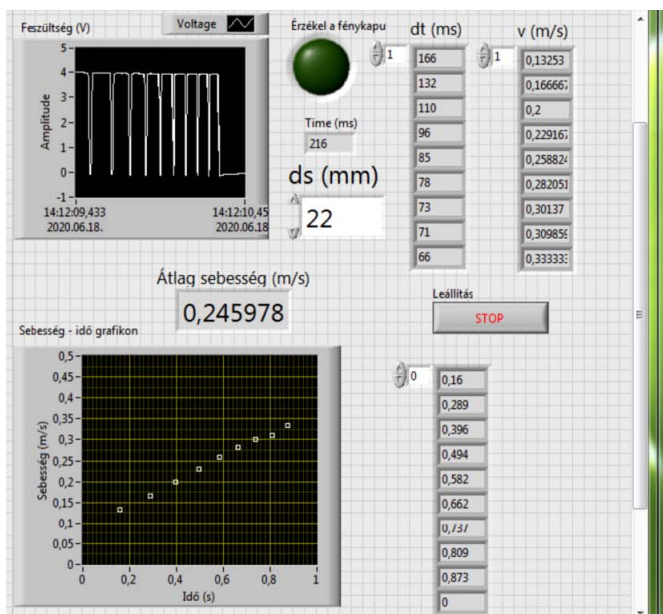
7. ábra. A kocsit az optikai fésűvel és a fénykapuval.

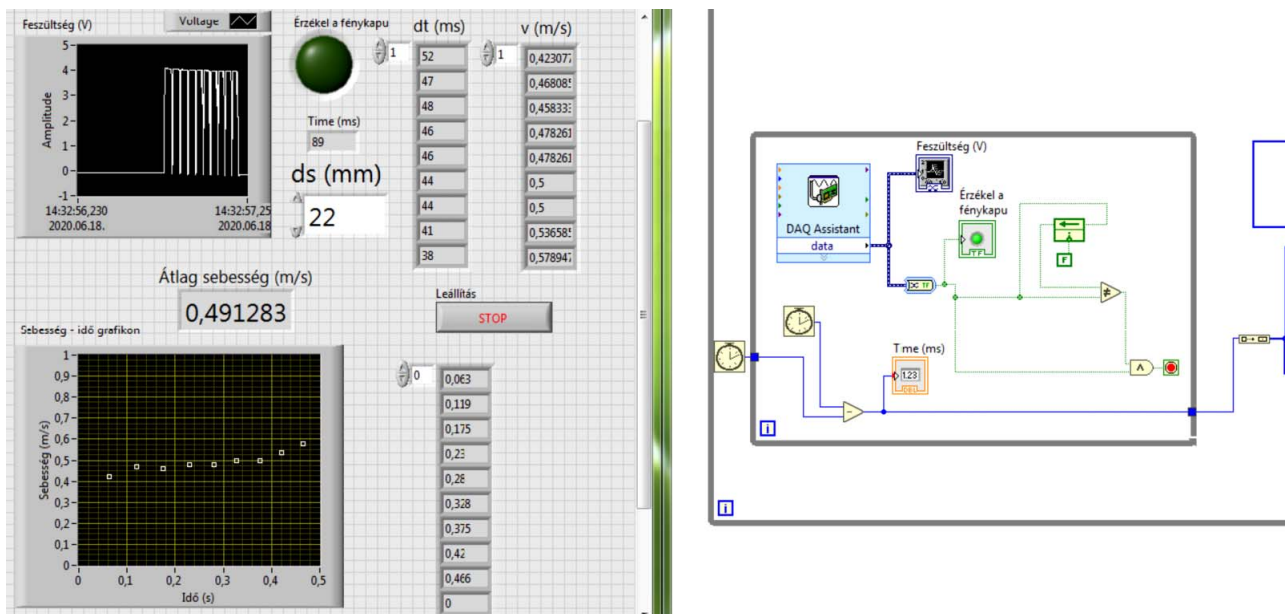
fogak méretének megadásával a fésűfog áthaladásának átlagsebessége kiszámítható. A két „kiugró” feszültség, azaz az áthaladás idejét a fordulatszám mérésnél alkalmazott egymásba ágyazott ciklusok által leállított órák időkülönbségeként rögzítettük. Értékelhető mérési eredmények eléréséhez sokáig kellett próbálkozni a DAQ Assistant mintavételezési beállításával. Végül az 1 kHz mintavételezési frekvenciánál kaptuk a legszebb eredményeket. A kapott időeredményekből számolt sebességeket egy grafikonon azonnal kiértékelhetjük (8. ábra). A kocsit úgy állítottuk be, hogy az első „fog” közvetlenül a fénykapu előtt legyen, tehát első mérési eredményünket nem sokkal a kocsi indulása után rögzítettük.

Eredmények

A frontpanel látványa magáért beszél. A kísérlet – a mérés elvének elmagyarázásával együtt – néhány perc alatt elvégezhető. A grafikon tökéletesen mutatja a rövid utakra számolt átlagsebességek egyenes növekedését. Az indítási távolság növelésével egyre vízszintesebb egyenest kapunk. A 9. ábrán a kocsi

8. ábra. A fénykapu.vi képernyőfotója.





9. ábra. A fénykapu.vi pillanatnyi sebesség képernyőfotója.

indulásakor 50 centiméterre volt a fénykaputól. A 8. és a 9. ábrán látható grafikonok összehasonlításával értelmezhetővé válik a „mozgás időtartamához képest kicsiny időtartam, amely alatt lényegesen nem változik a sebesség”, azaz lehetőségünk van a – középiskolás szinten nehezen értelmezhető – pillanatnyi sebesség fogalmának bevezetésére.

Következtetés / fejlődési lehetőségeink

Az összeállítás bármely egyenes vonalú mozgás elemzésére használható. Álló helyzetből indulva, adott gyorsító erő hatására, adott út megtétele után elért végsebesség mérésével igazolhatóvá válik a munkatétel. A továbblépés lehetősége egy másik fénykapu csatlakoztatása lehet. Két fénykapuval lehetőségünk lesz lemezugóval felszerelt kiskocsik mozgásának vizsgálatára, így rövid és precíz méréssel igazolhatjuk a lendületmegmaradás törvényét.

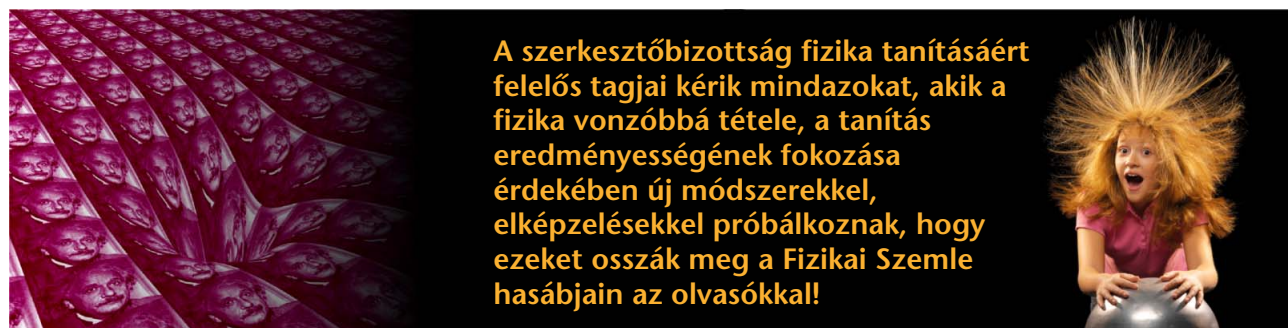
Összefoglalás

Remélem jól értelmezhetően sikerült bemutatni néhányat a myDAQ és a Labview számtalan hasznos alkalmazási lehetősége közül, amelyekkel meggyőződésem, hogy eredményesen növelhetjük a fizikatanítás

hatékonyságát. 35 éve koptatom a katedrát, és töretlen lelkesedéssel fordulok minden újdonság felé. A szakmai fejlődés mellett számomra legalább olyan fontos volt, hogy tanítványaimmal együtt gondolkodva győzedelmeskedtünk minden elénk tornyosuló akadályon. Köszönjük a lehetőséget, hogy e remek intellektuális kaland részesei lehettünk.

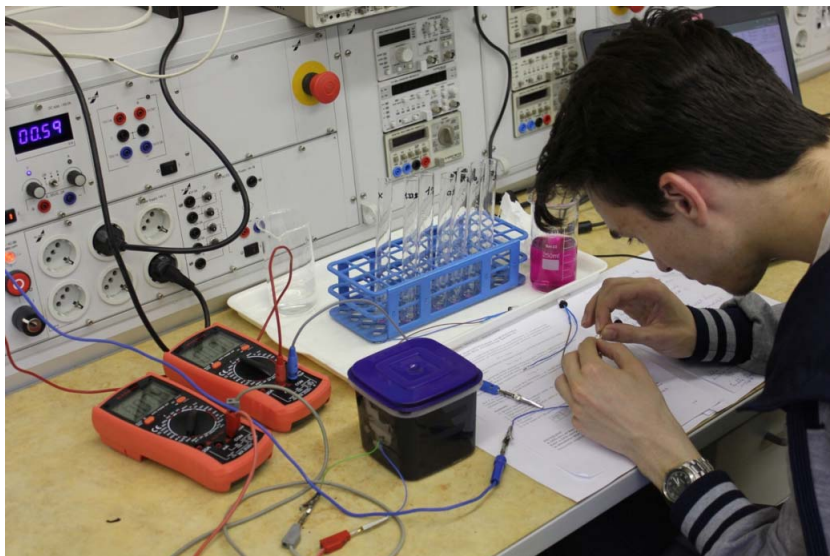
Irodalom

- <http://eskolar.com/apa/index.php/LabVIEW> – Kiss Bálint videói a myDAQ használatáról, például a tanításban
- http://dload.oktatas.educatio.hu/erettsegi/nyilvanos_anyagok_2019_tavasz/fizika_emelt_szobeli_merekek_2019maj.pdf – a fizika szóbeli érettségi mérései
- http://uni-obuda.hu/users/pap.andrea/szenzorok/2016szenzor_11.pdf – összefoglaló a mágneses érzékelők működéséről
- <http://www.asee.org/documents/conferences/k12/2011/07/29-Get-Real-About-Teaching-Science-and-Engineering.pdf> – a myDAQ-kal való ismerkedés legelején találtuk ezt az összefoglalót
- <https://www.ni.com/hu-hu/innovations/white-papers/10/nimydaq-getting-started-and-support.html#ConnecttoSensors>
- <https://learn.ni.com/teach/resources/25/photointerrupter>
- <https://knowledge.ni.com/KnowledgeArticleDetails?id=kA00Z000000P839SAC&l=hu-HU> – három NI segédanyag a szenzorok és a Labview használatáról
- <https://www.youtube.com/user/Labview> – a Labview YouTube-csatornája
- <https://www.youtube.com/channel/UC129F7TVJjdaGAiqF-rliFQ>
- https://www.youtube.com/channel/UCITa74U-gTr_J9suyRTiwWA/ featured – kettő videó a Labview és a myDAQ használatához



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

Az előző két részben bemutattuk a 22. Országos Szilárd Leó Fizikaverseny elődöntőjében, illetve a döntőben feladott elméleti feladatokat és megoldásukat. A mostani, befejező részben a döntő kísérleti és számítógépes szimulációs feladatát, valamint a verseny eredményét ismertetjük. A kísérleti és a számítógépes feladat mindegyikére másfél óra áll rendelkezésre. A kísérleti feladat végrehajtásához szükséges eszközöket az Energetikai Szakgimnázium készítette *Tarján Péter*, *Papp Gergely* és *Ujvári Sándor* tanár urak útmutatásai alapján, és mind a kísérleti mind a számítógépes feladatot az Energetikai Szakgimnázium termében hajtották végre a diákok.



1. ábra. Egy versenyző a kísérleti feladatot végzi a 22. Országos Szilárd Leó Fizikaverseny döntőjében.

Kísérleti feladat

A kísérleti feladat során ismeretlen töménységű kálium-permanganát oldat koncentrációját kellett meghatározni áthaladó fény elnyelésének mérésével.

A feladat motivációja az, hogy a jelenlegi sugárvédelmi szabályozások miatt nehéz radioaktív izotópokkal végzett kísérletet az osztályterembe – és így a versenyre is – vinni, emiatt olyan kísérletet kerestünk, amely legalább elveiben és módszertanában hasonló valamilyen radioaktív jelenség méréséhez.

A mérés gamma-sugarak elnyelődésének mérését „modellezi”, felhasználva a folyadékban elnyelődő fényt és a közegben elnyelődő gamma-sugárzást leíró törvények közötti hasonlóságot.

Az oldatban elnyelődő fény viselkedését a Beer–Lambert-törvény írja le:

$$I(x) = I_0 e^{-\varepsilon c x},$$

ahol $I(x)$ az átengedett, I_0 a beeső fény intenzitása, ε az elnyelő közeg moláris elnyelési együtthatója, x a

fényút hosszúsága az elnyelő közegben, és c a moláris koncentráció.

A versenyzők hét különálló üvegben kaptak kálium-permanganát oldatot. Ezek közül hat koncentrációja ismert, a hetediké ismeretlen volt.

Az oldatokat párhuzamos oldalfalú, átlátszó edénybe tölthették (küvetta), amelyet különböző színű (piros, sárga, zöld, kék) LED fényforrásokkal világíthattak meg. A küvetta áthaladó fény intenzitását napelemhez kötött multiméter segítségével regisztrálták. A kísérleti elrendezést belülről feketére festett, lezárható doboz védte a külső fények zavaró hatásától.

Először üres, majd tiszta vízzel töltött küvetta fényelnyelését kellett mérni a különböző színű LED-ek esetén (háttér meghatározása). A mérés optimális színű LED-jét a legnagyobb (ismert) koncentrációjú oldat elnyelésének mérésével lehetett meghatározni. A versenyzők többsége rájött, hogy az az optimális szín, amelyik a leginkább elnyelődött, hiszen ennél várható a legnagyobb jel, és a legnagyobb érzékenység.

Ezt követően az ismert koncentrációjú oldatok segítségével kísérletileg „igazolták” a Beer–Lambert-törvényt, azaz megállapították, hogy a $\ln(I/I_0)$ -at a c koncentráció függvényében ábrázolva egyenest kaptunk. A mérési hibák miatt természetesen szórtak a pontok, ezért a jobbak valamilyen programmal egyenest illesztettek a mérési pontokra, de voltak, akik csak „szemre”, vonalzóval húzták be az egyenest.

Ezt követően már csak az ismeretlen mérése volt hátra, és a mért értékből az előző mérési sorozatban felvett „kalibráció” segítségével az ismeretlen koncentráció meghatározása.



Sükösd Csaba (1947) a BME címzetes egyetemi tanára, az ELFT elnökségi tagja. Kísérleti magfizikus, aki kísérleti munkáját nagyrészt külföldi kutatóintézetekben végezte. Kutatási területe a magreakciók, óriásrezonanciák és némely asztrofizikailag releváns magreakció vizsgálata radioaktív ionnyalábokkal. Marx György tanítványaként részt vett a 70-es évek MTA oktatási kísérletében. Azóta is szoros kapcsolata van a fizikatanárok közösségével, több tanár- és oktatóval kapcsolatos program vezetője.

Értékelés

A mérési feladatot a zsűri előzetesen könnyűnek tartotta, és ez be is igazolódott – legalábbis az I. kategóriás versenyzők esetében. A maximálisan elérhető 25 pontból az I. kategóriás versenyzők több mint a fele 20 pontnál többet ért el. Két 25 és két 24 pontos megoldás is született. Ugyanakkor a II. kategóriás (Junior) versenyzők számára a mérési feladat nagyobb gondot jelentett: a tíz junior versenyző közül mindössze egy fő ért el 25 pontot, és egy másik 20 pontot. A többiek 20 pont alatti eredményeket tudtak csak felmutatni.

Az Országos Szilárd Leó Fizikaversenyeken általános tapasztalat, hogy a tanulók kísérletekhez való hozzáállása és készsége jóval elmarad az elméleti feladatmegoldásokétól. Lassú javulás ugyan megfigyelhető azóta, hogy az emelt szintű érettségien bevezették a kísérleti fordulót (és ezért feltehetően az iskolában is többet kísérleteznek legalább azok, akik emelt szintre készülnek), ám mind a manuális készség, mind az adatok kiértékelése és értelmezése, valamint a mért adatok és eljárások bemutatása (jegyzőkönyv készítése) terén további jelentős javulásra lenne szükség. Ez a megállapítás jelzés a felkészítő tanárkollégák számára, hogy mely területeket kellene erősíteni.

Számítógépes, szimulációs feladat

A számítógépes szimulációs feladatot – mint a korábbi években is – *Papp Gergely* és *Sükösd Csaba* közösen készítették. A számítógépes feladatot az Energetikai Szakgimnázium termeiben hajtották végre a diákok másfél óra alatt.

A szimulációs feladat során egy önálló, időjárását és villamosenergia-fogyasztását tekintve Magyarországhoz hasonló, de képzeletbeli „szigetország” rendszerét kellett szimulációval vizsgálni. A szigetország azt jelentette, hogy az ország nem exportálhatott és nem importálhatott villamos energiát. A feladat tehát egy olyan rendszer összeállítása volt, ami mindig *pontosan annyi* energiát állít elő, amennyire szükség van, miközben ezt a lehető legolcsóbban, és a lehető legkevesebb szén-dioxid kibocsátásával teszi meg.

A versenyzőktől azt vártuk, hogy „próbálkozás” helyett valamilyen gondolatmenet alapján állítsák össze a rendszert, majd annak tesztelésekor szerzett tapasztalatok birtokában továbboptimalizáljanak.

A villamosenergia-igény egy nap folyamán változik, és a várható igény attól is függ, hogy hétköznap vagy hétvége van, illetve milyen évszakban járunk. Az egyszerűség kedvéért a program csak hétköznapokat szimulál, téli és nyári körülmények között. Az aktuális villamosenergia-igény adatokat, valamint néhány időjárás adatot – napsütés, szél – *ténylegesen mért* magyarországi adatokból vettük.

A rendszer összeállításához 7 fajta energiatermelő egységből választhattak a versenyzők: szén-, gáz-, atom-, szél-, nap-, víz- és tározós erőmű. Az erőműtípusok jellemzőit az *1. táblázatban* – amely a világhálón található tanulmányokból kigyűjtött adatokat (rugalmasság, költségadatok, CO₂-adatok) tartalmaz – foglaltuk össze.

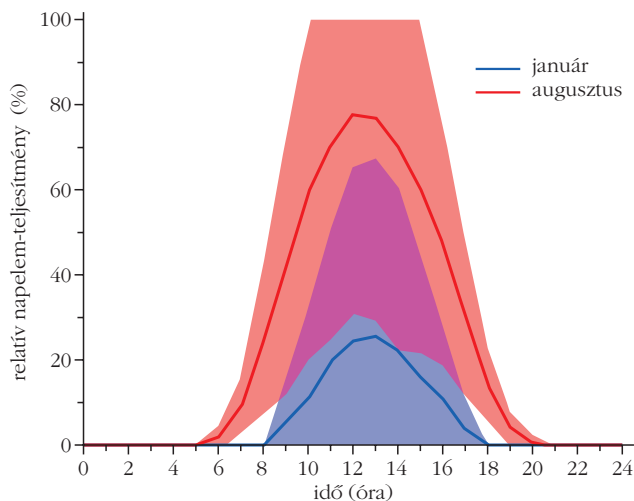
A szél- és naperőművekben termelt áramot az időjárás, napszak és évszak befolyásolja, erre nincs hatásunk. Továbbá, a zöldáram-támogatás miatt az ezen egységekben termelt áramot mindig kötelesek vagyunk átvenni!

A *naperőművekben* termelt áram várható eloszlását mutatja a *2. ábra* (átlag és a 95%-os konfidencia-intervallum). Az ábráról látszik, hogy télen az idő 62%-ában, nyáron pedig az idő 42%-ában, azaz éjszaka egyáltalán nem termelnek a fotovoltaiikus naperőművek.

A *szélerőművek* teljesítménye a véletlenszerűen változó szélesebesség nem monoton függvénye. Amikor a szélesebesség túl nagy (vihar) vagy túl kicsi (például szélcsend), a szélerőmű nem tud termelni. Ezért a szimulációban használt szélerőművek az idő 31,6%-ában egyáltalán nem termelnek, az idő 16,7%-ában 100% teljesítménnyel üzemelnek, a maradék

típus	N_{\max} (db)	P_{\max} (GW)	P_{\min} (GW)	flex (GW/óra)	fix költség (M\$/GWd)	vált. költség (M\$/GWd)	CO ₂ (t/GWh)
szén	10	0,6	0,3	0,3	0,6	1,2	900
gáz	10	0,5	0	0,5	0,3	2,2	500
atom	4	1	1	0	1,6	0,25	10
szél	15	0,3	–	–	1	–	10
nap	20	0,2	–	–	0,6	–	40
víz	3	0,6	0,2	0,6	1,3	–	20
tározós	4	0,5	–0,5	1	1,3	–	20

- N_{\max} a maximálisan építhető darabszám.
- P_{\max} az 1 db egység maximális (beépített) teljesítménye.
- P_{\min} az 1 db egység minimális teljesítménye (ami alatt nem üzemelhet).
- *Flexibilitás* az 1 db egység „rugalmassága”, azaz egy egység 1 óra alatt ennyi GW-tal tudja változtatni (fölfelé vagy lefelé) a teljesítményét.
- *Fix költség* megadja, hogy naponta hány M\$-ba kerül az adott erőműből 1 GW beépített teljesítmény üzemben tartása: befektetési költség, fenntartás és karbantartás.
- *Változó költség* megadja, hogy mennyibe kerül 1 GWnap (azaz 24 GWh) áram előállítás, ezek az üzemanyagköltség és egyéb, termelésfüggő költségek. Az összköltség a két költségtényező összege.
- CO₂ pedig megadja, hogy hány tonna CO₂ kerül kibocsátásra minden megtermelt GWh elektromos energia után.
- Ha egynél több egység kerül beépítésre, úgy ezek a változók a darabszámmal szorozódnak.



2. ábra. A naperőművek teljesítményének napi eloszlása a nyári és a téli időszakban.

51,7%-ban pedig a két véglet közötti teljesítményt adják le. Teljesítményük óráról órára véletlenszerűen változhat.

A versenyzők rendelkezésére állt még a *szivattyús tározós erőmű*, ami segíthet a teljesítményingadozások kiegyenlítésében. Egy tározó tárolási kapacitása 6 GWh. A tározót a szimuláció elején 50% töltöttséggel kapjuk meg, és a nap végére ideálisan 20–80% közötti töltöttségi szintre kellene visszavinni, hogy a következő nap is fenntartható legyen. A tározó hatásfoka $\eta = 90\%$ (feltöltéskor és áramtermeléskor is).

Egyes energiatermelő egységek „rugalmasak”, teljesítményüket az igényeknek megfelelően, automatikusan is képesek változtatni. Prioritásokkal tudjuk megadni, hogy a rendszer először melyik energiatermelő egységet szólítsa fel változtatásra. Különböző prioritási sorrendet adhatunk meg teljesítményhiány, valamint teljesítménytöbblet esetén. Ha például azt szeretnénk, hogy szén helyett inkább vízerőmű termeljen, akkor teljesítményhiánynál a vizet, míg teljesítménytöbbletnél a szénat tegyük felülre. De az automatikus teljesítményigazítás ki is kapcsolható, áttérhetünk „kézi” üzemmódra is (külön-külön mindegyik típusnál).

A program tartalmaz egy adatbázist is: egyrészt a MAVIR nyilvános oldaláról vett, hazai rendszerterhelési/fogyasztási adatokat (egy hónapon keresztül óránként), valamint az OMSZ óránkénti napsütésadatait egy 2007. augusztusi (nyári) és egy januári (téli) hónapra.

A programban választhatunk nyári vagy téli szimuláció között; ekkor a program minden futáskor véletlenszerűen választ ki egy napot az augusztusi vagy a januári napok közül. Ezzel nem csak egyetlen nap egyetlen rendszerterhelésére és időjárására tudunk optimalizálni, hanem ellenőrizhetjük, hogy rendszerünk elég széles és változatos fogyasztási és időjárási viszonyok között is sikeresen tudja-e ellátni az országot villamos energiával.

Mintaként egy nem optimalizált szimuláció képét mutatjuk meg (lásd a címlapot). A jobb oldali alsó grafikonon látható, hogy a termelés szinte tökélete-

sen tudta követni a fogyasztás görbáját (a vízszintes tengelyen az órák, a függőleges tengelyen a teljesítmények vannak). Ezért a lila színű vonal (termelés) szinte nem is látszik a sárga színű fogyasztási görbe alatt. A felső ábrán látszik az atomerőmű (piros) és a vízerőmű (világoskék) állandó teljesítménye. Fölöttük a változó széltermelés (kék) és naperőművek teljesítménye (sárga). Végül a rugalmasan szabályozható gázerőművek (lila) a szükséges mértékre „egésztik ki” az összteljesítményt. (A képen látható szimulációban sem szénerőművet, sem tározós erőművet nem telepített a versenyző.)

A felső menüben a „Statisztika” pont alatt tájékoztatósi céllal részletes üzemi statisztika hívható elő. Természetesen a teljes konfigurációt és az összes adatot, valamint a képernyőképet is elmenthetjük.

Értékelés

A szimulációs feladat megizzasztotta a versenyzőket. A maximális 25 pontból elért átlag 14,85 volt az I. kategóriás, és 13,90 a junior versenyzők esetén. Az I. kategóriában két versenyző, a junioroknál csak egy tanuló ért el 20 pontot (80%), a többiek csak ennél kevesebbet. A legtöbb versenyző esetén hiányzott a logikus gondolkodás (vagy annak leírása), a többség próbálkozásokkal igyekezett megtalálni az optimumot, pedig a feladathoz az itt leírtánál *sokkal részletesebb* útmutatót kaptak. Mindezek ellenére – a visszajelzések szerint – a versenyzőknek (és tanáraiknak) nagyon tetszett a szimulációs feladat. Valószínűleg azért is, mert társadalmilag vitatott kérdéskörhöz nyújtott tényszerű információkat. Sokan kérdezték, hogy hol érhető el a program, mert otthon is szívesen folytatnák még a különböző konfigurációk keresését.

A szimulációs program a verseny után felkerült a webre az Országos Szilárd Leó Versenyen használt korábbi szimulációs programok mellé: http://sukjaro.eu/OSzLF_szimulaciok

A Verseny eredményei

A Verseny ünnepélyes eredményhirdetését a paksi Csengey Dénes Kulturális Központban, a feladatmegoldások ismertetése után tartottuk. 2019-ben a következő diákok érték el a legjobb helyezéseket (az I. kategóriában holtverseny is kialakult).

I. kategória (11–12. osztályosok)

I. helyezett

Fajsi Bulcsu (76 pont), Fazekas Mihály Fővárosi Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium, Budapest, tanára *Csefkő Zoltán*

II. helyezettek

Makovsky Mihály (67 pont), Baár-Madas Gimnázium, Budapest, tanára *Horváth Norbert*,

Pácsi Péter (67 pont), Zrínyi Miklós Gimnázium, Zalaegerszeg, tanára *Pálovics Róbert*

„Junior” kategória

I. helyezett

Bonifert Balázs (67 pont), Baár-Madas Gimnázium, Budapest, tanára Horváth Norbert

II. helyezett

Ludányi Levente (66 pont), SZTE Gyakorló Gimnázium és Általános Iskola, Szeged, tanára *Nagy Tibor*

III. helyezett

Bokor Endre (64 pont), Fazekas Mihály Fővárosi Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium, Budapest, tanára *Schramek Anikó*

A záróülést és a díjátadást megtisztelte jelenlétével *Radnóti Katalin*, a Magyar Nukleáris Társaság Nőtagozata alelnöke, *Csajági Sándor*, a Paksi Vak Bottyán Gimnázium igazgatója, valamint *Csanádi Zoltán*, az Energetikai Szakgimnázium és Kollégium igazgatója.

Ebben az évben több *különdíj* átadására is sor került. Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat idén is egy-egy éves *Fizikai Szemle* előfizetést ajánlott fel a két kategória első öt helyezettjének. A Magyar Nukleáris Társaság (MNT) könyvjutalmakat ajándékozott a versenyzőknek, valamint kedvezményes részvételi jegyeket az MNT által szervezett Nukleáris Szaktáborra a két kategória első három helyezettjének, amelyet *Mester András* tanár úr, az MNT Tanári Szakcsoportjának elnöke adott át. Az MNT Nőtagozata (WIN) a legjobb lányversenyzőt – *Olosz Adél* I. kategóriás versenyzőt (PTE Gyakorló Általános Iskola, Gimnázium és Óvoda, Pécs) – különdíjként egynapos látogatásra hívta meg a Paksi Atomerőműbe. A látogatás célja az atomerőműben dolgozó mérnöknők munkájának megismerése volt. A különdíjat Radnóti Katalin adta át.

A záróülésem a tanulói díjak, különdíjak és oklevelek átadása után került sor az idei *Delfin-díj* átadására, amelyet minden évben a tanárok pontversenyében legjobb eredményt elért *tanárnak* ítél a versenybizottság. Ebben az évben a Delfin-díjat *Simon Péter*, a Leöwey Klára Gimnázium (Pécs) tanára vehette át. A tanár úr már 2004-ben, 2008-ban és 2011-ben is kapott Delfin-díjat! Gratulálunk.

A *Marx György Vándordíjat* – amelyet minden évben a pontversenyben legkiválóbb eredményt elért *iskolának* ítél oda a Versenybizottság – idén a *Piarista Gimnázium* (Budapest) – immár egymást követő második évben(!) – nyerte el. Gratulálunk.

Az ünnepélyes eredményhirdetés végén Sükösd Csaba köszönetét fejezte ki a versenyt támogató Emberi Erőforrás Támogatáskezelőnek, a Nemzeti Tehetségprogramnak, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nukleáris Technikai Intézetének, a Magyar Nukleáris Társaságnak, az Eötvös Loránd Fizikai Társulatnak, a Paksi Atomerőműnek, a Paksi Vak Bottyán Gimnáziumnak és a paksi Energetikai Szakgimnáziumnak és Kollégiumnak, valamint minden támogatónak és különdíjat felajánló szervezetnek a verseny megrendezésében nyújtott segítségükért. Külön köszönet illeti a Versenybizottságot és mindazokat a helyi szervező és tanárkollégákat, akik a szokatlan időpont ellenére is lelkesen és fáradtságot nem ismerve dolgoztak a verseny sikeréért.

A versenyt változatlan tematikával 2020-ban is megrendezzük. Ismételten *bátorítjuk a határon túli magyar tannyelvű iskolák* tanulóit is, hogy nevezzenek be az Országos Szilárd Leó Tanulmányi Versenyre. Nevezni a verseny honlapjáról – www.szilardverseny.hu – kiindulva lehet.

FIZIKAOKTATÁSUNK MARGÓJÁRA

Holics László
Budapest

Mivel az új Nemzeti Alaptanterv sajnálatosan hihetetlen módon lecsökkentette a középiskolai fizikaoktatás óraszámát (1979-ben még heti 0, 3, 3, 4 = **10** volt, napjainkra csupán 2, 2, 0, 0 = **4** maradt), a tankönyvekben található téves állításokról szükséges néhány szót ejteni, annál is inkább, mert az új óraszám miatt „rohanni kell” a tananyaggal.

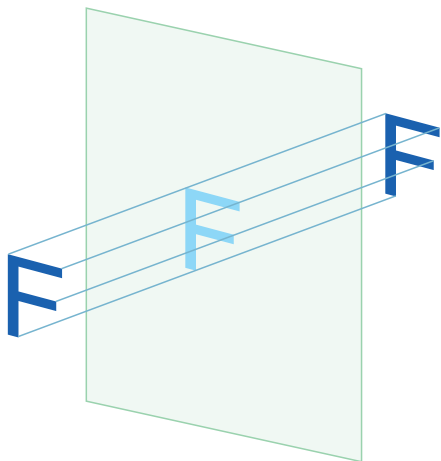


Holics László 1953-ban diplomázott az ELTE-n. 1959-ig a budapesti II. Rákóczi Ferenc gimnázium matematika-fizika-ábrázoló geometria tanára, majd 2010-ig az ELTE Apáczai Csere János Gimnázium fizika vezetőtanára. A Fizika OKTV, a Mikola Sándor Fizikaverseny Bizottságának és a *KöMaL* szerkesztőbizottságának tagja, több fizika tankönyv szerzője. Többek között az Apáczai Csere János díj, az Ericsson-díj, a Rátz Tanár Úr életműdíj és a Magyar Érdemrend tisztikeresztje birtokosa.

Az alábbiakban a forgalomban levő tankönyvek egy részében, az optika témakörében felbukkanó képtelen állítások egyikéről feltétlenül szólni kell. Ez pedig a tanuló saját tükrképével kapcsolatos, amivel élete során minden nap találkozunk. Egy rövid kijelentésben található a probléma lényege, amikor tankönyvben a siktükör képalkotásáról esik szó: „A tükör által alkotott kép egyenes állású, de a bal és jobb oldalt felcseréli.”

A téves értelmezés azon helyzetből adódik, hogy az ember függőleges tengelyére nézve (majdnem tökéletesen) szimmetrikus, de a vízszintesre nem! (Ez a legtöbb élőlényre érvényes.) Ezért a tükörbe nézőnek úgy tűnik, hogy egy valóságos személy képét látja, ami megtévesztően hasonlít önmagára, ezért hiszi valóságos személy képének a látványt. Pedig olyan „személy”, mint amilyen a tükörben szemben áll vele, *nem is létezik*.

Már az is feltűnhetne a tükörbe nézőnek, ha szabvány ingben van, a bal oldalon levő ingsebe a tükör-



1. ábra. F betű a tükör előtt.

ben képzelt személy „jobb oldalára” került. Ilyen inget tudtommal nem gyártanak.

Ha az emberek a függőleges tengelyre nagyon eltérnének a szimmetriától, azonnal látható lenne, hogy nem egy élő személy néz velünk szembe a tükörből. Torz ember helyett tekintünk egy egyszerű alakzatot, például egy F betűt, amit a tükör elé helyezünk (1. ábra). Azonnal látszik hogy a tükör sem a fent-lentet, sem a bal-jobbot nem cseréli fel. (Mellesleg a fent és lent fogalmát a gravitáció alakította ki az emberben. Ugyan, mi köze lehet a gravitációnak a képzalkotás-hoz? Vajon egy szabadon mozgó űrhajóban mi döntene el a fent-lentet?)

Tanulságos lenne a síktükör mellett egy videokamerát és a mellé a megfelelő képernyőt elhelyezni. A két képen azonnal látható lenne az a különbség, ami a tükör képen mutatott *nem létező személy* és a valóságos személy képe között van. (Például az ingzseb a helyére kerülne a videóval készített képen.)

Hogy ez a téveszme mennyire elterjedt oktatásunkban, idézzünk néhány tankönyvi részletet! Kezdjük a

3. ábra. „Tükörkép a fürdőszobai tükörben. Melyik kezével nyúl a fiatal nő a hajához? És a tükörképén?” Forrás: [2] 66. oldal.



2. ábra. Illusztráció a síktükörhöz az [1] 86. oldalán.

legkorábbival! *Vermes Miklós* tette fel az alábbi kérdést (nem válaszolt rá) a fizikarovattal bővített *Középiskolai Matematikai Lapokban*:

„248. A síktükörben keletkező virtuális kép egyenes állású, de felcseréli a bal és a jobb oldalt. Hogyan lehetséges ez, hiszen a tükör síkja a rábocsátott merőleges körül minden irányban egyenrangú? Hogyan tudja a tükör, hogy az egyenrangú irányok (bal-jobb, fel-le) közül melyiket kell felcserélni és melyiket nem? Mi történik a világűrben és a súlytalan űrhajóban?”

Az általános iskolásokat például az egyik tankönyvük 86. oldalán tájékoztatják félre (2. ábra) [1]:

„Megfigyelhető, hogy a síktükörben látott látszólagos kép nagysága és állása a tárgyéval megegyező. Röviden úgy mondjuk, hogy a kép egyenes állású és eredeti nagyságú, de a jobb és bal oldalakat...”

A következő idézet és a 3. ábra a [2] 66. oldalán található:

„*Térbeliség.* A síkra vonatkozó tükrözés érdekes tulajdonsága, hogy felcseréli a térbeli irányítotttságot. Jobb és bal kezünk térbeli irányítotttsága éppen ellentétes: Ez azt jelenti, hogy nem tudjuk a jobb kezünket olyan helyzetbe mozgatni, hogy fedésbe kerüljön a ballal. Ha azonban például a jobb tenyerünket egy tükörhöz érintjük, akkor tükörképe olyan lesz, mint a bal kezünké. Ugyanez okozza azt, hogy a tükörben látott szöveget alig tudjuk elolvasni (tükrírás).”

Végül lássunk egy szintén helyes képet (4. ábra) a *megettévesztő* szöveggel. Ugyanaz a kép és szöveg két, különböző tankönyvben azonos szerzőktől [3, 4] a 126., illetve a 26. oldalon:

„A síktükör által alkotott kép:

- a tárgygal azonos állású,
- a tárgygal megegyező nagyságú ($K = T$),
- látszólagos,
- a jobb és bal oldalt megfordítja.”

A közölt kép természetesen helyes látványt mutat, csak a hozzá fűzött magyarázat helytelen. A jobb oldal a jobb oldalon, a bal oldal a bal oldalon van, csak a képen egy kedves, de *nem létező* személyt



4. ábra. „A síktükör által alkotott képen a jobb és a bal oldal felcserélődik.” Forrás: [3] 126. és [4] 26. oldal.

látunk! Vagyis a tükör éppen hogy nem fordítja meg a jobb és a bal oldalt!

Megjegyzendő, hogy a síktükör nagyon alkalmas arra, amire használjuk, (borotválkozásra, szájrúzsoszára, fésülködésre, nyakkendőigazításra stb.), csak arra nem, hogy egy valóságos személyt szemlélhesünk a tükörképben.

A tükör haszna azonban igencsak előnyös egy videóval felvett, *valóságos képet* közvetítő képernyővel szemben. Ugyanis, ha a valóságos képünk segítségével szeretnénk például borotválkozni, pillanatok alatt véresre vagdosnánk az arcunkat azért, mert az a kép azt mutatná, amit a szemből ránk néző személy látna rólunk, de nem az ő kezével tartanánk a borotvapengét, hanem a sajátunkéval. (Sajnos csak hölgyek tükrépmintáival találkoztam a tankönyvekben.)

Ezért javaslom, hogy használjuk nyugodtan a síktükröt, de ne tanítsunk róla valótlanságokat.

Irodalom

1. Halász Tibor (alkotó szerk.): *Fizika 8.* (2013) MOZAIK tankönyvkiadó, Szeged.
2. Zátanyi Sándor: *Fizika a 8. évfolyam számára.* Oktatáskutató és Fejlesztő Intézet, Budapest.
3. Drégen Csaba, Elblinger Ferenc, Simon Péter: *Fizika 11. Emelt szintű képzéshez.* (2016) Oktatáskutató és Fejlesztő Intézet, Budapest.
4. Drégen Csaba, Elblinger Ferenc, Simon Péter: *Fizika 11. Fény, Atom, Világegyetem.* (2015) Nemzedékek Tudása Tankönyvkiadó, Budapest.

Magyar Fizikus Vándorgyűlés 2019

A Szerkesztőbizottság tagjai kéri a Vándorgyűlés előadóit és poszterkészítőit, hogy elhangzott gondolataikat, eredményeiket osszák meg a Szemle olvasóival.

Szerkesztőség: 1092 Budapest, Ráday utca 18. földszint III., Eötvös Loránd Fizikai Társulat. Telefon/fax: (1) 201-8682

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

Kiadja az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, felelős kiadó Groma István főtítkár, felelős szerkesztő Lendvai János főszerkesztő.

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

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

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

Megjelenik havonta (nyáron duplaszámmal), egyes szám ára: 1000.- Ft (duplaszámé 2000.- Ft) + postaköltség.

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



Országos Szilárd Leó Fizikaverseny



A XXIV. Országos Szilárd Leó Fizikaverseny meghirdetése

A Magyar Nukleáris Társaság (Budapest), az Energetikai Technikum és Kollégium (Paks), a Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítvány (Paks) és az Eötvös Loránd Fizikai Társulat (Budapest), meghirdeti a XXIV. Országos Szilárd Leó Fizikaversenyt.

Nevezhetnek a határon innen és túl magyar nyelven fizikát tanuló, általános és középfokú oktatásban résztvevő diákok iskolai korcsoportjuknak megfelelő kategóriában a sukosd@reak.bme.hu címre küldött e-mailben a következő linken található Jelentkezési Lap (Excel-fájl) kitöltésével és elküldésével:
<http://sukjaro.eu/SzilardVerseny/JelentkezesiLap.xlsx>
Nevezési díj nincs, a nevezés határideje: **2021. január 17.**



Az első forduló időpontja: **2021. február 22., 14:00–17:00,**
helyszíne: a benevezettek iskolája.

A második (döntő) forduló időpontja:
2021. április 23–25. (péntek déltől vasárnap délig),
helyszíne: Paks, Energetikai Technikum és Kollégium

A döntőbe az első fordulóban legjobb eredményt elért, maximálisan **húsz I. és tíz II. kategóriájú tanulót** hívja be a Versenybizottság. A Verseny honlapja – <http://www.szilardverseny.hu> – tartalmazza a kategóriák meghatározását.

Az Országos Szilárd Leó Fizikaverseny célja a fizika – és ezen belül is a nukleáris és a modern fizika – iránt érdeklődő tehetséges tanulók felfedezése.

A verseny mindkét fordulójában **10-10 elméleti feladatot** kell a versenyzőknek megoldani. A döntőben ezen kívül még **kísérleti és számítógépes szimulációs feladatot** is kapnak a versenyzők.

Várjuk a kihívást vállaló, tehetséges fiatalok jelentkezését!

A Versenybizottság nevében

*Dr. Sükösd Csaba, c. egy. tanár,
a Versenybizottság vezetője*

