

fizikai szemle



BARÓ
EÖTVÖS
LORÁND

2021/2

Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

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

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat havonta megjelenő folyóirata.

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

Főszerkesztő:
Lendvai János

Szerkesztőbizottság:

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

Műszaki szerkesztő:
Kármán Tamás

A folyóirat e-mailcíme:

szerkesztok@fizikaiszemle.hu

A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

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

A folyóirat honlapja:

<http://www.fizikaiszemle.hu>



A címlapon:

Eötvös Loránd 2020 novemberében felállított szobra a Budapest XII. kerületi Gesztenyés-kertben. Rieger Tibor Kossuth-díjas szobrászművész alkotását a járvány miatt még nem avatták fel, az eseményről majd tudósítunk (fotó: Kármán Tamás).

TARTALOM

Horváth Dezső: Séta a Higgs-bozon körül: az adatelemzés rejtelmek 37
– 1. rész: a Higgs-bozon keresése
A Higgs-bozon keresésénél és vizsgálatánál alkalmazott matematikai módszerek áttekintése.

Illy József: Ki találta föl az Einstein–Szilárd-féle hűtőszekrényt? 43
Két „különleges” hűtőszekrényt tulajdonítanak Einsteinnek és Szilárdnak. Mindkettőt már mások feltalálták, és alkalmazták.

Tibai Zoltán, Turnár Szabolcs, Kovács Bálint, Pálfalvi László, Almási Gábor, Hebling János: Részecskegyorsítás extrém nagy térerősségű terahertzes impulzusokkal 47
A terahertzes impulzusokkal történő részecskegyorsítás előnyei és gyakorlati alkalmazásának lehetőségei.

VÉLEMÉNYEK

Bognár Gergely: Lábjegyzet a tehetetlenség törvényének kialakulásához 53
A szerző a keresztény hitvilágot a tudományos fejlődés gátjaként beállító nézetekkel szemben fogalmaz meg érveket.

A FIZIKA TANÍTÁSA

Horváth Péter: „Fegyelmezett érdeklődéssel nyúlj bármilyen problémához” – a 90 éves Wiedemann László köszöntése 56

Wiedemann László: Egzaktság és ismeretterjesztés 57
Két szakmai illusztráció közelítésekre és egyszerűsítésekre a tudományos ismeretterjesztésben, hogy az inkább szakmai alapokra épüljön, a látványosság ne menjen a szakmaiság rovására.

Siposs András: Holics Tanár Úr 90 éves 61

Holics László: Válaszlevél 62
Az írás egy korábbi hozzászólásra reagál.

Tichy Géza, Vankó Péter, Vigh Máté: A 2020. évi Eötvös-verseny eredményhirdetése 63

HÍREK – ESEMÉNYEK

Tichy Géza (1945–2021) 69

Jelölési/pályázási felhívás az Eötvös Loránd Fizikai Társulat kitüntetettjeire, valamint felsőoktatási és tudományos díjaira 72

D. Horváth: A walk around the Higgs boson: the mysteries of data analysis – Part 1: Search for the Higgs boson

J. Illy: Who invented the Einstein–Szilard refrigerator?

Z. Tibai, Sz. Turnár, B. Kovács, L. Pálfalvi, G. Almási, J. Hebling: Particle acceleration with extremely high field strength terahertz pulses

OPINIONS

G. Bognár: Footnote to the invention of the law of inertia

TEACHING PHYSICS

P. Horváth: “Approach any problem with disciplined interest” – Greetings to 90-year-old László Wiedemann

L. Wiedemann: Accuracy and dissemination of science

A. Siposs: László Holics is 90 years old

L. Holics: Reply to the Editors

G. Tichy, P. Vankó, M. Vigh: Solutions and results of the 2020 Eötvös Competition

EVENTS

Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését támogatják:



SÉTA A HIGGS-BOZON KÖRÜL: AZ ADATELEMZÉS REJTELMEI – 1. rész: a Higgs-bozon keresése

Horváth Dezső
Wigner Fizikai Kutatóközpont, Budapest

A részecskefizikai kísérletek horribilis méretére és költségére, de elsősorban a rendkívüli pontosság követelményére tekintettel, egyáltalán nem mindegy, milyen módszereket használunk a kísérleti adatok elemzésére és értelmezésére. A részecskefizika óriási együttműködési külön statisztikus bizottságokat tartanak, amelyekben több olyan fizikus is található, aki írt könyvet „Statisztika fizikusoknak” vagy „Statisztikus módszerek a fizikában” típusú címmel. A Google kereső „statistics for physicists” beírására feldob egy tucat hasonló alternatív címet és 8 milliónál több weblapot (persze hatalmas átfedéssel). A részecskefizikában különösen vigyáznunk kell az elhamarkodott felfedezések bejelentésével, minden új jelenséget alaposan körbejárunk, és még így is előfordulnak bizonyítatlan, illetve nagyon ritkán később megcáfolt megfigyelések.

Amint azt a *Fizikai Szemle* hasábjain is gyakran elmondtuk (utoljára *Veszprémi Viktor* a 2020. áprilisi számban [1]), a részecskefizika elmélete, a standard modell ugyan kiválóan leírja méréseink eredményeit, hosszú évtizedek munkájával még a Higgs-bozont is sikerült megfigyelniünk (ezzel foglalkozik írásom), mégis hiányosságoktól szenved. Több megfigyelt jelenség is túlmutat rajta, például nem ad számot a galaxisok mögötti sötét anyagról, valamint nem viseli el a neutrínók tömegét és ízregését. Kell, hogy legyen tehát valamilyen új fizika, amely megtartva a standard modell eredményeit, túllép rajta. Sok ilyen elméleti modell létezik és többségük *jósol* a nagyenergiás kísérletekben elvben megfigyelhető, a standard modellel számítottól különböző jelenségeket. Azokat tehát keressük. Erre két elvi módszer van: szimulációkkal összehasonlítva konkrétan rákérdezzünk az új jelenség létezésére, vagy pontos mérésekkel eltéréseket keresünk a standard modell által számított eredményektől. Tekintettel arra, hogy a lehetséges eltérések nagyon

kicsik – hiszen ha nagyok lennének, már régen megtaláltuk volna – a mérési módszerek előtt igen magasak a követelmények, mind az észlelés, mind pedig az adatelemzés terén.

Cikkünk két részében áttekintjük a Higgs-bozon keresésénél és vizsgálatánál alkalmazott matematikai módszereket. Az első rész általában foglalkozik a statisztikus módszerekkel és összefoglalja a 2012-ig csak egyre szűkülő határokat adó kereséseket, főként a CERN LEP elektron-pozitron ütköztetőjénél, a cikk második részét pedig a Higgs-bozon megfigyelésének és részletes tanulmányozásának szenteljük.

A részecskefizikusok statisztikus módszerei

Ezek a módszerek annyira különböznek a *bivatalos* matematikai statisztikától, mint például a gépészmérnököké az elméleti mechanika Hamilton-formalizmusától (idézet a [2] tankönyvünkből), vagy a vízvezeték-szerelőé a hidrodinamikától. Az LHC-kísérletek módszereivel foglalkozó egyik konferenciaanyagban *Eilam Gross* (ATLAS-kísérlet) *LHC-statisztika gyalogosoknak* című cikkében a következőképpen fogalmazza meg a kiadvány célját: „Gyalogos útmutató ... az összezavarodott fizikusnak, hogy eligazodjon a nagyenergiás *fizstatisztikusok* zsargonjában és módszereiben. ... A fizstatisztikus olyan fizikus, aki nagyjából ismeri a statisztikát és tudja, hogyan néz ki *Kendall* statisztikaelméleti könyve.”

Minden nagyenergiás együttműködésben vannak *fizstatisztikus* szakemberek, akiknek sokszor eltérő véleménye van arról, mi a szóban forgó adatelemzés optimális statisztikai módszere. Az együttműködések ezen résztvevőiket statisztikus bizottságaikba gyűjtik, amelyek általános tanácsokat, javaslatokat állítanak össze a problémák kezelésére, és ellenőrzik a kutatócsoportok publikációiban használt statisztikus módszereket.

A fentieket saját tapasztalatom is messzemenően igazolja. Évekig küzdöttem az ellen, hogy a CMS-publikációkban az igencsak bonyolult módszerrel származtatott teljes kísérleti bizonytalanságot *standard deviáció*nak nevezzék, hiszen annak egészen konkrét matematikai definíciója van:

$$\sigma_{SD} = \frac{S}{\sqrt{n-1}},$$

ahol

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2,$$

Szeretném köszönetemet kifejezni a leírt kutatásokban részt vett több ezer kollégának a közös munkáért, a CERN-nek és az NKFIH-nak (számos jogelődjével együtt) tevékenységünk anyagi támogatásáért, valamint *Pásztor Gabriellának* és *Trócsányi Zoltánnak* kéziratom gondos elolvasásáért és rengeteg javító javaslatukért.



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.

azaz az x_i mért értékek négyzetes eltérése a μ átlagtól (vagy valamilyen várt értéktől) n mérési pont alapján. Ez az értékek Gauss-eloszlása esetén,

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right],$$

gyakorlatilag megegyezik az eloszlás σ szélességével (1. ábra). A CMS statisztikus bizottsága idén a következő határozattal szerelte ezt le: „Kísérletünkben standard deviációnak hívjuk azt a bizonytalanságot, amely ugyanakkora statisztikus megbízhatósággal (konfidenciával) rendelkezik, mint a Gauss-eloszlás σ szórása.” Az egyértelműség kedvéért azután ezen bizonytalanságok jele általában is a σ . Nem véletlenül helytelenítik az ilyesmit a matematikusok.

Fizikai mérésünk eredményét sokszor úgy nyerjük, hogy a kísérletileg kapott eloszlást valamilyen elméleti függvénnyel illesztjük, az illeszkedés jósága jellemzően az elméleti modell érvényességét. Ehhez általában a

$$\chi^2_{n-m-1} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2} [y_i - g(x_i; p_1 \dots p_m)]^2$$

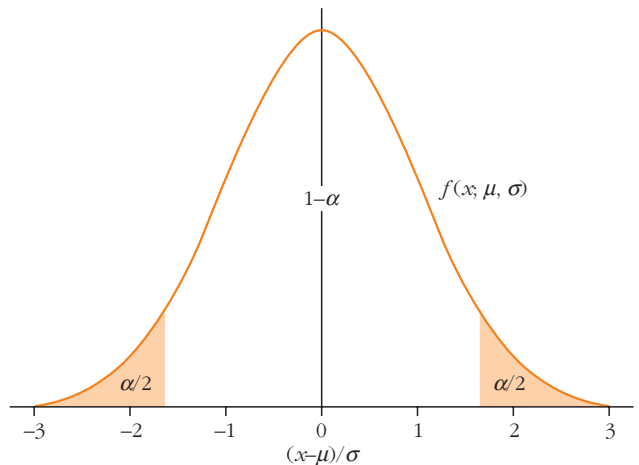
mennyiséget használjuk, ahol n különböző x_i pontban σ_i bizonytalansággal mért y_i értékhez illesztettük a $g(x)$ függvényt $p_1 \dots p_m$ paraméterekkel. A χ^2 várható értéke egyenlő a szabadsági fokainak $n-m-1$ számával, a

$$\chi_r^2 = \frac{\chi^2_{n-m-1}}{n-m-1}$$

relatív vagy redukált χ^2 -é tehát egységnyi lesz. Ha az egynél sokkal nagyobb, rossz a modellfüggvény, ha viszont sokkal kisebb, akkor több információt próbálunk kinyerni a kísérletről, mint amennyit nyújtana.

Mérési bizonytalanság (nem hiba!)

A mért érték pontosságát tükröző bizonytalanság meghatározása elengedhetetlen. Az elemzés legbonyolultabb és legtöbb fejtörést igénylő része az eredmény σ_{sys} szisztematikus bizonytalanságának (fizikus zsargonban *szisztematikus hibájának*) becslése. A σ_{stat} statisztikus bizonytalanság pofonegyszerű, mert csak attól függ, hány megfigyelt és elfogadott eseményen alapul. A szisztematikusnak ezzel szemben számtalan forrása van, hozzájárul a mérőberendezés felhasznált részeinek (a részecskefizikai kísérletekben több tucat különböző lehet) kalibrációja, a felhasznált részecskék száma, fókuszáltsága és energiája, a felhasznált adatok illesztési tartománya, illetve az elemzéshez alkalmazott szimulációk bizonytalansága a bevitt modellparaméterek és más adatok, valamint a feltételezett folyamatok és felhasznált eljárások függvényében. Ebből jól látszik, hogy miután végre kidol-



1. ábra. Gauss-eloszlás μ átlaggal és σ szélességgel. A vízszintes tengelyen az átlagtól való eltérést ábrázoltuk a szélesség egységében. Annak konfidenciája $(1-\alpha)$, hogy x mért értéke a színezett $\alpha/2$ területek között található.

goztuk, a kollégákkal elfogadtattuk és adatainkra alkalmaztuk a legjobbnak bizonyult elemzési módszert, a szisztematikus hibák becslése az eredeti analízis sokszorosa lehet.

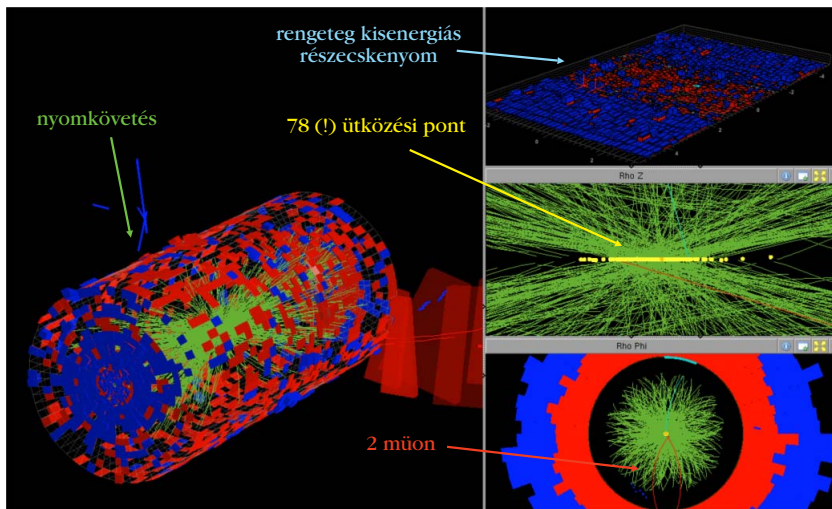
A szisztematikus bizonytalanságot tehát meg kell becsülnünk (nem erkölcsileg persze, hanem számszerűen), de rengeteg forrása lehet, és azok statisztikusan nem mindig függetlenek egymástól. A szimulációban használt modellek paramétereit például variálnunk kell a bizonytalanságukkal, és megbecsülnünk a változtatás hatását a végeredményre. Szimulációval kell ellenőriznünk valamennyi paraméter korrelációit, és azok figyelembe vétele mellett egy teljes σ_{sys} értéket meghatározunk. A publikációnkban a statisztikus után ezt külön felírjuk, esetleg még külön vesszük az utólag korrigálható bizonytalanságot (a nyalábenergia és -intenzitásé) és nem korrigálhatókat (például a szimulációk bemenő paraméterei, mint elméleti hatás keresztmetszetek, vagy a mérőberendezés kalibrációjával kapcsolatosakat).

Teljes bizonytalanság

Megkaptunk tehát kétféle bizonytalanságot, azonban ahhoz, hogy kimondhassuk egy új jelenség megfigyelését vagy kizárását, egy teljes σ értékre van szükség, amelyet többféle módon kaphatunk meg. Először is durva összegzéssel:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\text{stat}}^2 + \sigma_{\text{sys}}^2}.$$

A korrelációk elhanyagolása jó esetben növeli, rossz esetben azonban csökkentheti a σ -t. Ha egyetlen fizikai paraméterre van szükségünk, használhatjuk a CERN MINUIT-programrendszerének MINOS-módszerét: addig csökkentjük és növeljük az érdekes paraméter értékét az összes többi szabadon engedve és újra illesztve, amíg az abszolút χ^2 , az illesztés jósága egy egészet nem növekszik, ezt a két értéket tekintjük



2. ábra. 78 azonosított protonütközés egyetlen CMS-eseményben. Vegyük észre, hogy a vertexek (ütközési pontok) gyakorlatilag egy vonalban vannak, mert a fonalszerű (mintegy 10 cm hosszú és néhány mikrométer keresztmetszetű) protoncsomagok egymással szemben haladva ütköznek. Ez az esemény csak azért ment át a szűrésen, mert két müion is tartalmaz, egyébként egyszerű zajnak tekintenék.

a Gauss-szerű $\pm\sigma$ -nak. Ha azonban több fizikai paraméterünk van, módunkban áll matematikai módszerrel eltávolítani (más szóval marginalizálni) az érdekteleneket, felhasználva a szimulációk alapján kapott numerikus eloszlásokat. Végül pedig vannak tisztán numerikus módszerek is erre. Részletekért lásd a [2] tankönyvünk 8. fejezetét.

Események

A részecskefizika alapvető kísérleti módszere az *eseményregisztráció*. Előre megfogalmazott feltételek mellett (azokat a puskaravasz angol neve alapján *triggernek* hívjuk) figyelik a detektorrendszerre kapcsolt számítógépek a beözönlő adatokat. Az LHC-nál másodpercenként 40 milliószor ütköznek a protoncsomagok egymással a detektorok középpontjában, abból két lépésben mintegy 1000 ütközést választunk ki, mert annyit tudunk felírni, a többi törlődik. Ezt a csomagütközést hívjuk *eseménynek*, amely 50-60 proton-proton ütközést is tartalmazhat. Az egyes proton-proton ütközéseket a keletkező és szétrepülő részecskék találkozási pontjainak helye alapján tudjuk megkülönböztetni (2. ábra). Az egymást követő események statisztikusan függetlenek egymástól.

Az LHC-nál bekövetkező sok egyidejű proton-proton ütközés a nyalábcsomagok egy-egy észlelt keresztződésében kicsit összezavarta az esemény fogalmát. Eredetileg – az LHC előtt – az egy észlelésben több párhuzamos részecskeütközés valószínűsége kicsi volt, tehát azokat el lehetett dobni. Ha azonban minden észlelés sok-sok ütközést tartalmaz, közülük ki kell választanunk azt, amelyik érdekes, és azt, a fő ütközésünket kell vizsgálnunk.

A felfedező kísérletezésben alapvető a *vak adat-elemzés* módszere. Az orvostudományból érkezett, és lényege, hogy anélkül fejlesszék, optimalizálják, iga-

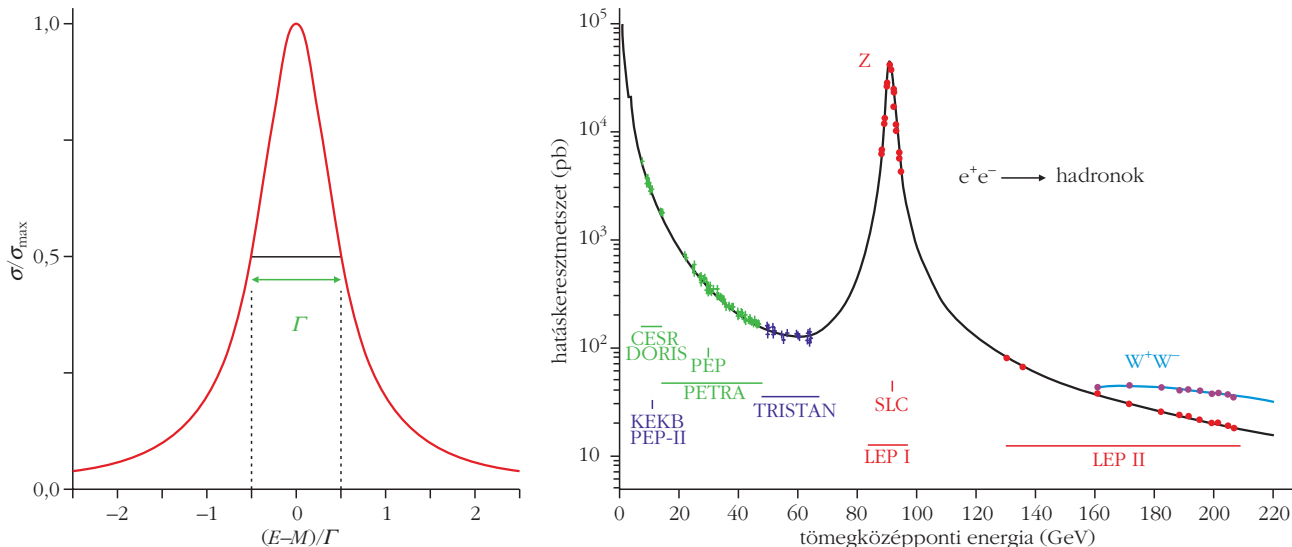
zolják és publikálják az adatelemzés módszerét, hogy a fő vizsgálati tartományban levő új eseményeket figyelembe vennék, csak a régebbi adatokat és a szimulációk eredményeit szabad használni. A nagy együttműködések megengedhetik maguknak, hogy a kutatócsoportokat egymással versenyeztessék, és a szimulációkon bizonyított legjobb adatelemzést fogadják el, miközben azt a versenytársak igyekeznek ízekre szedni. A szerző – egy manchesteri csoporttal szemben – veszített egy ilyen versenyben a LEP ütköztető OPAL-kísérletében. A kérdéses adatokhoz csak azután szabad nyúlni (rendszerint nagyobb konferenciák előtti egy-két hétre időzítve), miután az összes párhuzamos adatelemzést átvizsgálták és elfogadták.

Felfedezés és kizárás

Új fizikai jelenségek keresésekor vagy megfigyeljük azt, vagy felfedezés híján ki akarunk zárni nem látott jelenségeket, illetve a szóban forgó modell bizonyos paramétertartományait. Megállapodás szerint a gyorsító részecskefizikában a felfedezésnek legalább 5σ jelentőséggel kell rendelkeznie. Ez azt jelenti, hogy a tévedés valószínűsége mintegy $3 \cdot 10^{-7}$. Akkor közölhetjük tehát egy új részecske megfigyelését, ha látjuk a megjelenését (az általában tömegcsúcs a bomlástermékek összenergiájában, 3. ábra) a teljes kísérleti bizonytalanságának legalább ötszörösével kiemelkedni a háttérből. A közösség még ezek után is csak akkor ismeri el, ha másik független kísérlet azt megerősíti. Nagyon ritkán fordult elő olyan 5σ jelentőséggel megfigyelt új jelenség, amelyet később megcáfoltak volna, és azokról általában kiderült, hogy valami hiba okozta. Ez a feltétel meglehetősen szigorú, ezért újabban kitaláltak egy lazább kategóriát is: 3σ konfidencia fölött valaminek a *jelét* látjuk (ennél már 0,3% a tévedés valószínűsége, azaz *csak* 99,7% a megbízhatóság). Több 3σ körüli megfigyelés maradt kétséges az évek folyamán, mert nem sikerült a bűvös 5σ fölé tolni.

Érdekes még a *nézz máshova* (look elsewhere) elve. A vicc szerint, ha valaki munkát talál, abbahagyja az álláskeresést. Ha sikerült felfedeznünk valami újat, boldogan megállunk a keresésben. Az elv szerint tovább kell mennünk, és például végigcsinálnunk a keresést az összes lehetséges helyen (például feltételezhető részecske tömegnél), nemcsak a megfigyelés környékén, hogy elkerüljük az esetleges tévedést, hamis felfedezést. Ezzel a teljes kísérleti módszerünket is ellenőrizzük, nem csupán a konkrét eredmény hitelességét.

Mi a helyzet, ha nem látunk semmit? A modellkészítők szempontjából nagyon fontos, ha nem is mindig kellemes, hogy kimondjuk, nincs ott a várt jelen-



3. ábra. Rezonanciagörbék. Bal oldalt: Breit-Wigner-rezonancia (Lorentz-görbe), relatív bomlási gyakoriság az energia és a bomló tömeg bomlásállandóval normált különbségének függvényében. Jobbra: a Z-bozon hadronos bomlása (bomlási hatáskeresztmetszete) elektron- pozitron ütközésben a tömegközépponti energia függvényében, más reakciók háttérén óriási rezonanciacsúcs a Z-bozon 91 GeV-es tömegénél.

ség, azaz kizárjuk azt. A kizáráshoz, ugyancsak megállapodás szerint, 95%-os megbízhatóság, konfidenciaszint szükséges. Azokon a területeken, ahol nagyon kevés az adat, mint a neutrínók vizsgálata vagy az asztrofizika, 90% az elfogadott kizárási határ. Gauss-eloszlás esetén (1. ábra) annak konfidenciája, hogy a becült x paraméter igazi várható értéke a μ becslés $\pm\delta$ régiójában található,

$$1 - \alpha = \int_{\mu - \delta}^{\mu + \delta} f(x; \mu, \sigma) dx,$$

és $\alpha/2$ annak konfidenciája, hogy azon kívül van.

Azt, hogy mennyire szigorú a 95%-os kizárás, szépen illusztrálja, hogy a beütésszámok statisztikája, a Poisson-eloszlás alapján, ha nem látunk egyetlen eseményt sem, akkor csak azt mondhatjuk 95%-os konfidenciával, hogy kevesebb, mint 3 eseményünk volt, és abból kell a vizsgált modellre következtetést levonnunk.

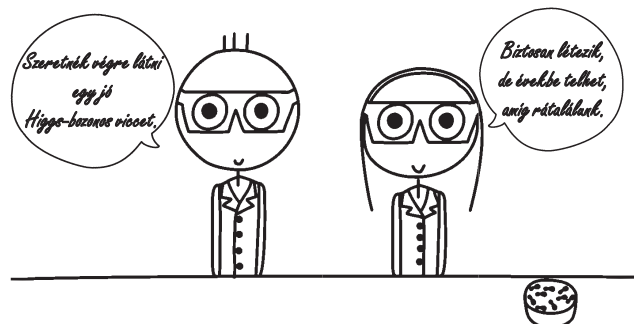
Eseményválogatás

Az adatelemzés legfontosabb része az eseményválogatás: össze kell állítanunk egy feltételrendszert, amellyel átszűrjük a sok milliárdnyi adatot és kiválogatjuk azokat, amelyek a legjobban hasonlítanak arra, amit keresünk. Egyidejűleg viszont igyekszünk minimalizálni a becűszó zajt, a háttérrel. Ez a művelet több lépésben folyik, először a triggerrel, közvetlenül a detektornál. A CMS-nél (és ma már az ATLAS-nál is) a triggernek két szintje van: egy gyors, amely 512 párhuzamos feltétel, és egy tisztán szoftveres, amellyel elérjük a másodpercenként 40 milliónyi eseményből azt az 1000-et, amelyet rögzíteni tudunk. Rendszerint komoly vita előzi meg a triggerfeltételek összeállítását, hiszen ami az én adatelemzésemhez érdekes, zaj lehet a másíknak.

A számítógépen őrzött adatokon utána az elemzők dolgoznak, egyszerű, bonyolult és nagyon bonyolult feltételekkel válogatva. Ki kell választanunk a sok egyidejű ütközésből azt, amelyik számunkra érdekes. Egyszerű feltétel lehet például, hogy legyen benne két elég nagy energiájú azonosított elektron vagy müon. Bonyolultabb már, ha előírjuk, hogy legyen az érdekes esemény (most már egyedi protonütközés) féloldalas, tehát repüljön el belőle láthatatlan részecske (neutrínó vagy esetleg a sötét anyag részecskéje). Végül vannak fejlett matematikai módszerek, amelyek minősíteni tudják az adott eseményt, hogy mennyire jelszerű vagy háttérszerű, a legújabbak már a mesterséges intelligencia kategóriájába tartoznak (mesterséges ideghálók, gépi tanulás, mély tanulás).

A '90-es évek végén a LEP OPAL-kísérleténél nagy volt a verseny Higgs-elemzésben egy német és egy kanadai csoport között. A németek a hagyományos likelihood-módszert, a kanadaiak az akkor igen modern mesterséges ideghálózatokat alkalmazták az eseményszűrésre. A likelihood-módszer mindegyik ese-

A Higgs-bozon megtalálásának összköltsége Alex Knapp (Forbes) 2012. júliusi becslése szerint mintegy 13,25 milliárd dollár volt. Ennek legjelentősebb részét az LHC megépítése tette ki, de az üzemeltetés is évi 1 milliárd dollárt emészt fel. Viszont a járulékos Higgs-viccek már ingyen születtek, ezekből is elszórok párat, hiszen e kutatás nem csak fáradságos, hanem élvezetes is volt.



ményre megállapítja annak valószínűségét, hogy jel-szerű: ehhez az adott eseményre vonatkozó paraméterértékeket összehasonlítjuk a szimulációk alapján arra a paraméterre meghatározott értékekkel a jelre és a háttérre. A mesterséges ideghálók módszere (ANN) gépi tanulás: a program szimulációkon *megtanulja*, milyen a különböző paramétercsoportokon a jel és a háttér viselkedése, és optimalizálja az eseményválogatást a jelre. A végső válogatáshoz megnézzük, hogy milyen jelvalószínűség felett a legjobb a jel/zaj viszony, vagy valamilyen hasonló értékelő mennyiség. A versenyt a németek nyerték, mert a kanadaiak ugyan valamivel jobb (azaz kisebb statisztikus bizonytalanságú) eredményt kaptak, de belebonyolódtak a szisztematikus bizonytalanság becslésébe, és a határidőig nem lettek vele készen. Őszinte bosszúságukra a publikációban (a szerzői névsoron kívül) egyetlen mondatot szerepeltek: „Az adatelemzést a mesterséges ideghálók módszerével is elvégeztük, és hasonló eredményt kaptunk.” Vadonatúj a CMS-kísérlet hasonló esete: óriási erőfeszítést fektetett egy csoport az ANN-hez hasonlóan gépi tanuláson alapuló *random decision forest* (körülbelül *véletlen döntési erdő*) módszer alkalmazásának kidolgozásába, és ott is a szisztematikus bizonytalanság becslésénél akadtak el, tehát a hagyományos adatválogatással kapott, látszólag kicsit soványabb végeredményt kellett közölniük.

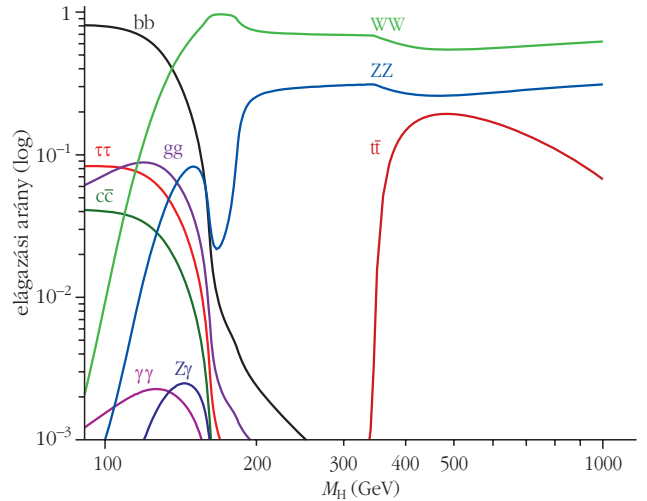
A válogatás végeztével az eredményünk valamilyen összefüggéskészlet, általában eseményhozamok bizonyos mért paraméterek függvényében, amelyekhez azután illesztjük az elméleti előrejelzést.

A Higgs-bozon keresése

A standard modell tömegképzési mechanizmusára 1964-ben állították fel a Brout–Englert–Higgs szimmetriasértési modellt, és az előrejelítette egy igen-csak furcsa, szinte tulajdonságok nélküli, csak az elemi részecskék tömegéhez kötődő részecske, a Higgs-bozon létezését. Mivel a modell egyébként kitűnően működött, léteznie kellett, legalábbis a részecskefizikusok többsége szerint. Egyre nagyobb energiájú és kapacitású részecskegyorsítóknál kerestük 40 éven át, de nem találtuk. Az utolsó kvark, a t-kvark felfedezése után (Fermilab, Tevatron, 1995) már csak a Higgs-bozon léte volt kérdéses a standard modell elemi részecskéi közül. Az utóbbi évtizedek nagy részecskeütöztetői, a Tevatron, a LEP és az LHC megépítésének egyik fő motivációja a Higgs-bozon kimutatása volt.

Új részecske keresésekor általában rezonanciát igyekszünk megfigyelni. Egy M tömegű részecske bomlása Γ bomlásállandóval (azaz $\tau = \Gamma^{-1}$ élettartammal) a bomlástermékek lendülete és energiája alapján számolt teljes E energia függvényében

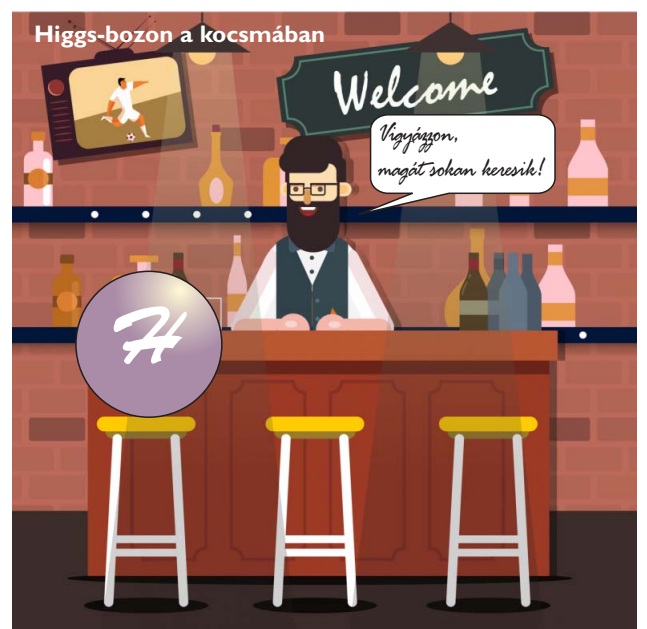
$$|\mathcal{G}(E)|^2 = \frac{1}{(E - M)^2 + \frac{\Gamma^2}{4}}$$

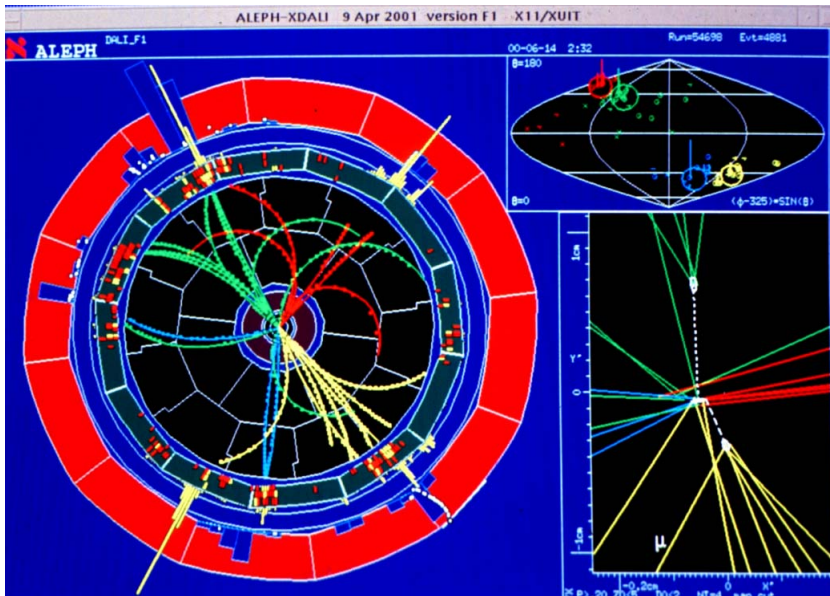


4. ábra. A standard modell szerint a Higgs-bozon különböző bomlási csatornáinak járuléka [3]. Vegyük észre, milyen ritka a kétfotonos bomlás, a felfedezés egyik legfontosabb megfigyelési csatornája.

eseményhozamot ad, Lorentz-görbét (3. ábra), ennek csúcsa a bomló részecske tömegénél van, félértékszélessége pedig annak Γ bomlásállandója (a $c = 1$, $\hbar = 1$ egységrendszerben dolgozunk, tehát a tömeget és a bomlásállandót az $E = Mc^2$ Einstein-formula alapján energiában fejezzük ki). A Lorentz-rezonancia csúcsa tehát a részecske tömegének, szélessége pedig ideális detektor esetén az észlelt bomlásállandónak felel meg. Az utóbbihoz hozzájárul az energiamérés bizonytalansága, nagyon gyorsan elbomló részecske esetén pedig, amilyen a Higgs-bozon is, a mérési pontatlanság nagyobb lehet a szélességnél.

A standard modell pontos előrejelzéseket ad a Higgs-bozon keletkezésére és lehetséges bomlására, ahhoz csak a tömegét kell tudni, de a tömegre a modell csak tág határokat ad. A keletkezése az ütköző részecskék fajtájától és energiájától függ, a bomlása viszont kizárólag a Higgs-bozon tömegétől (4. ábra).





5. ábra. Higgs-bozonszerű esemény a LEP ALEPH-detektorában: egy e^+e^- -ütközésben négy olyan hadron keletkezik, amely hosszabb élettartamával b-kvark jelenlétéről tanúskodik. Mivel az adott energián a b-kvark a legnagyobb tömegű, kinematikailag elérhető kvark, a Higgs-bozonnak elsősorban b-párra kell bomlania, $H \rightarrow b\bar{b}$, de a Z is bomolhat úgy.

160 GeV-es tömeg alatt a b-kvarkpárra ($b\bar{b}$) bomlás a legvalószínűbb, felette pedig a W-párra (W^+W^-) történő. A LEP energiáján tehát b-kvarkokat kerestünk, a Tevatronnál, 160 GeV felett pedig W-párokat, hiába. Végül az LHC-kísérletek találták meg 125 GeV-es tömegnél két, igen kis hozamú, de az óriási háttér mellett is jól azonosítható bomlási csatornában.

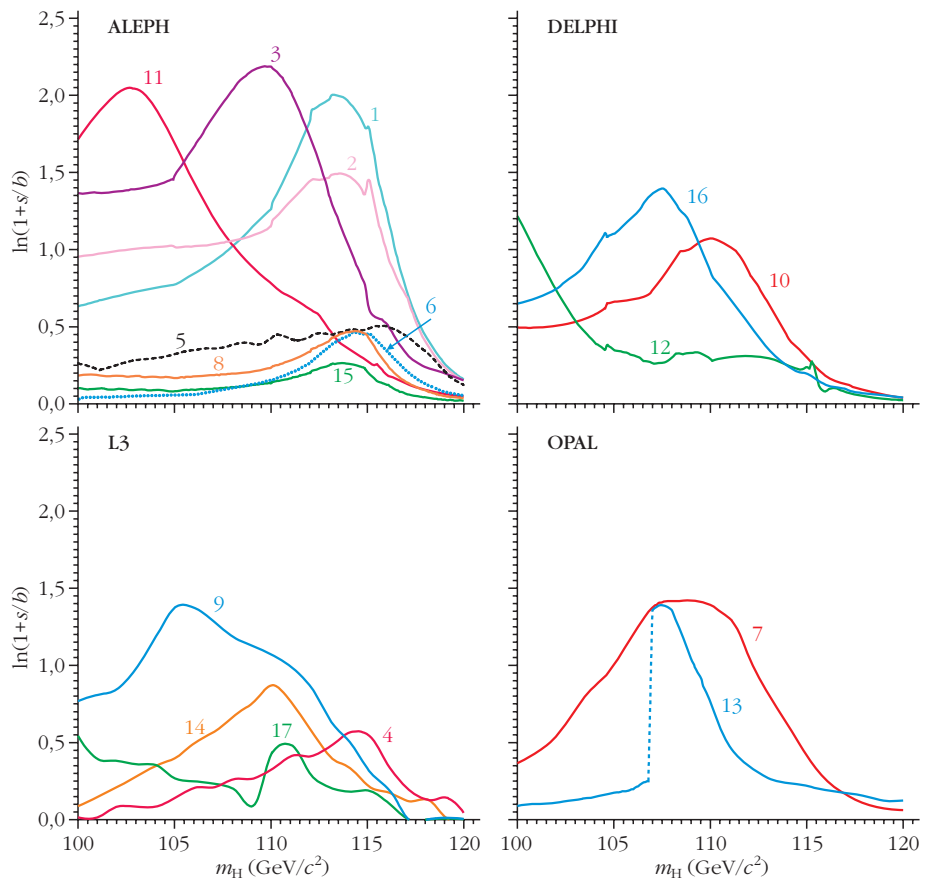
Bár a standard modell remekül látszott működni, többen kételkedtek a spontán szimmetriasértés BEH-mechanizmusában és a Higgs-bozon létezésében. A legnevesebb kételkedő Stephen Hawking volt, aki 2013-ban, miután François Englert és Peter Higgs átvette a Nobel-díjat, a gratuláció után megjegyezte: „Fogadtam Gordon Kane-nel a Michigani Egyetemről, hogy a Higgs-bozont nem fogják megtalálni. A Nobel-díj 100 dolláromba került.”

Az amerikai Tevatron 1,96 TeV energián ütköztetett protonokat antiprotonokkal, és a CDF és D0 ottani kísérletek kizárták a Higgs-bozon létezését 165 GeV tömeg felett, hiszen a W^+W^- -párokat kiválszóan látni lehetett volna. Az LHC mostani 27 km-es köralagútjában 1989 és 2000 között a

CERN LEP elektron-positron ütköztetője működött négy szinte egyforma kísérlettel. Fő témájuk eleinte a Z-bozon bomlásának tanulmányozása volt, amely óriási hozama révén (3. ábra) a standard modell rendkívül pontos ellenőrzését tette lehetővé. A Z-csúcs szélessége például a LEP elindulása után szinte azonnal megmutatta, hogy csak háromféle könnyű neutrínó létezik, tehát három pár lepton és kvark is. A Z-csúcs részletes vizsgálata alapján – öt évvel a tényleges megfigyelés előtt – azt is meg lehetett jósolni, hogy a t-kvark tömege nagyon nagy, 180 GeV környékén kell lennie.

Utolsó két évében a LEP már szinte kizárólag a Higgs-bozont kereste, és a statisztika gonoszul megtréfált bennünket. Elektron-positron ütközésben a Higgs-bozon az elmélet szerint együtt keletkezik a 91 GeV tömegű Z-bozonnal: $e^+e^- \rightarrow HZ$. A LEP átlagos ütközési energiáját 1999–2000-ben csak 206 GeV-ig sikerült felvinni, akkora energiavesztést okoz a körpályán keringő részecskék szinkrotronsugárzása, a meg-

6. ábra. A négy LEP-kísérlet [4] leginkább Higgs-bozonszerű 17 eseményének spagetti-ábrája: annak várható valószínűségi mutatója, hogy az esemény Higgs-bozon bomlásától való, a feltételezett Higgs-tömeg függvényében. Az ALEPH-események torlódnak és csúcsoznak 115 GeV körül, a másik három kísérlet viszont jóval kevesebbet lát, véletlenszerű tömegeloszlással.



figyelhető legnagyobb H-tömeg tehát $206-91 = 115$ GeV volt, 10 GeV-vel a Higgs-bozon később megfigyelt tömege alatt. Ugyanakkor a négy kísérlet közül az egyik, az ALEPH meglehetősen nagy konfidencia mellett látott Higgs-bozonszerű jeleket (5. ábra) 115 GeV-nél, amíg a másik három kísérlet (DELPHI, L3 és OPAL) nem. Az ALEPH résztvevői közül sokan egészen a tényleges LHC-megfigyelésig meg voltak győződve róla, hogy a Higgs-bozonnak 115 GeV-nél kell lennie.

Az adatelemzést természetesen nagyon komolyan ellenőrizték mind az együttműködésekben belül, mind pedig a négy együttműködés küldötteiből álló bizottság. Többek között megvizsgáltuk, mi okozza a négy kísérlet ennyire különböző eredményét. Hasonló szempontok alapján kiválogatott, leginkább Higgs-jelszerű eseményeket szedtünk össze a négy kísérletből, és mindegyik eseményhez kiszámítottuk annak valószínűségét, hogy különböző H-tömegek feltételezése esetén mennyire jelszerű. A 6. ábrán ez a tényező szerepel a négy LEP-kísérlet 17 kiválasztott Higgs-szerű eseményjelöltjére. A görbék összevissza tekerednek, hiszen a jelszerűség erősen függ a feltételezett Higgs-tömegtől, ezért spagetti-ábráknak neveztük el. Az ALEPH sok eseményének súlyeloszlása 115 GeV körül sűrűsödik, amíg a másik három kísérletnél jóval kevesebb eseményt látunk véletlen eloszlással. Ez a megfigyelés komoly vihart váltott ki a LEP-nél: sok fizikus aláírt egy kérvényt a CERN főigazgatójához, hogy hosszabbítsák meg egy évvel a LEP működését, de ezt a vezetőség elutasította, mert a szimulációk nem mutattak ígéretes lehetőséget a Higgs-bozon felfedezésére 115 GeV-nél, és az LHC építését a kivitelezőkkel kötött szerződéseknek megfelelően 2001-ben el kellett kezdeni.

A négy LEP-kísérlet egyesített eredménye [4] végül azt mutatta, hogy a Higgs-bozon tömege, ha egyáltalán létezik, 95%-os megbízhatóság mellett 114,4 GeV felett található.

Cikkem második része már a Higgs-bozon megfigyeléséről szól majd.

Irodalom

1. Veszprémi Viktor: A Higgs-bozon kutatása: befejezett vagy csak most kezdődik? *Fizikai Szemle* 70/4 (2020) 118.; http://fizikai.szemle.hu/uploads/2020/05/fizszem-202004-veszpremiviktor_15_07_21_1589288841.7861.pdf
2. Horváth Dezső, Trócsányi Zoltán: *Bevezetés az elemi részek fizikájába*. Typotex kiadó, Budapest (2017) 8. fejezet.
3. D. Horváth: Higgs and BSM Studies at the LHC. *Universe* 5/7 (2019) 160.; <https://doi.org/10.3390/universe5070160>
4. R. Barate és társai [LEP Working Group for Higgs boson searches, ALEPH, DELPHI, L3 and OPAL Collaborations]: Search for the standard model Higgs boson at LEP. *Phys. Lett. B* 565 (2003) 61–75; doi:10.1016/S0370-2693(03)00614-2

A templomba beszélál egy Higgs-bozon...



KI TALÁLTA FÖL AZ EINSTEIN–SZILÁRD-FÉLE HŰTŐSZEKRENYT?

Illy József
Einstein Papers Project
California Institute of Technology

1925 körül tragikus hír jelent meg egy berlini újságban: egy egész család megfulladt, mert hűtőszekrényük szivattyújában szivárgás lépett föl és kiszabadult a mérgező hűtőgáz. Ezzel a megrázó eseménnyel szokták in-



Illy József 1956-ban szerzett fizika–matematika tanári oklevelet a József Attila Tudományegyetemen (JATE), Szegeden. 1982-től a fizikai (tudománytörténet) tudományok kandidátusa, 1983-ban egyetemi doktor, JATE. 1991 óta az Einstein Papers Project egyik szerkesztője a Boston University-n, majd a California Institute of Technology-n.

dokolni, miért látott neki *Albert Einstein* és *Szilárd Leó*, hogy biztonságos hűtőszekrényt tervezzen.

Sajnos, a hír forrását nem sikerült megtalálnom. Akár ez volt az oka együttműködésüknek, akár nem, az tény, hogy 1925-től 1930–1931-ig tartó közös munkájuk eredményeképp 1932-ig öt szabadalmat kaptak abszorpciós és diffúziós hűtőszekrényre, és hetet elektrodinamikus szivattyúsra [1]. Ez az a két típus, amelyet Einstein–Szilárd-féle hűtőszekrényként szoktak emlegetni [2]. Mindkettőnek azon előnyét emelik ki, hogy bennük nincs forgó alkatrész és teljesen zárt, tehát az említett haláleset ennél a két típusnál ki van zárva.

Hogyan került kapcsolatba egymással Einstein és Szilárd? Szilárd a berlini Műszaki Egyetemen folytatta

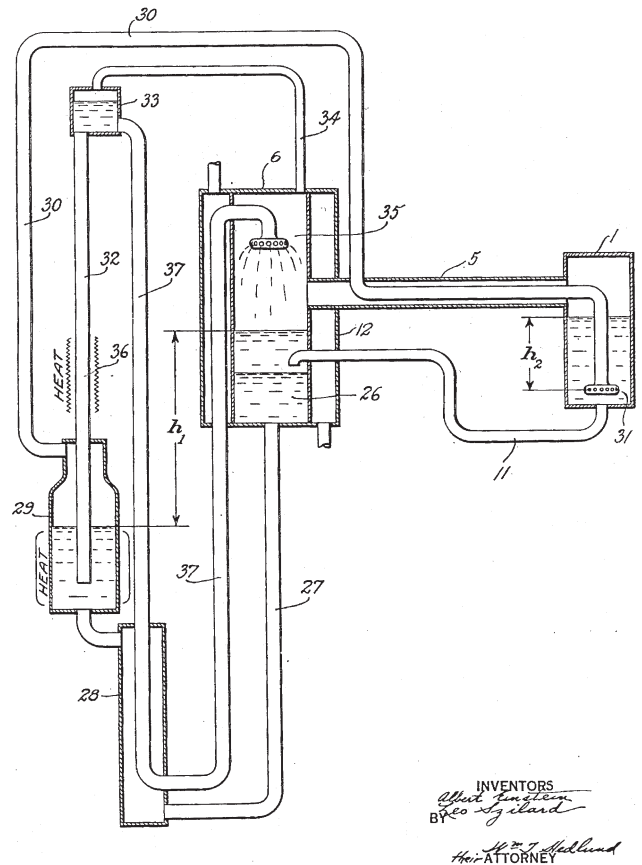
Budapesten megkezdett tanulmányait. Elektromérnöknek készült, de mindinkább a fizika vonzotta, így „az őt nagyon jellemző direktséggel bemutatta magát Albert Einsteinnek” – írja *Wigner Jenő* [3]. Einstein statisztikus mechanikai szemináriumát látogatta Wignerrel és *Gábor Dénessel*.

Ki kezdeményezte ezt a „kirándulást” a technika területére? *Gene Dannen Korodi Alberttel* készített interjúja szerint Einstein fordult Szilárdhoz: „kell hogy legyen egy jobb módja [a hűtőközeg kezelésének]” [4]. Szilárd életrajzírója, *William Lanouette* szerint viszont Szilárd fordult Einsteinhez [5].

Ezekben az években Einstein sok mindennel foglalkozott: az egyesített mezőelmélettel, a fény kettős természetével, a születőfélben lévő kvantummechanika interpretációjával. Aktívan részt vett a Népszövetség egyik bizottságában, és aggódva követte a frissen megnyitott jeruzsálemi Héber Egyetem sorsát. Ha mindezt figyelembe vesszük, nagyon valószínű, hogy a Szilárdal kialakuló „hűtőszekrényezésben” Szilárd volt a mozgató rugó. Ezt a szerepét maga Szilárd így érzékelte [6]: „Nem akarom Einsteint apróságokkal zavarni. Elege lehet már a jégszekrényekből.” Pontosabb munkamegosztásról azért nehéz beszélni, mert mindketten Berlinben laktak, ritkán volt szükségük levélváltásra, így a szavak elrepültek, írás pedig nem maradt.

A hűtőszekrény bonyolult szerkezet. Nemcsak a benne zajló fizikai folyamatokat kell megtervezni, hanem azt is, hogyan lehet ezeket műszakilag megvalósítani. Ehhez még Szilárd sem tartotta magát eléggé képzetnek – vagy nem akart pepecselni csövekkel, tartályokkal, féligáteresztő falakkal –, így meghívta volt évfolyamtársát a budapesti Műegyetemről, *Bibaly László* mérnököt, később pedig *Kornfeld (Korodi) Albertet* is, aki a berlini Műszaki Egyetem elvégzése után Berlinben dolgozott mérnökként [7].

Szilárd foglalkozott a találmányok szabadalmaztatásával, a munkahelyek föl kutatásával és a pénzügyekkel. Einstein pedig hébe-hóba ajánlólevelet írt egy-egy számára ismerős cégnek, de a munka helyszínén ritkán jelent meg. Részvétele tehát főleg az alapvető fizikai folyamatok megvitatására korlátozódhatott, bár az évek során fölmerült néhány műszaki ötlete is. Szilárdék föl-fölkeresték berlini lakásán, beszámoltak a munka állásáról [8]. Gondolom, Einstein segíthetett megfogalmazni a szabadalmi igényeket, hiszen évekig a berni Találmányi Hivatal kiváló szakértője volt. Hogy mégis jelentősnek tartotta közreműködését, az mutatja, hogy amikor 1932-ben Szilárd arra kérte, mondjon le hat szabadalmi igény és három hasznossági modell társszerzőségéről [9], nemleges választ adott [10]. Szilárd viszont kisebb jelentőségűnek ítélhette meg Einstein munkáját, mint a sajátját, máskülönben nem engedte volna meg magának, hogy a nagy tiszteletben álló tudóst ilyenre kérje, még akkor sem, ha közismert volt tapintatlansága. Szilárd azzal indokolta ezt a javaslatát, hogy „szerettem volna elkerülni, hogy az Ön nevét fölöslegesen használjam” [11].



1. ábra. Einstein és Szilárd abszorpciós hűtőszekrénye az amerikai szabadalmi leírásból.

Szorosabb kapcsolatuk kezdetén Szilárd személyes látogatásra kért engedélyt, hogy „olyan általános emberi dolgokról teljes nyugalomban beszélhessünk, amelyek engem most személyesen érintenek” [12]. Ez minden bizonnyal állandó pénzzavarára utalt, és talán arra is, hogy a biztonságos hűtőszekrény kidolgozása Einstein támogatásával segítene rajta. Ezt támasztja alá, hogy amikor 1932-ben, anyagi gondokkal küszködve, elpanaszolta helyzetét Wigner Jenőnek, és azt, hogy nem akar megint Einsteintől segítséget kérni, Wigner írt *Polányi Mibálynak*, Polányi pedig Einsteinnek Szilárd ügyében [13]: „Most, hogy a hűtőgépgyű lezárulóban van anélkül, hogy a remélt anyagi függetlenséget biztosította volna számára – írta –, olyan megélhetést kell találnia magának, amely összhangban van különleges természetével és lehetővé teszi a pénzkeresést.” Einstein tudta, hogy elsősorban a neve a fontos. Egyik szerződésükben kikötötték, hogy nevüket nem szabad „a szabadalmi védelmi jog értékesítésére” (azaz reklámcélra) felhasználni [14]. Hogy ezt a kikötést Einstein szorgalmazhatta, valószínű, de talán nem akarták a szerződő fél előtt nyilvánvalóvá tenni, hogy itt bizony csak Einstein nevét akar-

SZABADALMI LEIRÁS

102079. SZÁM. — XVIII/c. OSZTÁLY.

Hűtőgép.

Dr. Einstein Albert tanár Berlin és dr. Szilárd Leó fizikus Berlin-Wilmersdorf.

A bejelentés napja 1929. évi december hó 5-ike.

A találmány oly hűtőgépre vonatkozik, melynél folyékony fém az elektromos áramtól átjárt cseppfolyós, fémre ható mágneses mező mozgat. E célra higanyon kívül meg más cseppfolyós könnyű fémek is szóba jöhetnek, így pl. mintegy 73% káliumot tartalmazó nátrium-káliumötvezt.

Magától értetődik, hogy túlsok ampermenet alkalmazásának elkerülésére a be-

féle koordináták a síkon belül és X, Y az erő komponensei.

Ha a ponderomotoros erő ezen vektormezeje nem volna örvénymentes, akkor a folyadékban sok energiát fogyasztó és az elrendezés hatásfokát kicsiny értékre csökkentő áramlások keletkezének. Míg szilárd test mozgásánál, pl. elektromotor fegyverzetének mozgásánál, csak a fegyverzetre ható erők eredője lényeges, addig

2. ábra. Az elektrodinamikus szivattyús hűtőszekrény magyar szabadalmi leírása.

ják védeni. Figyelemre méltó az az apróság is, hogy míg a később ismertetendő elektrodinamikus szivattyús hűtőszekrény német szabadalmának leírásában első helyen Szilárd neve áll, addig az osztrák, francia, holland és magyar leírásban, azaz Németországból nézve külföldön, már Einsteiné (1. ábra).

Az abszorpciós–diffúziós hűtőszekrény

E hűtőszekrény működése a következő. Példánk az ammónia hűtőközrege vonatkozik, aminek forráspontja alacsony: $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$, de nyomás alatt szobahőmérsékleten is folyékony állapotban tartható. Amikor egy benne nem oldódó gáz, például hidrogén (a segédközeg) elkeveredik az ammóniagőzzel, a gőz nyomása állandó marad a hűtőszekrény elpárologtatójában, de mivel ez a nyomás most már az ammónia és a hidrogén parciális nyomásából áll, mindkét gáz úgy viselkedik, mintha a teljes térfogat az övé lenne (Dalton törvénye). Az ammónia nyomása csökken, emiatt elpárolog, tehát kitágul, ez pedig a lehűlésével jár. Az ammónia és a hidrogén keveréke ezután egy másik tartályba kerül, az abszorberbe, ahol egy harmadik közeg, például víz, elnyeli az ammóniát, de a hidrogént nem. A hidrogén az abszorberből az elpárologtatóba jut, és ott a víz és az ammónia, az úgynevezett aqua ammonia, belefolyik a generátorba, és ott fölmelegedik. Az ammónia kilép a vízből, lehűl, amint egy léghűtéses kondenzoron átfolyik és visszajut az elpárologtatóba. Itt azután újakezdődik a folyamat. A keringést a gázzal vagy elektromossággal fűtött generátor tartja fenn, forgó alkatrészt tartalmazó szivattyú nincs.

Einsteinék találmánya közvetlenül Baltzar von Platen és Carl Munters találmányát követi [15] azzal az eltéréssel, hogy a hűtőközeget diffúzióval választja el a segédközegetől. Ezt a lehetőséget is előlegezte egy másik Platen–Munters-szabadalom [16], de sikerült az elrendezést annyira megváltoztatniuk, hogy szabadalomképessé vált.

Három változatot szabadalmaztattak Németországban, közülük egyet Franciaországban is [17].

Einsteinék hűtőszekrény-szabadalmi (1. ábra) tehát az akkor már ismert abszorpciós–diffúziós típusba sorolható. Egyéni sajátágaik műszaki részleteikben találhatók, nem az elviekben.

Az elektrodinamikus szivattyús hűtőszekrény

Ezt a típust emlegetik a legtöbbször úgy, mint Einstein (vagy Einstein és Szilárd) hűtőszekrényét. Ebben folyékony fém áramlása keringteti a hűtőközeget, és a modern szaporítóreaktorok éppen ilyen szivattyút használnak folyékony fém hűtőközegük keringtetésére. Hogy azért-e, mert tervezőik megtalálták Einstein és Szilárd szabadalmait, nehéz lenne megmondani. A továbbiak alapján kételkedem benne.

Ezt a találmányt nemcsak Németországban, Ausztriában, Franciaországban, Hollandiában és Svájcban szabadalmaztatták [18], de nálunk is (2. ábra).

Hogyan lehet folyékony fémot mozgatni?

A feladat tényleg izgalmas, a megoldása pedig egyszerű: a Lorentz-erővel.

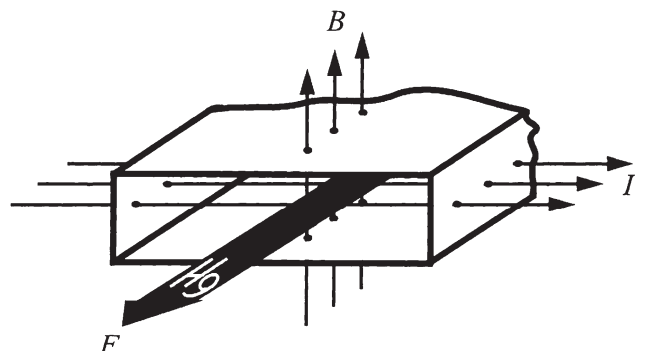
A folyékony fémot (például higanyt, nátrium és kálium eutektikumát stb.) szállító csőre merőlegesen B mágneses mezőt bocsátanak, és mind a csőre, mind a mágneses mezőre merőlegesen I elektromos áramot vezetnek át. Ekkor a higanyra F irányú erő, a Lorentz-erő hat (3. ábra), és az áramlás megkezdődik. Ennél a szivattyúnál sincs mozgó alkatrész.

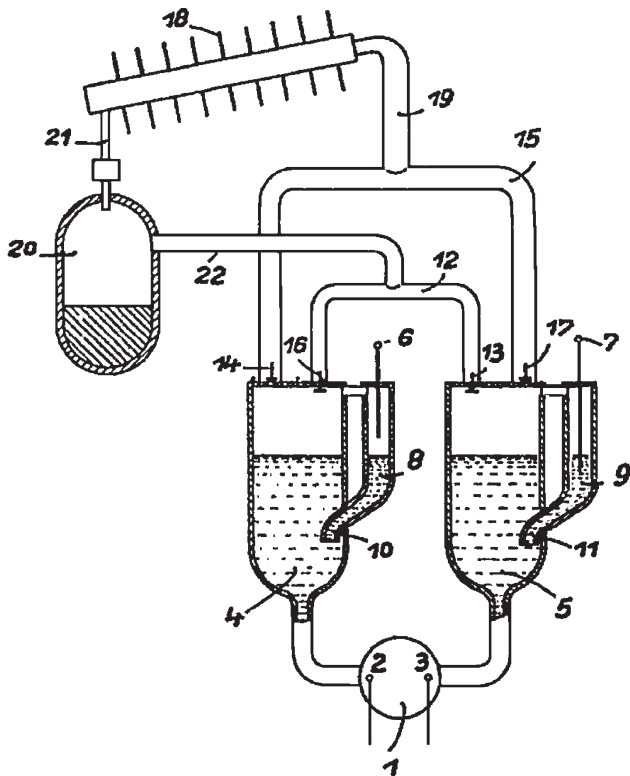
A 4. ábrán látható (1) szivattyú a higanyt, ami most a dugattyú szerepét játssza, hol a (8), hol a (9) hengerbe nyomja, a berendezés tehát úgy működik, mint a két-dugattyús vízszivattyú. A szivattyúzást az áramirány automatikus megváltoztatásával érik el a (6) és (7) elektród révén.

A találmányi igényt 1927. november 12-én nyújtották be a Német Szabadalmi Hivatalnak. A feltalálók sorrendje itt Einstein és Szilárd.

A szivattyú továbbfejlesztett változatára jó egy hónappal később nyújtott be igényt Szilárd és Einstein, azaz ennél Szilárd az első, Einstein a második [19]. Az első bekezdésben ezt olvashatjuk: „Az ilyen berendezést például arra lehet használni, hogy olvasztott fémot fecskendezzünk kokillába...”. Miért éppen ezt a

3. ábra. A Lorentz-erő.





4. ábra. A hűtőközeg mozgatása elektrodinamikus szivattyúval.

lehetőséget említik? A fémolvadék eléggé távol esik a hűtőgéptől! A választ Szilárd egy korábbi szabadalma adja meg, amelyet még 1926 elején, tehát a közös találmány előtt majdnem két évvel nyújtott be: *Eljárás fémek kokillába való befecskendezésére elektromos áram alkalmazásával* [20]. A közös szabadalom után 1931 januárjáig Szilárd még tíz igényt nyújtott be (és kapott szabadalmat) elektrodinamikus szivattyúra vagy ilyen hűtőszekrényre a saját nevéen, és alig néhányat közösen.

Akkor hát Szilárd találta fel az elektrodinamikus szivattyút? Nem. A brit *Frank Holden* már 1907-ben szabadalmat kapott rá [21]. Ő az áramfogyasztás mérésére használta, mivel a bizonyos idő alatt továbbított higany mennyisége megadja az elfogyasztott amperóra és wattóra számát.

Van azonban másik előzmény is, habár csak utalást találtam rá. Azon német cég mérnökei szerint, ahol a fejlesztés folyt és amelyik benyújtotta a szabadalmi igényt, a higany elektromos úton való mozgatása nem újdonság, mert volt egy másik találmányuk, amelynek az Einstein–Szilárd-féle csak egyik lehetséges változata. Így ezt a találmányt Einsteiné előtt nyújtották be szabadalmaztatásra.

Az amerikai *Millard C. Spencer* 1927. július 27-én nyújtott be igényt, alig négy hónappal Einsteiné előtt [22]. Spencer célja az volt, hogy elektromosan nem vezető, korrozív, a hagyományos szivattyú olajozásával, szigetelésével reakcióba lépő folyadékot is tudjon szivattyúzni, legyen csöndes és zárt. A felhasználási lehetőségek közt megemlítette a hűtőszekrényt is!

Egy másik amerikai, *Kenneth T. Bainbridge* 1928. május 28-án folyamodott hasonló szabadalomért [23], akkor, amikor Einsteiné szabadalma még nem jelent meg, tehát ki van zárva, hogy őket másolta volna. Ugyancsak Einsteiné előtt jelent meg *Waldemar Brückel* szabadalma [24].

Így hát itt is kiderült, hogy az elektrodinamikus szivattyúval működő hűtőszekrény elve nem Einstein és Szilárd találmánya, az ő találmányuk csak e típus egyik változata, de eléggé új ahhoz, hogy szabadalmat kapjanak rá.

Mondhatjuk, hogy az ötlet a levegőben volt.

Nem kell sokat gondolkoznunk azon, miért nem Holden vagy Spencer nevéhez kötik ezt a találmányt, sőt, hogy Szilárd nevét is gyakran elhagyják. Einstein neve mindenki másét elhomályosítja.

Az Einstein–Szilárd-féle „különleges” hűtőszekrényeket a szenzációt hajhászó utókor találta föl.

Irodalom

1. Az említett szabadalmi leírások megtalálhatók az Európai Szabadalmi Hivatal (EPO) honlapján. A számok előtti betű a nemzeti hovatartozást jelöli.
2. Mi, magyarok, természetesen nem felejjük el Szilárd szerepét (lásd *Marx György*, *Csikai Gyula* és *Klein György* beszélgetését az MTV1-en, 2001. július 23-án; *Fizikai Szemle* 51 (2001) 308.), nem úgy, mint külföldön, ahol Einstein mellett Szilárdot ritkán említik.
3. Wigner J.: Szilárd Leó. *Fizikai Szemle* 42 (1992) 406.
4. G. Dannen: Leo Szilard the Inventor: A Slideshow. *Leo Szilárd Centenary Volume. Lectures and Contributions on the Centenary of Szilard's Birth*. Budapest, 9–11 February 1998. Ed. G. Marx, Budapest, Eötvös Loránd Physical Society, 1998.
5. W. Lanouette: *Szilárd Leó; Zseni árnyékban*. Magyar Világ, Budapest (1997) 77. o.
6. Szilárd Einsteinnek, 1926. november 15. *Collected Papers of Albert Einstein* (CPAE) Vol. 15, Abstract 649. A kiadvány 1–15. kötete elérhető a Digital Einstein webhelyen. Kettős kattintással a szöveg angol fordítása is megjelenik.
7. Korodi A.: Találkozásom Einsteinnel. *Fizikai Szemle* 45 (1995) 225; Palló G.: Emlékszólánkok Szilárd Leóról. Interjú Korodi Alberttel. *Fizikai Szemle* 41 (1991) 227.
8. Korodi, 226. o.
9. Átruházási nyilatkozat (Szilárd fogalmazványa). 1931. december 1. *Albert Einstein Archives* (AEA) [35 617].
10. Einstein Szilárdnak, 1932. július 6. AEA [35 614].
11. Szilárd Einsteinnek, 1932. július 14. AEA [35 616].
12. Szilárd Einsteinnek, 1926. március 14. CPAE Vol. 15, Document 221.
13. Lanouette, 79. o.
14. CPAE Vol. 16, Abstract 297, megjelenés alatt. AEA [88 607].
15. B. v. Platen, C. Munters: *Verfahren zur Steigerung des Umlaufs eines Hilfsmittels in Absorptionskälteapparate*. D456152.
16. B. v. Platen, C. Munters: *Verfahren zur Kälteerzeugung nach dem Absorptions-Diffusionsprinzip*. D410715. Svédországban 1911-ben szabadalmaztatták.
17. *Verfahren zur Kälteerzeugung*. D499830; *Verfahren und Vorrichtung zur Kälteerzeugung*. D5258331; *Verfahren zur Erzeugung von Kälte*. D527080; *Machine réfrigérante*. F647388.
18. L. Szilard, A. Einstein: *Kältemaschine*. D563403; A. Einstein, L. Szilard: A133386; CH140217; F670.428; H102079; NL31183.
19. L. Szilard, A. Einstein: *Vorrichtung zur Bewegung von flüssigem Metall, insbesondere zur Verdichtung von Gasen und Dämpfen in Kältemaschinen*. D554959.
20. L. Szilard: *Verfahren zum Gießen von Metallen in Formen unter Anwendung elektrischer Ströme*. D476812.
21. F. Holden: *Mercury Meter*. US853789.
22. M. C. Spencer: *Fluid-Conductor Motor*. US1792449.
23. K. T. Bainbridge: *Liquid Conductor Pump*. US1660407.
24. W. Brückel: *Elektrodynamische Pumpe*. D511137.

RÉSZECSKEGYORSÍTÁS EXTRÉM NAGY TÉRERŐSSÉGŰ TERAHERTZES IMPULZUSOKKAL

Tibai Zoltán,¹ Turnár Szabolcs,¹ Kovács Bálint,¹
Pálfalvi László,¹ Almási Gábor,^{1,3} Hebling János^{1,2,3}
¹Pécsi Tudományegyetem, PTE-TTK Fizikai Intézet
²MTA–PTE Nagyintenzitású Terahertzes Kutatócsoport
³Pécsi Tudományegyetem, Szentágotthai János Kutatóközpont

A *Fizikai Szemle* korábbi számában [1] extrém nagy elektromos térerősségű terahertzes (THz-es) impulzusok hatékony keltési módszerét, illetve a THz-es impulzusforrások nagyléptékű fejlődését mutattuk be, amelyben komoly szerepet játszott a PTE Fizikai Intézete. Jelen cikkben arra mutatunk néhány megoldást, miként lehet ezen impulzusokat töltött részecskék gyorsítására felhasználni. Az írás első részében elektromos gyorsítással, a másodikban pedig protongyorsítással (iongyorsítással) foglalkozunk.

A néhányszor tíz – néhányszor száz keV energiájú elektroncsomagok széles körben alkalmazhatók az anyagvizsgálat, az orvostudomány és az ipar területén. Velük molekulák, szilárd anyagok és biológiai rendszerek szerkezete vizsgálható, nyomon követhető dinamikájuk, akár atomi szinten, például fázisátmenet vagy olvadás során, nanostruktúrák átalakulási

folyamataiban, kémiai reakciókban. Ultragyors elektronmikroszkópia és -diffrakció segítségével atomi méretű térbeli és fs-os időbeli felbontás érhető el. Ez utóbbit elsősorban az elektroncsomag kezdeti energiaspektrum-szélessége (energiaszórása) és a tértöltés hatása korlátozza. Fontos az elektroncsomag energiájának és – a rövid időtartam megtartása mellett – töltésének növelése. Mindez a hagyományos elektrongyorsítási technikákkal (rádiófrekvenciás, illetve statikus gyorsítók) szemben sokkal költséghatékonyabban és kompaktabb módon oldható meg elektromágneses impulzusok segítségével. Az utóbbi évtizedekben javasolt lézeres gyorsítók az elérhető nagy csúcselektromos térerősségnek köszönhetően alkalmasak lehetnek e célra. A felhasználásra javasolt lézerek – tipikusan – látható, illetve közeli infravörös tartományba eső hullámhossza azonban erősen korlátozza az



Tibai Zoltán egyetemi adjunktus, 2011-ben fizikus diplomát, 2016-ban doktori fokozatot szerzett a Pécsi Tudományegyetemen. Fő kutatási területe a lézerimpulzusokkal történő töltött részecskék gyorsításának és manipulációjának modellezése, továbbá a szabadelektron-lézerek szimulációja.



Turnár Szabolcs a Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar Fizikai Intézete Fizika Doktori Iskolájának hallgatója. Kutatási területe a töltött részecskék THz-es impulzusokkal történő gyorsításának szimulációja, asztali méretű részecskégyorsító berendezések tervezése és optimalizálása.



Kovács Bálint a PTE Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium fizika szakos tanára, a PTE TTK Fizikai Intézet óraadó tanára. Egyetemi tanulmányai során bekapcsolódott a THz-es impulzusokkal történő részecskégyorsítások számítógépes modelljébe.



Pálfalvi László az MTA doktora, a Pécsi Tudományegyetem Kísérleti Fizika Tanszékének tanszékvezető egyetemi tanára. Legjelentősebb tudományos eredményeit a távoli infravörös (THz-es) impulzusforrások fejlesztése, illetve a THz-es impulzusokkal történő részecskégyorsítási lehetőségek területén érte el. Rendszeresen ír tudományos-ismeretterjesztő cikkeket is.



Almási Gábor egyetemi docens, fizikus diplomáját 1984-ben a JATE-n, doktori fokozatát 2000-ben az SZTE-n szerezte. 2016-ban a PTE Fizika Doktori Iskolájában habilitált. 2017 óta a PTE Fizikai Intézetének igazgatója. Kutatási tevékenysége a nagy impulzusenergiájú, közel egyciklusú terahertzes impulzusok keltése, illetve a terahertzes források megvalósítása. Az ELI számára készülő terahertzes műszeregyüttest kifejlesztő csoport egyik irányítója. Oktatás- és tudományos-szervezési tevékenységekben vesz részt.



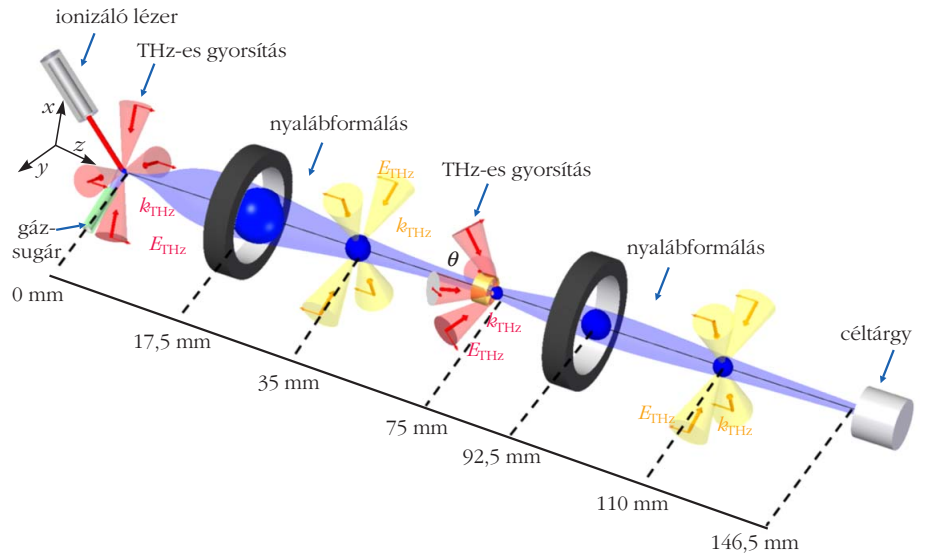
Hebling János egyetemi tanár, Széchenyi-díjas lézerfizikus, a PTE Fizikai Intézetének az igazgatója 2008–2018 között. Kutatási területe ultrarövid lézerimpulzusok előállítása és alkalmazása, különös tekintettel a nagyenergiájú terahertzes impulzusok előállítására és ultragyors folyamatok vizsgálatára, valamint részecskék gyorsítására történő felhasználására. Optical Society of America Fellow, a *JOSA B* folyóirat szerkesztője, az EPS QEOD Board tagja.

elektroncsomag töltését, illetve a részecskék és a gyorsító tér közti szinkronizációt, ami a keskeny energiaspektrumú, ultrarövid (< 100 fs) impulzushosszú elektroncsomagok előállításának, mint kitűzött célnak szükséges feltétele.

Az extrém nagy térerősségű THz-es impulzusforrások utóbbi időben bekövetkezett látványos fejlődésének köszönhetően felvetődött, hogy e nehézségeket áthidalhatjuk a THz-es tartomány több százszor hosszabb hullámhosszának ($\nu = 0,1-0,3$ THz, $\lambda = 3-1$ mm) előnyeit kihasználva. Jelenleg lítium-niobát (LiNbO_3 , röviden LN) kristályban történő optikai egyenirányítással MV/cm-es csúcs elektromos térerősség érhető el. Az utóbbi néhány évben javasolt és numerikusan szimulált aberrációtól mentes THz-es sugárforrások nyalábjait fókuszálva pedig több 10 MV/cm-es térerősség érhető majd el rutinszerűen néhány éven belül [1]. Az így keltett THz-es impulzusok további fontos jellemzője az egyciklusosság, amit az alábbiakban bemutatásra kerülő kompakt THz-es elektrongyorsítási koncepciók esetében előnyként használunk ki.

Általunk tervezett, numerikus szimulációkkal optimalizált, elektronforrást (elektronágyút) is tartalmazó THz-es gyorsító elrendezés elvi vázlatát mutatja az 1. ábra [2, 3]. A modellszámítások során az elrendezés minden jellemzőjét a valóságnak megfelelően vettük figyelembe. Az elektronok keltése fúvókával beáramoltatott kripton gáz lézernyalábbal történő többfotonos ionizálásával történik. Az elrendezés két gyorsító fokozatból áll: az elektronágyúból és az (utó)gyorsítóból. Gyorsításhoz az x és $-x$, illetve y és $-y$ irányokban szimmetrikusan haladó, egyciklusú, jellemzőiben azonos THz-es impulzusokat használunk, amelyek z irányú eredő elektromos terének előjelváltása az elektronok keltésének pillanatára van időzítve. Így a szabaddá vált elektronokra csak gyorsítást okozó előjelű THz-es tér hat. A felgyorsított elektroncsomagot transzverzálisan áramtekerccsel fókuszáljuk, majd az elektronágyúhoz hasonló elrendezésben használt THz-es impulzusokkal longitudinálisan összenyomjuk. Ehhez az elektronágyúban alkalmazott néhány MV/cm-es csúcs elektromos térerősségű gyorsító térnél egy nagyságrenddel kisebb térerősségű teret használunk. A 2. ábra mutatja az elektroncsomó elektronjainak haladási irány menti energiaeloszlását a longitudinális kompresszió előtt (piros), illetve közvetlenül az utógyorsítóba történő belépés előtt (kék).

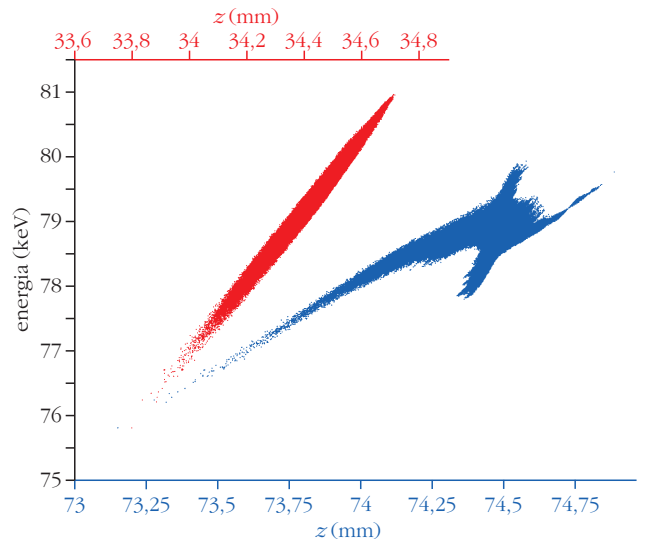
Mivel az elektronok jelentős, körülbelül 80 keV-nek megfelelő sebességgel érkeznek az utógyorsítóhoz, az utógyorsító egység két jellemzőjében külön-

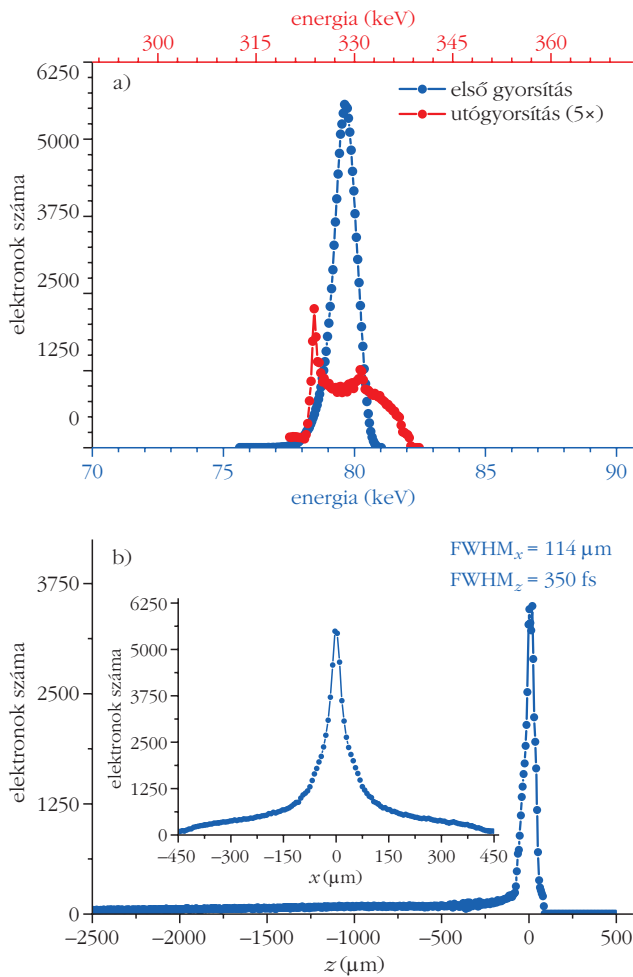


1. ábra. A THz-es impulzusokkal hajtott kompakt elektrongyorsító berendezés elvi vázlatát kék színnel feltüntetve az elektronnyalábot.

bözik az elektronágyútól. Egyrészt a THz-es impulzus azon félciklusát, amely lassítaná az elektronokat egy alkalmasan megválasztott vastagságú és anyagi minőségű (például LN) z szimmetriatengelyű kifűrt dielektrikum-hengerrel késleltetjük. Másrészt a négy THz-es nyalábot kónuszszerű geometriában használjuk, amelyet az 1. ábra szerinti θ szög jellemez. Jóllehet, a z tengelyen csak z irányú komponenssel rendelkező eredő elektromos térerősség így lecsökken, de ezt a hatást a megnövekedett kölcsönhatási hossz túlkompenzálja. A θ szöveget úgy optimalizáltuk, hogy az energianövekmény maximális legyen. A 3.a ábrán az energiaspektrumot láthatjuk az elektronágyú és az utógyorsító után. Az egyes gyorsító fokozatokat elhagyó elektroncsomó átlagos energiája körülbelül 80, illetve 324 keV. A végső energiaeloszlás előnyösen keskeny, 3% szórással jellemezhető. Az 1. ábra sze-

2. ábra. Az elektroncsomó energiájának longitudinális eloszlása a longitudinális kompresszió előtt (piros, felső skála), illetve a közvetlenül az utógyorsítóba való belépés előtt (kék, alsó skála).

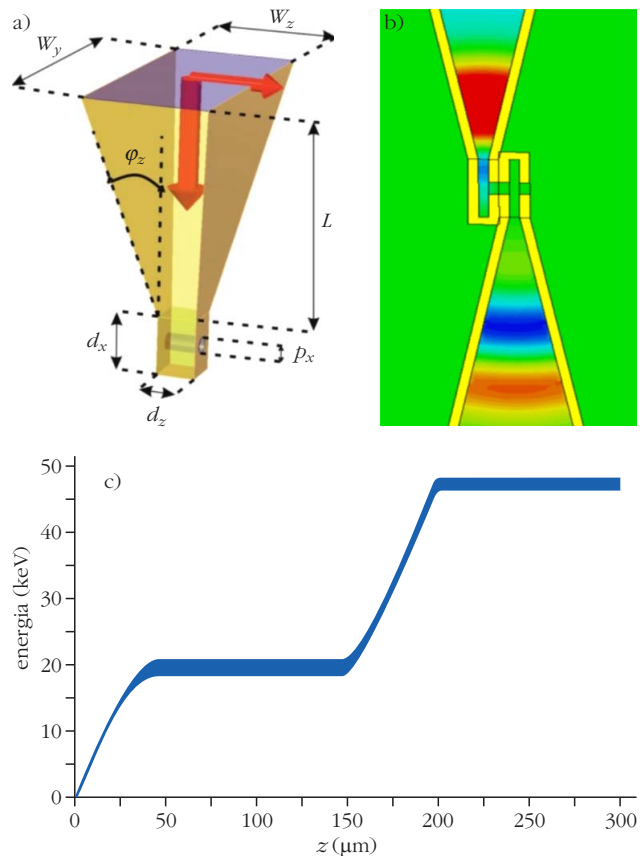




3. ábra. Az energiaspektrum az első, illetve a második gyorsító fokozat után (a). Az elektroncsomó longitudinális eloszlása a felhasználás (céltergy) helyén (b). A betét a transzverzális eloszlást mutatja.

rinti összeállítás paramétereinek beállításánál fontos szempont volt az elektroncsomag longitudinális és transzverzális méretének optimalizálása. A 3.b ábra mutatja a longitudinális, az ábra betéte a transzverzális eloszlást a felhasználás (céltergy) helyén. Az elektronimpulzus hossza (félérték szélessége) 350 fs, ami kedvezően rövid olyan alkalmazásokhoz, amelyek nagy időbeli felbontást igényelnek.

Az előzőekben bemutatott gyorsító berendezés mellett egy kürtöszerű hullámvezetővel rendelkező elektrongyorsítót terveztünk, és optimalizáltunk a 4.a ábrán feltüntetett paraméterek változtatásával. Az L cm, a W_y illetve W_z mm-cm, a d_x d_z paraméterek pedig 100 μm nagyságrendűek, a pontos adatok részletezését itt mellőzzük. A kürtő anyagára egy lehetőség az aranybevonattal ellátott réz, az abba beérkező THz-es impulzusok egyciklusúak, amelyek a szűkülő hullámvezetőben többciklusúvá válnak. Optimalizált elrendezéssel a csúcspól elektromos térerősség a bemenő érték körülbelül 16-szorosára, 6,5 MV/cm-re növelhető. A gyorsítandó elektronok keltése a kürtő szűk egyenes szakaszában a bal oldali falon (lásd 4.a ábra) történik fotoeffektus segítségével, amelyet a jobb oldali nyíláson beküldött fókuszált lézermimpul-

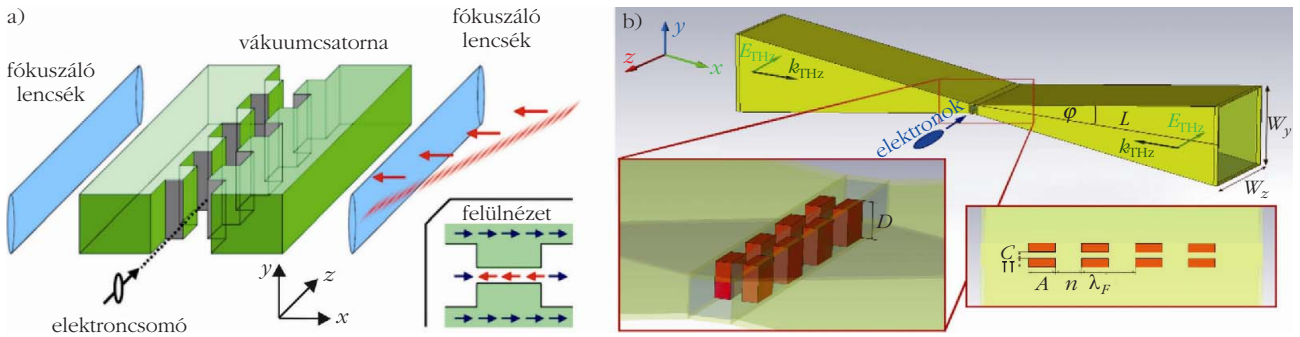


4. ábra. Kürtöszerű hullámvezető elektrongyorsító és annak jellemző paraméterei (a). A két kürtőből álló gyorsító feltüntetve egy adott pillanatra a gyorsító THz-es impulzusok elektromos tereit is (b). Az elektronenergia távolsággal való növekedése (c).

zus vált ki. Lézerimpulzusként egy 1030 nm hullámhosszú itterbium (Yb) lézer frekvencianégszerezett (258 nm) impulzusait fogjuk használni. A keletkező elektronok $< \text{eV}$ energiával, Fermi-Dirac-eloszlásban keltődnek. A gyorsítás – a direkt és a kürtő lezárásáról visszaverődő THz-es impulzusok szuperponálódott elektromos tere által – a kürtő tengelyére merőleges irányban történik.

Hatékony gyorsítás érhető el a 4.b ábra szerinti, egymás után elhelyezett, egymással szembe fordított kürtőkkel, a két meghajtó THz-es impulzus megfelelő időzítésével. Az elektronenergia alakulását a fotokatódtól mért távolsággal a 4.c ábra mutatja optimális szinkronizáció esetén. Mint láthatjuk, a fotokatódból kilépő elektronok 20 keV, majd a második szakaszon 46 keV energiára gyorsíthatók és extrém keskeny (0,2%) energiaspektrum érhető el.

Plettner és munkatársai az 5.a ábra szerinti fogazott kialakítású dielektrikumstruktúrát javasolták elektrongyorsításra [4], majd később demonstrálták annak (elvileg is korlátozott) működését [5]. A két oldalról egymással szembe beérkező látható vagy közeli infravörös tartományba eső gyorsító lézermimpulzusok z polarizációjú elektromos tere gyorsítja a vákuumcsatornába relativisztikus sebességgel érkező elektronokat. A fogazott szerkezet megfelelő méretezésével elérhető, hogy a struktúrához megfelelő idő-



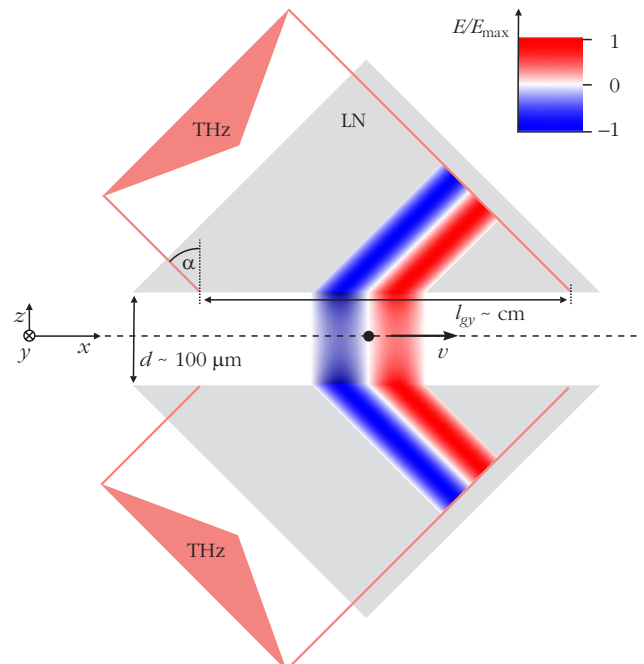
5. ábra. Kettős dielektrikumstruktúra elektroncsomagok lézeres gyorsításához [3] alapján.

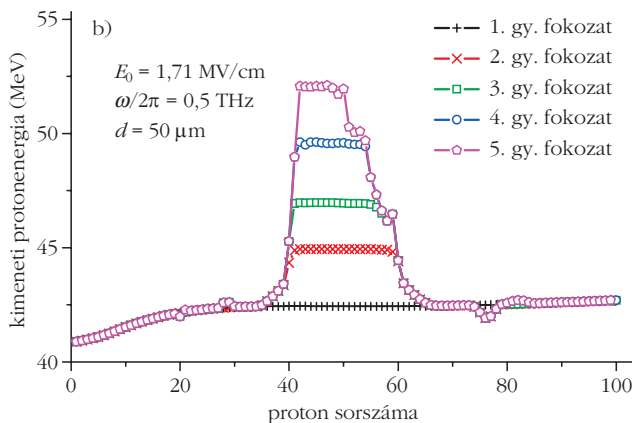
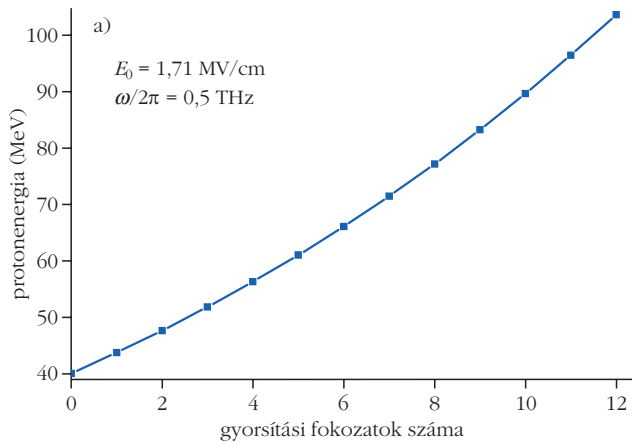
pontban érkező elektronok mindig gyorsító irányú elektromos teret érzékeljenek. Az elrendezés gyenge pontját az jelenti, hogy még kis töltésmennyiség mellett sem biztosítható, hogy a gyorsítandó elektroncsomag összes elektronja gyorsító elektromos teret érzékeljen. Ugyanis $1 \mu\text{m}$ lézerhullámhossz esetén az elektromos tér $3,3$ fs periódussal oszcillál, a gyorsítandó elektroncsomag időtartama pedig ennek több mint tízszerese. Emiatt az elektronok egy része ugyan gyorsul, de egy másik részük (amely lassító elektromos teret érzékel) lassul.

Azonban közeli infravörös lézer impulzusai helyett $0,3$ THz frekvenciájú impulzusokat használva gyorsításra az elektromos tér ezerszer hosszabb, $3,3$ ps periódussal oszcillál, és így biztosítható, hogy az összes elektron gyorsító elektromos teret érzékeljen. Ráadásul, az alacsony frekvenciának megfelelő hosszú (1 mm) hullámhossz nagy össztöltésű elektroncsomag gyorsítását teszi lehetővé. Az 5.b ábra mutatja az általunk megtervezett, THz-es impulzusokat alkalmazó dielektrikumos elektrongyorsítót. Dielektrikumként szilíciumot tételeztünk fel, a periodikus struktúrát pedig dupla oszlopsor alkotta, és a 4.a ábrán látható eszközhöz hasonló, de csak egy dimenzióban szűkülő hullámvezető kürtökön keresztül terveztük az egyciklusú THz-es impulzusok becsatolását, amelyek a hullámvezetőben – amire a szilícium oszlopokhoz érnek – többciklusúvá válnak. Numerikus szimulációink során (Computer Simulation Technology) $1,5$ MV/cm csúcstérerősséget, azaz általunk a jövőben kísérletileg is elérhető 1 mJ energiájú THz-es impulzusokat feltételezve megmutattuk, hogy optimális geometria esetén a körülbelül 350 keV kezdeti energiájú elektronok energiája megkétszerezhető. Célul tűztük ki, hogy néhány éven belül eljussunk a kísérleti demonstrációig. Ehhez több pályázati forrás (OTKA, NKP) is rendelkezésre áll. Az utóbbi projektben hazai együttműködő partnerek az MTA-EK MFA, ahol a dielektrikumstruktúra mikromegmunkálása történik majd, illetve az ATOMKI, ahol az elektronok detektálására szolgáló detektorrendszer kerül megépítésre. Együttműködést tervezünk továbbá az ELI-ALPS lézeres kutatóközponttal, ahol extrém nagy intenzitású lézernyalábot biztosítanak a kísérletekhez, illetve rendelkezésünkre bocsátják az anyagi minősítésre szolgáló nemlineáris THz-es spektrométert.

A protongyorsítás (tágabb értelemben iongyorsítás) egyik kiemelt jelentőségű felhasználási célja a hadronterápia, ami rákos sejtek nagyenergiájú ionokkal történő elpusztítását jelenti a gammaterápiával elérhetőnél sokkal szelektívebb módon. Ehhez az ionokat hozzávetőlegesen 100 MeV energiára kell gyorsítani. A protonon az emberi meghatározott mélységben nyelődnek el és fejtik ki roncsoló hatásukat. Emiatt, a protonenergia helyes megválasztásával el lehet érni, hogy csak a test belsejében, ismert mélységben elhelyezkedő rákos szövet roncsolódjon, az előtte található egészséges szövetet alig érje roncsoló hatás, a mögötte lévő szövet pedig érintetlen maradjon. A kívánt energiaszint elérése mellett követelmény tehát, hogy a részecskenyaláb energiaszórása kicsi legyen. A lézeres protongyorsítás az utóbbi két évtized aktív és alkalmazott kutatási területe. E módszerrel azonban a protonok csupán néhány tíz MeV energiára történő felgyorsítása oldható meg, ami a rákterápiás alkalmazások során nem teszi lehetővé a kellő mélységre történő behatolást a szövetben. A legtöbb alkalmazás szempontjából még jelentősebb

6. ábra. Dielektrikum-prizmapárból álló, THz-es impulzusok evanescens terén alapuló protongyorsító elvi vázlata.





7. ábra. A protonenergia alakulása többfokozatú gyorsítóban (a). Protoncsomagok energiaeloszlása optimalizált többfokozatú gyorsító esetén (b).

probléma, hogy az ilyen módon felgyorsított protonok nagyon széles energiaspektrummal rendelkeznek, ami szintén ellehetetleníti a hadronterápiában történő közvetlen alkalmazásukat.

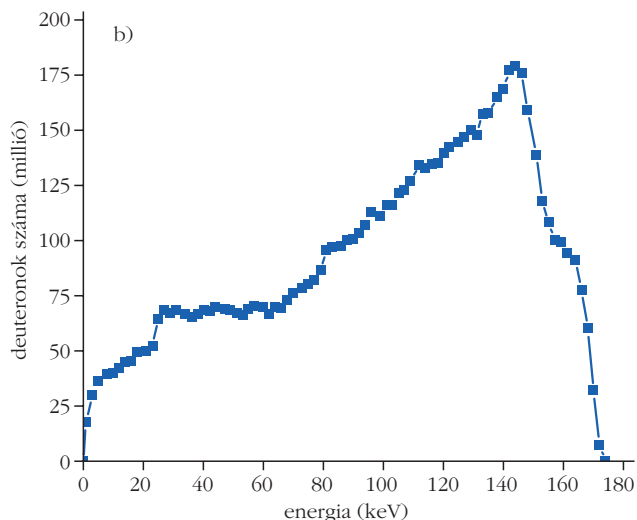
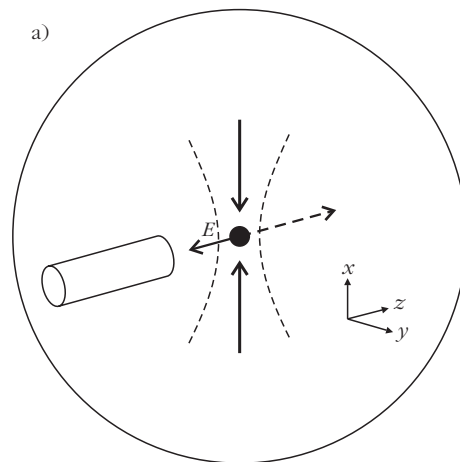
Javasoltunk, majd numerikus szimulációkkal optimalizáltunk egy olyan THz-es impulzusokon alapuló gyorsító elrendezést, amely a lézeres gyorsítókat elhagyó néhányszor 10 MeV energiájú protonokat tovább gyorsítja, és egyúttal a protonnyaláb energiaspektrumát keskenyebbé is teszi [6].

A javasolt utógyorsító a 6. ábrán vázolt, tükörszimmetrikusan elhelyezett dielektrikum-prizmapárból áll. A nagyintenzitású THz-es impulzusokat a kristály belépő felületére merőlegesen csatoljuk be a kristályba az ábrán látható módon. A THz-es nyalábok mindkét prizma felületén ferdén érkeznek a határfelületek felé (szimmetrikusan) úgy, hogy azokon teljes visszaverődést szenvedjenek. A prizmák közötti vákuumcsatornában evanescens tér alakul ki, amelynek x irányú elektromos térkomponense gyorsítja a részecskéket. A megvalósíthatóság feltétele, hogy a vákuumcsatorna szélessége körülbelül $100 \mu\text{m}$ nagyságrendű legyen, biztosítva a részecskenyaláb akadálytalan haladását. A hatékony működés megköveteli, hogy az evanescens tér amplitúdója a vákuumcsatorna közepe és széle közt ne különbözzön számottevően. A szinkronizáció feltétele pedig, hogy az evanescens

tér fázisának x irányú sebessége igazodjon a részecskék belépési sebességéhez. E feltételek együttes teljesülése az α beesési szög, a prizmaanyag törésmutatójának és a THz-es tér hullámhosszának alkalmas megválasztásával érhető el. A néhányszor 10 MeV belépési energia relatíve nagy törésmutatójú prizmák alkalmazását kívánja meg. Emiatt és az LN további előnyös tulajdonságai miatt, az LN prizmák használata ígéretes. Az LN használata mellett további érv, hogy az eszközt továbbfejlesztve az LN prizma egyben THz-es impulzusforrásként is funkcionálhat, ennek részleteit azonban itt mellőzzük.

Szimulációink szerint MV/cm nagyságrendű gyorsító télerősség esetén 1 THz alatti THz-es frekvenciát feltételezve néhány cm gyorsítási hosszon 2-3 MeV energianövekmény érhető el. Azonos gyorsító egységek szekvenciális egymás utáni alkalmazásával az energia szuperlineárisan növekszik, ahogy azt a 7.a ábra mutatja. A 12. gyorsító fokozat végére a hadronterápiához szükséges energia érhető el. Protoncsomagok végzett szimulációk azt mutatják, hogy optimális beállítással a gyorsítás mellett a nyaláb energiaszórásának jelentős csökkentése is elérhető (7.b ábra).

8. ábra. Elvi elrendezés nagyenergiájú ultrarövid protoncsomag (ioncsomag) hatékony előállítására (a), és a keltett deuteroncsomag energiaspektruma (b).



A széleskörű felhasználási lehetőségek miatt a 0,1–10 MeV nagyságrendű energiával rendelkező ionok alkotta ionsomagok előállítására is fontos. Ilyen alkalmazások például különböző anyagszerkezeti kutatások, nukleáris transzmutáció, pozitronforrás biztosítása PET vizsgálathoz, vagy magfúzió indítása. Ezekon kívül az ilyen ionsomagok mikrohullámú gyorsítók ionforrásaként is szolgálhatnak. Utógyorsítást követően pedig a fent említett hadronterápia, mint orvosi alkalmazás lehet egy fontos felhasználási lehetőség.

Nagyintenzitású, közeli infravörös lézerekkel szilárd fóliákból keltett plazmákat használva jelentős és biztató eredményeket értek el lézeres iongyorsítók fejlesztésében. Azonban számos elvi és technikai probléma akadályozza ezen lézeres iongyorsítók elterjedését. Általában nehezen kontrollálhatók a szilárdtestplazmában lejátszódó folyamatok. A sűrű plazmába a lézerimpulzusokkal bevitt energia nagy része nem az ionok gyorsítására, hanem az elektronok fűtésére fordítódik. A keltett ionok energiaspektrumára (energia szerinti eloszlására) általában az jellemző, hogy az energiával exponenciálisan csökken az ionszám, az ionok döntő többsége nagyon kis energiával rendelkezik, és csak egy nagyon kis részüknek nagy az energiája. Olyan esetben érték el a legjobb eredményeket, amikor mindössze néhány nanométer vastagságú fóliát alkalmaztak. Ilyen céltárgy reprodukálható biztosítása azonban a nagy megkívánt ismétlési frekvencia (10 Hz – 1 kHz) esetén szinte lehetetlen feladat.

Kompakt, egyszerű megoldást dolgoztunk ki 0,1–1 MeV energiájú, rendezett kollektív mozgással rendelkező ionsomagok előállítására.

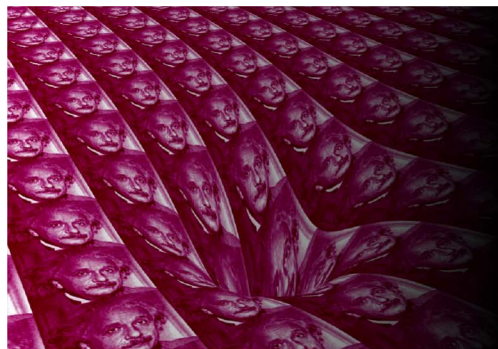
A szabadalmaztatott megoldás szerint az ionsomagok keltése vákuumkamrában történik, ahová fűvőkán keresztül gázt áramoltatunk (8. ábra). A beáramló gázt látható vagy ultraibolya tartományba eső, lefokuszált lézerimpulzusokkal ionizáljuk. Az így nyert plazma térbeli eloszlását az ultrarövid lézerimpulzusok időtartamával és megfelelő fókuszálásával alakítjuk ki. Vizsgálataink gömb, ellipszoid, henger, illetve korong alakú plazmatérfogatra terjedtek ki. A plazma létrehozását követően az elektronokat eltávolítjuk a plazmából egymással szemben haladó egyciklusú, szimmetrikus, lineárisan polarizált, THz-es elektromágneses impulzusok szuperponált terében (állóhullámban). E megoldás sajátossága, hogy az elektronok

eltávolításában közvetlenül a THz-es impulzusok E elektromos terének van szerepe, ellentétben a korábbi ismert megoldásokkal, ahol a ponderomotoros erő vagy a fénynyomás szerepe volt a döntő. A módszer sajátossága és nagy előnye is egyben, hogy az elektronok eltávolítása (korábban ismert megoldásokkal ellentétben) nem rendezetlenül, hanem rendezett módon, a THz-es impulzusok elektromos térerősségvektora által meghatározott egyenes mentén történik.

Az elektronok eltávolítása után visszamaradó ionok a Coulomb-taszítás miatt szétrepülnek (Coulomb-robbanás), és nagy sebességre valamint energiára tesznek szert. Például, numerikus szimulációk szerint egy körülbelül 0,01 atm nyomású gáz 250 μm hosszú és 25 μm átmérőjű térfogatában lévő deuterongáz ionizálásával létrehozott plazmából az elektronok teljesen eltávolíthatók 2×2 darab, páronként egymással szemben haladó, egyciklusú, 10 MV/cm csúcstérerősséggel rendelkező 3 ps periódusidejű THz-es impulzusokkal. A visszamaradó 1,2 nC töltésű deuterionsomag néhány száz ps idő elteltével a 8.b ábrán bemutatott energiaeoszlással rendelkezik. Mint látható, előnyösen – a lézeres iongyorsítókkal ellentétben a nagy energiájú deuteronból van a legtöbb –, és a maximális deuteronenergia 0,18 MeV. Ez az energiaeoszlás lehetővé teszi a deuteroncsomag hatásos felhasználását rövid időtartamú neutroncsomagok előállítására, például nagy időfelbontású anyagszerkezet vizsgálat, vagy sugárszennyező atomok transzmutációja céljából.

Irodalom

1. Pálfalvi L., Fülöp J. A., Tóth Gy., Almási G., Hebling J.: Extrém nagy térerősségű terahertzes impulzusok előállítása lítium-niobátban. *Fizikai Szemle* 69/7–8 (2019) 255.
2. Z. Tibai, M. Unferdorben, Sz. Turnár, A. Sharma, J. A. Fülöp, G. Almási, J. Hebling, Relativistic electron acceleration by focused THz pulses. *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 51 (2018) 134004.
3. Sz. Turnár, J. A. Fülöp, G. Almási, J. Hebling, Z. Tibai: Design of a compact THz-driven relativistic electron source. *Applied Physics B* 127 (2021) 38.
4. T. Plettner, P. P. Lu, R. L. Byer: Proposed few-optical cycle laser-driven particle accelerator structure. *Phys. Rev. Accel. Beams* 9 (2006) 111301.
5. E. A. Peralta, K. Soong, R. J. England, E. R. Colby, Z. Wu, B. Montazeri, C. McGuinness, J. McNeur, K. J. Leedle, D. Walz, E. B. Sozer, B. Cowan, B. Schwartz, G. Travish, R. L. Byer: Demonstration of electron acceleration in a laser-driven dielectric microstructure. *Nature* 503 (2013) 91.
6. L. Pálfalvi, J.-A. Fülöp, Gy. Tóth, J. Hebling: Evanescent-wave proton postaccelerator driven by intense THz pulse. *Phys. Rev. ST Accel. Beams* 17 (2014) 031301.



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



LÁBJEGYZET A TEHETETLENSÉG TÖRVÉNYÉNEK KIALAKULÁSÁHOZ

Bognár Gergely

Révai Miklós Gimnázium és Kollégium, Győr

A tehetetlenség törvénye első közelítésben rendkívül egyszerű: ha egy testre nem hat semmi, akkor azzal nem történik semmi, nem gyorsul és nem is lassul. Felfedezéséhez mégsem vezetett egyenes út, hiszen a hétköznapi tapasztalat egyáltalán nem támasztja alá a tehetetlenség törvényét, sőt a legtöbb esetben kifejezetten cáfolja azt. A valódi mozgások fenntartásához külső erő kell, amely általában lineáris, négyzetes vagy egyéb kapcsolatban áll a sebességgel. Ráadásul a valóságban nem találunk olyan testet, amelyre ne hatna semmi, vagy az összes külső hatás kiegyenlítőné egymást, ezért a tehetetlenség törvénye egy idealizált fikción nyugszik. A tehetetlenség törvényének felismerése kis túlzással a klasszikus fizika „megszületésének” pillanata. Egyfelől az arisztotelészi fizikát felváltó új paradigma kezdete és a mozgástan alapvető törvénye, másfelől oly szemléletet teremtett, amely áthatja a fizika egészét. Gondoljunk a hőmérsékletre, töltésre, túlnyomásra vagy más állapotjelzőkre. Hétköznapi tapasztalatunk, hogy ezek idővel kiegyenlítődnek. Kivéve, ha valamilyen külső hatás fenntartja őket, hasonlóan a sebességhez. A meleg testek kihűlnek, ha nem melegítjük őket, a dörzsöléssel feltöltött műanyag vonalzó éppúgy elveszíti töltöttségét, mint a hónapokra magára hagyott akkumulátor, és a születésnap buli másnapjára a lufik is kezdenek leengedni. A környezettől elzárt, magára hagyott testek modellje a természettudományokban rendkívül jól használható, s e modell kétségkívül a tehetetlenség törvényével kezdte el nagyszerű „karrierjét”. A tehetetlen-

ség törvénye azért is érdekes, mert a fizika imént bemutatott szemléletének elsajátítása után látszólag értelmét veszti. Hiszen Newton II. törvénye maga után vonhatná az elsőt:

$$F = ma.$$

Ha egy testre nem hat semmi, akkor $F = 0$, ebből pedig egyértelműen következik, hogy $a = 0$, vagyis a test sebessége állandó. Az első törvényre mégis szükség van, mert segítségével tisztázható, hogy a mozgás állapotjelző, amelynek fenntartásához nincs szükség külső erőre, nem beszélve az inerciarendszer fogalmáról, amely elválaszthatatlanul kapcsolódik a tehetetlenség törvényéhez. Mindent egybevetve nem túlzást azt állítani, hogy a tehetetlenség törvénye nélkül a ma ismert fizika sem alakulhatott volna ki.

Tudománytörténeti „utazásunk” megkezdése előtt fontos leszögezni, hogy a fizika ma ismert törvényei és fogalmai a legtöbb esetben nem „heurékapillanatok” szüleményei, hanem hosszas fejlődés következményei. Ne tekintsük ezért plágiumnak, ha egy-egy törvény, fogalom vagy annak csírája korábbi neves fizikusoknál már megjelent, és a későbbi korok ezt felhasználják. A tehetetlenség törvényével pontosan ugyanez a helyzet. Hagyományosan Newton első törvényeként emlegetjük, hiszen *Isaac Newton* (1643–1727) volt az, aki a mechanika alapjait lefektető tételket rendszerbe foglalta. A tudománytörténészek mára kiderítették, hogy a három Newton-törvény közül, egyedül a másodikat fedezte fel Newton, az elsőt és a harmadikat *René Descartes*-tól (1596–1650) vette át. Élete delején maga Newton is vallotta: „Messzebb láthattam, mert óriások vállán álltam.” Hasonló a helyzet Descartes-tal is, az első törvényt ő is átveszi, az egyéni munkája a harmadik törvény felismerésében rejlik. Különös módon a tehetetlenség törvénye a 16. század fizikával foglalkozó géniuszai számára valamilyen formában adott volt. Ismerte *Galileo Galilei* (1564–1642) is, és a nevéhez fűződő relativitási elvet (szintén mások nyomán) e tételből vezette le. Ismeri *Isaac Beeckman* (1588–1637), *Nikolausz Kopernikusz* (1473–1543) és *Johannes Kepler* (1571–1630), hiszen a tehetetlenség törvénye nélkülözhetetlen a mozgó Föld hipotéziséhez. Kopernikusz a párizsi Sorbonne késő skolasztikus gondolkodóitól veszi át. E neves iskola nagyjai közül csak két nevet emelnék ki. *Nicole Oresme*-t (1320–1382), aki csillagászati, azaz tapasztalati megfigyelésekre hivatkozva elsőként veti fel annak lehetőségét, hogy a Föld a saját tengelye körül

A *Fizikai Szemle* szerkesztőbizottsága az 1972-ben meghirdetett VÉLEMÉNYEK sorozatát az olvasók kérésére tovább folytatja ez évben is. A szerkesztőbizottság állásfoglalása alapján „a *Fizikai Szemle* feladatául vállalja el, hogy teret nyit a fizikai kutatásra és fizika oktatására vonatkozó véleményeknek, ha azok értékes gondolatokat tartalmaznak és építő szándékúak, függetlenül attól, hogy egyeznek-e a lap szerkesztőinek nézetével, vagy sem”. Ennek szellemében várjuk továbbra is olvasóink, várjuk a magyar fizikusok, fizikatanárok leveleit.



Bognár Gergely 2006-ban végzett az ELTE TTK fizikatanári szakán, illetve 2008-ban a PPKE BTK filozófiaszakán. Jelenleg a győri Révai Miklós Gimnázium és Kollégium fizika-filozófia szakos tanára. Érdeklődési területe a fizika és a filozófia határterületei, és a fizika tanításának módszertana, amelyekkel kapcsolatban több publikációja jelent meg.

foroghat és Jean Buridan (1301–1362) francia teológus és filozófus, a tehetetlenség törvényének első megfogalmazóját. Buridan filozófiai és teológiai munkássága is jelentős.

Buridan a tehetetlenség törvényének felismeréséig vezető gondolatmenetének megértéséhez rövid eszmétörténeti kitekintőt kell tennünk. A Római Birodalom bukásával az arisztotelészi fizika – hasonlóan oly sok minden máshoz – a szó legszorosabb értelmében nyugaton elveszett. Az ok egyszerű, a barbár népek dúlása és a folyamatos háborúskodás. *Arisztotelész* tanai csak a 11. században, arab közvetítéssel kerülnek vissza Európába, és ezt követően indul el a skolasztikának nevezett szellemi virágzás, amelyben ismételten természetfilozófiai, azaz fizikai problémák felé fordulnak. Skolasztikus gondolkodóként Buridan szembekerül az arisztotelészi fizika szolgáltatva világkép és a keresztény teremtéstörténet között feszülő ellentéttel. Az arisztotelészi fizikában a világnak nincs kezdete, öröktől fogva létezik, és rendszerébe nem illeszthető be a Teremtő. Az égi mozgások okaként feltételezett mozdulatlan mozgató az égi világnak ugyanolyan része, mint a csillagok vagy a Nap, és nem a világ felett álló monoteista Isten. A két világnézet ellentmondásával már Buridan elődei, a skolasztika legnagyobb alakjai is szembesültek. Arisztotelész filozófiájának új európai megjelenése és az ezt követő teológiai viták nyomán mondja ki a IV. lateráni zsinat (1215), hogy Isten a világot *ex tempore* (vagyis véges idővel ezelőtt) és *de nihilo* (azaz semmiből) teremtette. Komoly vita tárgyát képezte ezután, hogy a világ teremtsége csak a *Szentírás* vagy az ész által is felismerhető. A korszak legnagyobb gondolkodója, *Aquinói Szent Tamás* (1225–1274) az előbbi mellett tör lándzsát. A vitába Buridan is bekapcsolódott, s e termékeny diskurzus eredménye lett a tehetetlenség törvénye.

Buridan az arisztotelészi fizika alapjait a világ időbeli teremtsége miatt kérdőjelezi meg. Gondolatmenete világos és egyszerű: Isten a világ teremtésekor elindította, mai fogalmakkal élve felgyorsította az égitesteket. Ha a bolygómozgás fenntartása érdekében Isten gyorsító ereje ma is jelen lenne a világban, a bolygók sebessége folyamatosan nőne, ami lehetetlenség. Az eszmefuttatás bibliai alapokon is jól védhető, hiszen Isten a teremtés hatodik napján befejezi művét, és a csodák kivételével nem avatkozik közvetlenül a világ dolgába, valamint a Bibliában nem olvashatunk olyan angyalokról, akik a bolygók folyamatos mozgásáért lennének felelősek. Az égi mozgások megértéséhez az egyedüli lehetséges magyarázat, amely megfelel a keresztény teremtésfelfogásnak, a tehetetlenség törvénye [1]:

„Amikor Isten megteremtette a világot, tetszése szerint mozgatta az égitesteket; és ekképpen mozgatóván őket, kezdő lökést adott nekik, amely azután továbbra is mozgásban tartotta ezeket, anélkül, hogy Istennek mozgatnia kellett volna őket, leszámítva azt az általános befolyást, amellyel minden eseményben, ami csak megtörténik, cselekvően vesz részt... És ezen



Jean Buridan francia teológus és filozófus az 1320-as évektől haláláig tanított a párizsi egyetemen. Egy, az 1370-es években Párizsban készült kéziratban található ez a kis rajz, amelyik minden bizonnyal az előadást tartó Buridan ábrázolja. A kézirat a krakkói Jagelló Könyvtárban található.

kezdőlökések, amelyeket az égitesteknek átadott, nem csökkentek vagy lanyhultak, mert az égitestek nem akartak másféle mozgást végezni. És ellenállás sem volt, amely csökkentette vagy tompította volna ezt a kezdő lökést. [kiemelés tőlem, B. G.]”

A szövegből egyértelműen kiolvasható a tehetetlenség törvénye, ugyanakkor az igazsághoz hozzá tartozik, hogy Buridan az egyenes vonalú mozgáson túl – helytelenül – a körmozgásra is kiterjesztette e törvényt.

A teológiai és filozófiai okoskodáson túl, Buridan jóval tovább megy. Elméletének alátámasztására földi példákkal él, ezzel az arisztotelészi fizika egy másik sarokkövét, az égi és a földi fizika radikális szétválasztását is megkérdőjelezi. Buridan fizikatörténeti jelentőségét növeli, hogy közvetlen tapasztalati megfigyelésekre hivatkozik, utat nyitva ezzel a tapasztalati tudományok fejlődésének. Buridan bevezeti az *impulzus* fogalmát, amit a tehetetlenség törvényével rögtön össze is kapcsol, és választ ad az arisztotelészi fizika egyik legproblematisabb kérdésére. Jelesül arra, hogy mi tartja mozgásban a repülő nyilat. Buridan elveti korának népszerű magyarázatát, hogy a nyilvessző mögé beáramló levegő hajtaná előre azt. A helyette adott magyarázata ma is megállja a helyét: a kilőtt nyilvessző impulzusa a mozgás során megmarad, azt a levegő ellenállása csak kis mértékben emészti fel. Más helyzet áll elő egy tollpíhénél. Hiába hajtjuk el nagy sebességgel, kicsiny tömege miatt

kezdeti impulzusa oly csekély, hogy azt a levegő el-lenállása hamar felemészti, ezért áll meg. Buridan leírását egy az egyben elmesélhetnénk a lendület bevezetésekor, a magyarázat pontos, világos és szemléletes! Buridan ezen kívül felismeri, hogy a szabadon eső testek sebessége egyenletesen növekszik [2].

Buridan fizikatörténeti jelentősége vitathatatlan, ennek ellenére mégsem nevezhetjük az első, mai értelemben vett fizikusnak. Előremutató meglátásai ellenére nem élt a mérhető, kvantitatív mennyiségek használatával, ez a lépés Galileire, Descartes-ra és követőikre vár. Buridan tudománytörténeti jelentősége az arisztotelészi fizika paradigmaváltásában érhető tetten. E paradigmaváltás kovásza a keresztény hit és a hozzá kapcsolódó keresztény világkép, amelyben az emberi értelem képes felismerni az isteni igazságokat.

Mindez arra kell, hogy inspiráljon bennünket, hogy újra gondoljuk a vallás, és különösen a keresztény vallás szerepét a fizika megszületésében. Az általános közhiedelemmel ellentétben a kereszténység dogmái nem hátráltatták a fizika megszületését, éppen ellenkezőleg, e dogmák és az arisztotelészi világkép közötti ellentét hívta életre a tehetetlenség törvényét, minden későbbi mozgástan alapját, és ugyanezen dogmák vezettek az égi és földi fizika egységéhez. Évszázadokkal Buridan után Galilei szembe kerül az egyházi intézményekkel. Az igazsághoz hozzá tartozik, hogy e szerencsétlen eset jelentősége a „vulgáris” tudománytörténetben erősen túlzó. A történészek mára kiderítették, hogy Galileit nem érte fizikai atrocitás, és a büntetésül kirótt házi-őrízetét egyházi személyek vendégeként töltötte [3]. A Galilei-per nem a vallásos hit és a tudomány dogmáinak összecsapásáról, hanem egy megszületőben lévő új tudomány arrogáns képviselőjének és egy zavaros kor vallási alapjaitól elszakadt egyházi intézménynek vitájáról szólt. *Giordano Bruno* (1548–1600) pedig egyáltalán nem a tudomány mártírja, kegyetlen ítéletét filozófiai és nem tudományos tanaiért szenvedte el. Esete nem a vallás és a tudomány erendő szembenállását példázza, hanem az eretnekül-dözések szomorú sorát gyarapítja.

Ha Buridan munkássága és a Sorbonne-on működő későiskolászitikus iskola kevés bizonyíték lenne a keresztény világszemlélet fizikára gyakorolt pozitív hatására, akkor érdemes két irányba kitekinteni. Arisztotelész fizikájával az arab kultúra nagyon hamar, a 8-9. században megismerkedik, ezt követően az arisztotelészi fizikával kapcsolatos kétségek a legnagyobb gondolkodókban is felmerülnek, de ezek megoldása helyett, az isteni akarat kifürkészhetetlensége mögé bújnak, és a fizika megszületésének irányába nem tesznek lépéseket [4]. Másfelől a kereszténység jóval korábban, a középkor hajnalán, Arisztotelész európai „eltűnését” megelőzően is szembekerült az ókori fizika és a világ teremtettsége között feszülő ellentéttel. *Johannes Philoponos* (körülbelül 490–570) e szembekerülés kapcsán fogalmazza meg a tehetetlenséggel és az impulzussal kapcsolatos nézeteit, amelyeket Buridan feltehetően olvasott. Philoponos műveiből mindössze részletek maradtak fent, ezért a teljes gondolatmenet rekonstrukciója lehetetlen [5]. Egyet biztosan kijelenthetünk, a keresztény teremtéshit és az arisztotelészi fizika között feszülő ellentét már a kereszténység kezdetekor a tehetetlenség törvényének irányába terelte a gondolkodást.

A tehetetlenség törvényét egy teológiai probléma hívta életre, és ennek nyomán indult el az arisztotelészi fizikát felváltó paradigmaváltást. Galileo Galilei szerencsétlen eseténél nagyobb jelentőséggel bír Buridan és a Sorbonne-on működő iskola öröksége. Ha elfogadjuk e tudománytörténeti tény, tarthatatlanná válik az a nézet, amely a keresztény hitvilágot a tudomány fejlődésének gátjaként ábrázolja.

Irodalom

1. Jáki Sz. L.: *A természettudomány eredete*. Keresztény Értelmiségiek Szövetsége győri szervezete (1991) 10.
2. Simonyi K.: *A fizika kultúrtörténete*. Akadémiai Kiadó, Budapest (2011) 155–156.
3. Tarján M. T.: Megkezdődik Galilei pere az inkvizíció előtt. in: *Rubikon* (2020) http://www.rubicon.hu/magyar/oldalak/1633_aprilis_12_megkezdodik_galilei_pere_az_inkvizicio_elott/
4. P. Duhem: *A jelenségek megőrzése*. Kairosz Kiadó, Budapest (2005) 61–83.
5. *Stanford Encyclopedia of Philosophy* <https://plato.stanford.edu/entries/philoponus/#Theolmpe>

SZÁMÍTUNK RÁD, LÉGY



A FIZIKA BARÁTJA!

Támogasd adód 1%-ával az Eötvös Társulatot!

Adószámunk: 19815644-2-43

»FEGYELMEZETT ÉRDEKLŐDÉSSSEL NYÚLJ BÁRMILYEN PROBLÉMÁHOZ«

– a 90 éves Wiedemann László köszöntése

Horváthy Péter
Tours-i Egyetem, Franciaország

– *Érdekel a fizika? Akkor gyere a Wiedemannhoz!* – sügta valaki oda a szünetben.

Így kerültem, vidékről frissen fölköltözött másodisként az elegáns, fehér zakót viselő *Wiedemann* Tanár Úr központi fizika szakkörére, amelyet nálunk tartott, a „Fazékban”.

Nem véletlenül, hiszen Wiedemann „Laci” (kis megszakításoktól eltekintve) egész életében Fazekas diák volt és maradt. Igazából már akkor is, amikor még nem is volt Fazekas, mert Laci annak elődjében, a budapesti Szent Benedek Gimnáziumban tanult, majd az ELTE matematika–fizika szakának elvégzését követő szombathelyi vargabetű után újra visszakerült az akkor már nevet váltott *alma mater*-ba. Tanítványai közt voltak a tudomány olyan későbbi nagyságai is, mint *Lovász Laci* (aki fizika OKTV-t is nyert csak úgy, „másodkézből”), vagy *Laczkovich Mik*.

Amikor a Fazékba kerültem, Wiedemann László már nem tanárkodott, hanem szakfelügyelő volt a „Szatócs”-ban (SZAKfelügyeleti- és TOvábbképzési CSoport). De helyileg továbbra is ugyanabban a nagy, századeleji épületben maradt. És tanítani akkor is szeretett – hát ez volt az a híres szakkör.

Tanárainktól nem csak tárgyi ismereteket, de – a fizikán túlmenően – az egész életünkre kiható viselkedésmódot tanultunk. Mert minden nagy pedagógusnak megvan a maga tudós-, sőt emberformáló stílusa. *Vermes Miklós* híres volt vulkánfíber kofferjáról, ahonnan cirkuszi artistaként húzta elő – no nem a nyulakat, de a demonstrációs kísérleteihez szükséges tárgyakat. Már ezért megérte kijárni Csepelre, „pukkfütty” előadásaira! *Kunfalvi Rezső* bácsi szelíd mosolya a tudományban való gyönyörködésre bátorított. Csodákat meséltek a tanítványok *Holics László* temperamentumos óráiról, feldobott, majd méterekkel távolabb újra elkapott kretáiról.

Mit tanultunk Wiedemann Tanár Úr szakkörén? A probléma megfogását, majd kibontását. Precíz gondolatmenetet és magasabb szintű visszatérést, amely

új perspektívákat nyit. Nézőpontváltást, amely a probléma plasztikus körbejárását, a fizikai folyamat mélyebb megértését nyújtja. Tudományos józanságot és önfegyelmet.

Egész későbbi életünk során kapcsolatban maradtunk a „Lacivá” fiatalodott Tanár Úrral. Rendszeresen informáltam mozgalmás életem és fizikusi fejlődésem alakulásáról, amelyet ő mindig is jóindulatú érdeklődéssel követett. Meglátogattam, amikor itthon jártam. 2003-ban írt leveléből idézve: „...ezek a kovászokként ható emlékek valóban produktív elemek. Törekvéseink, vízióink a nagyra, a megismerés csodájára, egyben közös szemlélete ugyanannak a nagyszerűnek: sors-komponens. Minden közönségesnek, minden butának, minden közepeszerű posványoknak elutasítása, egy misszióknak és élethossziglan tartó szenvedésnek vállalása, melynek végpontja egy Esztétikum megszületése bennünk.”

Harminc évig maradt Wiedemann László a Fővárosi Pedagógiai Intézet munkatársa. A fizikai szakfelügyeletet irányította, ellátta a fizika-továbbképzési feladatokat. Előadásokat és demonstrációkat tartott és szervezett.

Az Országos Ösztöndíj Tanács jóvoltából hosszabb tanulmányutat tett (az akkor még „Nyugat”-) Németországban.

Közreműködött a *KöMaL* fizikarovatánál. 25 éven át volt tagja az OKTV Vermes Miklós-vezette versenybizottságának, majd a Vermes Miklós Alapítvány kuratóriumának. Tíz éven át pedig a Vermes-versenyek előadója és a Mikola-versenyek versenybizottsági tagja.

1970-ben Mikola-, 1978-ban az Oktatásügy Kiváló Dolgozója díjat kapott. 1992-ben Németh László díjjal, 2003-ban Rátz Tanár Úr Életműdíjjal tüntették ki. A Vermes Miklós Alapítvány díjait is elnyerte.

– *Legyen gondod önmagad munkájának kontrolljára. Fegyelmezett érdeklődéssel nyúlj bármilyen problémához!* – kísér immár 51 éve a Wiedemann Tanár Úrtól érettségim után kapott intés.



A Rátz Tanár Úr Életműdíj átadásán (2003).

Helytelen lenne az ilyen cím: *Egzaktság vagy ismeretterjesztés*. Az ismeretterjesztésben is megkívánjuk az egzaktságot. A jelen írásban a természettudományos ismeretterjesztésre szorítkozunk, itt is főként a fizikára.

Az ismeretterjesztés egzaktségán azt kell érteni, hogy fogalomalkotásai tiszták legyenek, mondjuk, axiomatikusak és a szaktudományi mondanivalót, ami főként a matematika nyelvén jelentkezik, élet-hűen áttegye részben narratív formára, és ezáltal világképi hozzájárulást is nyújtson. Tehát a fizikában adott matematikai egzaktsággal megfogalmazott világképet nyelviileg is interpretálja. Ezzel a közérthetőség növekszik, de a mondanivaló súlya csökken. Ez lehet a tudományos ismeretterjesztés egyik ismérve. Ennek egy másik ismérve az, hogy mindig a megfelelő szaktudomány kontrollja alatt áll. Hangsúlyozzuk, hogy a tudományos ismeretterjesztés így mindig hordozza a maga egzaktségát az említett konstrukcióban, egyébként pusztán zsurnalizmusba torkollna és az áltudomány veszélye is fenyegetné. Sajátságos helyzete miatt azt is ki kell emelni, hogy a tudományos eredmények interpretációjában nem mehetünk akármeddig. Tudomásul kell venni, hogy van, ami már nem férhető hozzá a tudományos ismeretterjesztés fokán. *Einstein* egy frappáns megjegyzése kínálkozik itt: „Alles sollte einfach wie möglich gemacht werden, einfacher jedoch nicht.” (Mindent a lehető legegyszerűbben kell tenni, de annál egyszerűbben nem.) E mondatban az is fellelhető, hogy valamilyen különböző intellektuális szinten fogjuk fel a környező valóságot és ezen háborogni fölösleges, el kell fogadni.

Az ismeretterjesztés elvárt egzaktsága jelentkezik abban is, hogy a közölt írásokban nem parttalan, hanem lehatárolt. Több esetben használnak matematikát, de felsőbb matematikát nem. Ilyen kritériumok alapján határolódik el a zsurnalizmustól és segítőtje a kapcsolatos szakmai háttér megértésének, azt mintegy életre kelti és a fantáziát megmozgatja. Az ismeretterjesztés szorosan összefügg a mélyebb értéssel.

Mindig van bizonyos hierarchia szaktudomány és a kapcsolatos ismeretterjesztés között, ahol a szaktudomány lát mélyebbre és mond többet, ami tény, de nem értékítélet. Az ismeretterjesztés társadalmi igényt elégít ki. A szaktudomány nem fennhéjázó és nem

fennkölt, hanem exkluzív. Ez bátorságot és kockázatot foglal magában. Így a tudományos ismeretterjesztés attitűdje a tudományos eredmények ezen hierarchikus rendben való bemutatása, a provizórikus konzerválás, a lelkiismeretes terjesztés és az áltudományos megközelítés kivédése. Értelmes vitákkal a rosszindulatú kritikákat elháríthatjuk. Örülni kell annak, hogy a Természet a Rendet választotta. Az ismeretterjesztő iratok óvatosan és tömörítés céljából alkalmazzák a matematikát. Egy odadobott képlet, amelyik csak úgy *deus ex machina* megjelenik, semmit sem ér. Illeszkedjék szervesen a mondandóhoz. Az ilyen szerkesztés nagy didaktikai tudást igényel. E tekintetben nagy hatással volt rám *Marik Miklós: Helyünk a világmindenségben* című könyve (Tankönyvkiadó, 1989). Egy csillagászati ismeretterjesztő remekmű elegendően sok és érthető matematikával, az Univerzum elképzelhetőségét lehetővé tevő fogalmi megalapozással. Az ismeretterjesztés és a megfelelő szaktudományi megközelítés gyümölcsöző kontrasztjaként említhetjük a kiváló orosz fizikus, *Zeldovics* könyvét: *A csillagszerkezet és csillagfejlődés fizikai alapjai* (Gondolat Kiadó, 1988).

Az előbbieken vázolt megközelítéseket tekinthetjük a tudományos ismeretterjesztés meghatározásának és feladatának. Ebben a rendben előbb áll a szaktudomány. El kell határolódnunk az ismeretterjesztés különböző vadhajtásaitól, amelyek konfúziót és az olcsó fantáziát megmozgató elemeket tartalmaznak. A tudománynak nem feladata a ködbe vesző világmagyarázat. Manapság sokan elmélkednek azon, hogy a posztmodern kultúrába egyáltalán beilleszthető-e az egzakt tudomány. A kritika főleg a sértett önérték felől érkezik, és általában támad mindenféle axiomatikus gondolkodást. Állítólag az új embertípus szabaddabb és kreatívabb, mintsem hogy ennyire gúzsba lehetne kötni a természettudományos gondolkodás axiómiával – mondják a másik oldalon. Mindenesetre intő jel a természettudományos oktatás évtizedek óta tartó szisztematikus visszaszorítása. A posztmodern megközelítésekkel kapcsolatban figyelemre méltó tanulmány olvasható a *Fizikai Szemle* 2020/1. számában *Wojnarovich Ferenc* professzor tollából.

Lényeges momentumra kell még rámutatni. Ahogy a természettudomány keresi és felfedi a kapcsolatot a filozófiával, hasonlóképpen a tudományos ismeretterjesztés is nyújthat filozófiai, ismeretelméleti kitekintést.

Azonnal felmerül a kérdés, hogyan történik az ismeretszerzés. Az érzékszerveken keresztül szerzünk empirikus ismereteket, és ezeket mérésekkel, mérő eszközökkel dolgozzuk fel. *Hume* és *Kant* megfogalmazták, hogy a világ az érzékszervek által tárul fel számunkra az empiria fogalmi feldolgozása útján. Pontosabban kell ezt körülírni. Ez a megállapítás még azt is jelentheti, hogy mindenki számára más és más a



Wiedemann László (1931) középiskolai fizika–matematika tanár, egyetemi doktor (1964). Tíz év gimnáziumi tanítás után a Fővárosi Pedagógiai Intézetben 35 évet dolgozott a tanártovábbképzés területén, 25 éven át volt tagja az OKTV versenybizottságának. Jelenleg is részt vesz a Mikola-verseny munkájában és feladatkitűző a *KöMaL* fizikarovatában. Könyvei jelentek meg a fizika és filozófia kapcsolatáról, valamint cikkei a *Fizikai Szemle*-ben. Rátz Tamás Úr Életműdíjat kapott 2003-ban.

világ, aszerint, hogy az érzékszervek hogyan közvetítik. Ha ezt csupán így fogadnánk el, akkor a kutatásnak nem lenne tárgya, lehetetlen volna az emberi megismerés. A pozitivizmus lényegében ezt fejezi ki. Végül is ez így a szkepticizmusba és a szolipszizmusba torkollik. Ezzel szemben ki kell mondanunk, hogy az ismeret tárgya a tőlünk független külvilág, vagyis az egyes embertől független külvilág. Ez röviden azt jelenti, hogy létezik objektív külvilág. A tudomány tehát elsődlegesen a világ objektíven megragadható oldalával foglalkozik. E posztulátum nem magyarázható magából a tudományból. Enélkül azonban nincs egzakt tudomány és megismerés sincs. Ez az elfogadás egy hipotézis és metafizikai vonása az emberi létnek. Mindezeket tömören fejezi ki a nagy fizikus, *Max Planck Válogatott tanulmányok* című kötetében (Gondolat Kiadó, 1965). A mondanivalót még jobban megvilágítja ebből a következő idézet: „A következetesen keresztülvitt pozitivizmus tagadja az objektív, azaz a kutató egyéniségétől független fizika fogalmát és szükségszerűségét. Kénytelen ezt tenni, mivel elvileg nem ismer el más valóságot, mint az egyes fizikusok élményeit. Egy tudomány, amely maga elvben lemond az objektivitás követelményéről, kimondja magáról az ítéletet. Az alap, amelyet a pozitivizmus a fizikának nyújt, szilárdan megalapozott ugyan, de túl keskeny, meg kell toldani; ennek jelentősége abban áll, hogy a tudományt lehetőleg meg kell szabadítani olyan véletlenektől, amelyek az egyes emberekkel kapcsolatban bekerülhetnek. Ez pedig nem formális logikai, hanem a józan értelem nyújtotta elvileg metafizikai lépés útján történik meg. Ez egy hipotézis, amely szerint nem maguk az élményeink alkotják a világot; ezek csupán hírnökei egy másik világnak, amely mögöttük áll és tőlünk független, más szóval létezik reális külvilág. A pozitivizmus, amely minden transzcendentális gondolatot elutasít, nem kevésbé egyoldalú, mint a metafizika, amely minden egyedi tapasztalatot lebecsül.”

A tudományos ismeretterjesztés megvalósításának egy vázlat szerű leírása

Adott problémában meg kell találnunk azokat a kiindulási pontokat, amelyek a szaktudomány fényében is egzaktak. Ezután – megengedhető feltételek mellett – a kifejtés egyszerűsíthető, tömöríthető, de nem lehet pongyola, hanem a tudományos ismeretterjesztés szintjén egzakt. A kvalitatív közelítések hasznosan alkalmazhatók.

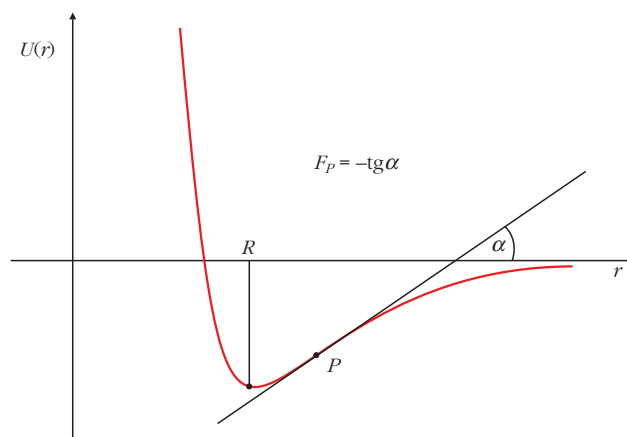
Ezek a kiindulási pontok éppen az ismeretterjesztés érdekében legyenek a választott szaktudományi terület centrális helyei. Ezáltal a továbbiakban több helyen alkalmazhatók, koordinálják a mondanivalót. Innen kezdve a feldolgozás szintjét a nagyobb közérthetőség irányába lehet terelni. Módszertani elvként kimondható egy hasznos észrevétel: ami a tudományban jelenleg aktuális igazság, azt az ismeretterjesztés fokán e tudomány előbbi szintjén megfogalmazott igazság formájá-

ban prezentáljuk. Ezzel igazat mondunk, de egyszerűbben, vagyis kevésbé differenciáltan.

Ismeretterjesztés és fizikatörténeti tanulmányok kiegészíthetik egymást. Fontos azonban, hogy a fizika és fizikatörténet egymást nem helyettesítheti. Ha nem választjuk szét világosan, hamar téves képzetek alakulhatnak ki. Az akár magas szintű narratív fizikatörténet és a fizikai fogalmakra épülő gondolatmenetek más-más célt szolgálnak. A historikus és kronologikus fizika nem fizika, de fontos. Elég sokat kell már tudni magából a fizikából, hogy a fizikatörténeti ismeretterjesztés ne science fiction irányba, illetve ne valamilyen konfúzió felé vigyen. Valójában a fizikatörténet nem is érthető a fizika bizonyos szintű tudása nélkül. Így például *Simonyi Károly A fizika kultúrtörténete* című remekműve nem is olvasható a fizika elég magas szintű tudása nélkül. Ne feledkezzünk meg a fizikatörténeti művek egy jelentős csoportjáról, a fizikai fogalmak kialakulásának történetéről. E területről ajánlható egy alapvető mű: *H. Lange: Geschichte der Grundlagen der Physik I-II.* (1961, Freiburg/München). Igazi összekötő kapocs a fizikai, történelmi és filozófiai szemlélet között. Ebből válogatott szegmenseknek nagy hasznát veheti a fizikai ismeretterjesztés. Az ilyen felfogású fizikatörténeti művek hozzájárulnak a tudományok egységes szemléletéhez, ellentételvezve a nagy differenciálódás által kialakult széttöredezést. Olvasásuk maradandó érzelmeket vált ki és eszményeket teremt.

Ajánlasként olyan problémakört tekintünk, amelyből az ismeretterjesztésben lehetne egy-egy szegmenst bemutatni. Megfelelő módszertani tudással súlypontosítani lehet az eléggé szerteágazó problémát. Egy anyagszerkezeti alapkérdésről, a kémiai kötésről van szó. Sokrétű, csak egyetlen oldalára mutassunk rá, a részecskék kötésének energetikai viszonyaira. Ezen belül is a potenciál helyfüggését leíró görbe igen szemléletes, tömören rámutat a stabilitásra is. Az általános érvényű potenciálfüggvényt az *1. ábra* mutatja. Eszerint a részecskék közötti igen kis távolságban erős tasztító erő jelentkezik, majd egy kritikus R távolságban ez vonzó erőbe csap át. E függvény vizsgálatából még az erők nagysága is leolvasható az r részecs-

1. ábra. A kémiai kötés helyfüggése.



ketávolság függvényében. Az Olvasónak annyit kell itt tudnia, hogy a potenciál r hely szerinti negatív deriváltja a kölcsönhatási erő. E derivált a görbe érintőjének negatív iránytangense az r helyen. Az ábra alapján vizuálisan is nyomon követhető a kölcsönhatási erő nagysága és iránya.

Az előbbi megfontolás ionos molekulák kötésére alkalmazható. Ilyenkor főleg a Coulomb-törvény a döntő és a vonzó U potenciálja meghatározható. Ha tehát két iont tekintünk először, amikor a molekulaion egyszerű ionként fogható fel, a vonzó potenciál integrálással egyszerűen kiszámítható,

$$U_{\text{vonz.}} = \int_{\infty}^r \frac{e_1 e_2}{r^2} dr,$$

amiből

$$U_{\text{vonz.}} = -\frac{e_1 e_2}{r}.$$

Igen kis távolságban (angström) már megjelenik tasztóerő is, amit az elektronfelhők kölcsönhatása okoz, és ez a tapasztalat szerint a két ion közti távolság n -edik hatványával fordítva arányos. Ez a képlet, valamint a teljes kölcsönhatási potenciális energia:

$$U_{\text{tasz.}} = \frac{A}{r^2} \quad \text{és} \quad U_{\text{vonzó}} + U_{\text{tasztó}} = U.$$

Az ionok egyensúlyi távolságát, ami a stabil alakzatra jellemző, az összes potenciális energia minimumhelyének R távolsága adja, vagyis a $dU/dr = 0$ egyenlet megoldása, ami a Born-egyenlet (1918):

$$U = -\frac{e^2}{R} \left(1 - \frac{1}{n} \right).$$

Ez a kötési energia képlete. Kálium-klorid (KCl) esetén például $n = 9$ és $R = 2,67$ angström. Ez esetben a kötési energia, vagyis a molekula szétbontásához szükséges energia $U = 97$ kcal/mol.

Az ábrán jelzett központi potenciálfüggvény alkalmas bonyolultabb kötések elemzésére is, nem csupán két ion között, ahogy kezdetben számoltuk. Itt van jelentősége az előbbi egyszerű esetnek. A molekulák egymás közti kölcsönhatása is leírható így, de ekkor már nemcsak Coulomb-erőkről van szó, hanem az elég bonyolult van der Waals-erőkkel kell számolni. Ezek közül a diszperziós erők, mint intermolekuláris erők vonzást eredményeznek. Főképpen a diszperziós energiajárulék okozza az ábra szerinti potenciálisenergia-görbe vonzást leíró részének $1/r^6$ -os függését. A diszperzióról röviden ezt mondhatjuk: tekintünk például egy nemesgázatomot! Ilyennek gömb-szimmetrikus elektronfelhője van, aminek következtében kifelé semleges. Így két gömb-szimmetrikus töltéssel rendelkező atom vagy molekula nem léphetne kölcsönhatásba egymással. Ez még sincs így, mivel az elektronfelhő elektronjai igen gyors mozgást

végeznek az elektronburokban, így az atom kifelé forgó dipolként viselkedik. Ezért, ha két atom vagy molekula közeledik egymáshoz, amelyek egyébként kifelé semlegesek lennének, mint forgó dipólusok – a kvantummechanika szerint – vonzóerőt gyakorolnak egymásra. Másrészt, ha a molekulák igen közel kerülnek már egymáshoz, az atommagok és elektronok tasztítása érvényesül jobban, ezáltal $1/r^{12}$ -es tasztító potenciált kapunk. A potenciálok összhatásaként adódik az 1. ábra szerinti eredő potenciál, de itt a numerikus paraméterek mások, mint a Born-egyenletnél. Ezt a potenciált Lennard-Jones-potenciálnak hívjuk, mely képletben: $U = -A/r^6 + B/r^{12}$, ahol A és B elég bonyolult konstansok.

Sok vegyület molekulakristály formájában létezik, ahol a rácspontokban molekulák ülnek. Legtöbbjük kovalens kötésben van. Ha ezek molekulaionok is egyben, akkor ionrácsot alkotnak, kötési energiájuk nagy. A konyhasó kristályrácsa Na- és Cl-ionok köbös elrendezésben. Ez esetben itt már nem beszélhetünk különböző molekulákról, hanem a nátrium- és klóronok által alkotott ionrácsról. Itt a rácsenergia viszonylag könnyen kiszámítható, mintpéldája lehet a rácsenergiák meghatározásának. NaCl esetében igen tanulságos lehet konkrétan kiszámítani a rácsenergiát, amely a nevezetes Madelung-állandóhoz vezet. Ez az állandó azt fejezi ki, hogy az ionos molekulával szemben itt a kristályrács minden egyes ionja nem egy ellentétes töltésű ionnal lép kölcsönhatásba (Na- vagy Cl-ionnal), hanem a vizsgált iontól különböző távolságokra lévő pozitív és negatív töltésű ionok sokaságával.

Egy rácstiont kiválasztva meghatározzuk ennek kölcsönhatási energiáját az összes többivel. Ebből már számolható a rácsenergia például kcal/molban vagy joule/molban megadva. Ebben a képletben szereplő állandót nevezik Madelung-állandónak. A NaCl kristály esetén a rács egyik Na-ionjának $r = R$ távolságban (R a rácsállandó) 6 közeli kloridion szomszédja van. A választott ion és ezek között a Coulomb-féle kölcsönhatás energiája:

$$U_1 = -6 \frac{e^2}{R}.$$

A választott iontól nagyobb távolságra 12 Na-ion helyezkedik el; ezek a választott iontól

$$R\sqrt{2}$$

távolságra vannak. Az előbb vonzás uralkodott, most tasztítás és kölcsönhatási energia

$$U_2 = \frac{12 e^2}{R\sqrt{2}}.$$

Így a választott ionnal végigpásztázva az egész kristályt, egy konvergens függvényt kapunk az energiákra, amelynek tagjai szummázhatók, és a választott ion összes többivel való Coulomb-kölcsönhatása kiszámítható:

$$U_k = -a \frac{e^2}{R},$$

ahol a a Madelung-állandó, ami NaCl-ra 1,745. Ez azt jelenti, hogy végül is vonzóerő lép fel a kristály képződésekor és ez viszonylag nagy érték. Megjegyzendő, hogy lineáris kristályláncához egységes Madelung-állandó tartozik: $a = 2 \ln 2$.

A kristályokban helyi gerjesztéssel mechanikai rezgések is ébredhetnek, amelyek longitudinális hullámként terjednek tovább. A fényterjedés fotonjaihoz hasonlóan itt a mechanikai hullámokhoz rendelt kvantumokról, a fononokról beszélhetünk.

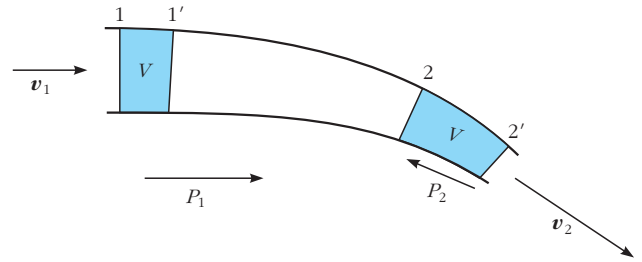
A tudományos ismeretterjesztés jobb körülírására még egy, a hidrodinamikára épített gondolatmenet vázolhatunk. A közelítések szerepéről van szó a Bernoulli-egyenlettel kapcsolatban. Az Euler-féle hidrodinamikai egyenletek írják le a folyadék- és gázáramlást. Ha itt közelítéseket vezetünk be, kapjuk a fontos Bernoulli-egyenletet, miáltal a kapcsolatos matematikai rész nagyon egyszerűsödik. Az Euler-egyenletek vektoroperátorokkal fejezik ki az áramlást. Olyan fogalmi és matematikai közelítéseket kell bevezetni, hogy a fő mondanivaló ne sérüljön. Ez történik, amikor az Euler-egyenletekről áttérünk a Bernoulli-egyenletre. E közelítéseket igen jól kell megválasztani, hogy az áramlás lényeges tulajdonságait ne veszítsük szem elől. Ezek a közelítő feltevések, amelyeket a 18. században már *Bernoulli* bevezetett, a következők: az áramlás stacionárius (a paraméterekben nincs időfüggés), a folyadék inkompresszibilis (sűrűsége mindenhol ugyanaz az áramlási térben), továbbá homogén, valamint örvénymentes. Ezek a feltételek igen sok esetben teljesülnek. Ekkor a Bernoulli-törvény egyszerű alakot ölt:

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h = \text{konstans.}$$

A harmadik tag ebben a felírásban akkor ilyen alakú, ha a külső erő a folyadék súlyából származik. A h jelenti a szintmagasságot, p , v , U a nyomás, sebesség és a potenciális energia. A Bernoulli-egyenlet röviden azt fejezi ki – például vízszintes áramlási cső esetén –, hogy nagyobb sebességű helyen kisebb a statikai nyomás és fordítva. A konstans értéke úgy határozható meg, hogy az áramlási térben két tetszőleges helyre írjuk fel az egyenletet.

Ez az egyenlet elemi úton is közvetlenül levezethető. A levezetés alapja az, hogy az áramlási térben két tetszőleges helyre írjuk fel a munkatételt, amelyből következik a fenti egyenlet. Ez az eljárás középiskolai tananyaggal is követhető az alábbiak szerint.

A Bernoulli-egyenlet előbbi formájában csak örvénymentes áramlásra vonatkozik. A szemléletesség és egyszerűség kedvéért megvizsgálhatjuk, mit ad a Bernoulli-egyenlet, ha az örvényes áramlást pusztán intuitív alapon egy ötlettel vennénk figyelembe; a kiválasztott mozgó folyadéktér fogatban a kinetikai energiához hozzáadjuk e térfogatban lévő folyadéktömeg forgási energiáját is, mivel e mozgó folyadék egyben forog is. Az örvények ilyen módon való meg-



2. ábra. A V elemi térfogat az áramlási cső két végén.

jelentése részben a belső sűrűlódásra is utal, végül is ez okozza az örvényképződést. Így megkerülhetjük az ismeretterjesztésbe nem illő nehéz matematikai részeket. Továbbra is kérdés, milyen mértékű realitással bír ez az ötlet. A munkatétel felírásához úgy jutunk, hogy az áramlási térben egy áramcső mentén egy véges folyadéktér fogatot tekintünk. Ennek mozgása úgy fogható fel, hogy az elején lévő V elemi térfogat egyszerűen átkerül e véges térfogat végére, mivel a közben lévő folyadékkal – energetikai szempontból – valójában semmi változás nem történik.

A kezdeti (1–2) véges térfogat tehát (1'–2')-be vándorol át, ami úgy fogható fel, mintha az elején tekintett (1–1') V térfogat átmenne (2–2')-be (2. ábra). Tehát a munkatétel a V térfogattal kifejezve az (1–2) folyadék térfogatra:

$$\left(\frac{1}{2} \rho V v_2^2 + E_2 \right) - \left(\frac{1}{2} \rho V v_1^2 + E_1 \right) = \\ = \rho V g (h_1 - h_2) - p_2 V + p_1 V.$$

Itt E a folyadékörvény helyi forgási energiája. Ezután osszuk el az egyenletet V -vel, kapjuk, hogy

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \frac{E}{V} + \rho g h = \text{konstans.}$$

Ezen kívül még feltevést kell tenni E konkrét alakjára. Ha a V térfogatot hengerszerűnek képzeljük el, továbbá szimmetriatengelye a lap síkjába esik és merőleges a v sebességre, akkor az örvény energiájára írhatjuk, hogy

$$E = \frac{1}{2} \theta \omega^2.$$

Kicsiny τ idő alatt a V térfogatú folyadék $V\tau$ utat tesz meg. A kis henger sugara $v\tau/2$ -nek vehető. Ekkor

$$\theta = \frac{1}{2} m \left(\frac{v\tau}{2} \right)^2; \quad \omega = 2 \frac{v}{\tau}; \quad m = \rho V.$$

Ezeket egymásba helyettesítve kapunk egy képletet a V -hez tartozó elemi örvény energiájára az 1, illetve a 2 helyen:

$$E = \frac{1}{4} \rho V v^2.$$

Ha ezután ezt a képletet figyelembe vesszük az eredeti Bernoulli-törvényben, akkor hozzávetőlegesen az örvényes áramlást is leíró képletet kapjuk:

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \frac{1}{4} \rho v^2 + \rho g h = \text{konstans.}$$

Jól érzékelhető a különbség a kétféle eredmény között, ha például konkrétan a Torricelli-féle kiömlési törvényt tekintjük. Vízrel telt függőleges helyzetű, h magasságú cső alján oldalt egy nyílást hozunk létre. Mekkora a kiáramló víz sebessége, ha állandó pótlással tartjuk az eredeti vízoszlop magasságát? Ha az eredeti Bernoulli-egyenletet használjuk (felírva azt a felszínre és a kiömlőnyílásra), mint ismeretes a

$$v = \sqrt{2gh}$$

kilépési sebességet kapjuk. Ha viszont az utóbbi képlettel a folyadékörvényeket is megpróbáljuk figyelembe venni, akkor az eredeti v sebesség

$$\sqrt{\frac{2}{3}}$$

-szorososa

adódik; a mozgási energia egy részét a folyadékörvények emésztik fel.

Egy másik ismert jelenség, amikor a kissé nyitott szoba ajtaja szélben hirtelen nagy erővel becsapódik. Ilyenkor az ajtó szegélye és az ajtófélfá között keskeny rés keletkezik, amelyben az áramló levegő felgyorsul. A környező egy atmoszféra nyomású levegő és a résben áramló, sokkal kisebb sztatikai nyomású levegő nyomáskülönbsége elég nagy erőt produkál, amelynek van olyan komponense, ami külön forgatónyomatékokat hoz létre az ajtóra. Itt is kiszámítható a Bernoulli-törvényből adódó sebesség, valamint az örvényes áramlással módosított sebesség. Numerikusan itt is elég nagy különbség adódik, ennek következménye a forgatónyomatékokban is látszik. Ettől függetlenül az ajtó lapjára még a közegellenállástól származó forgatónyomaték is hat.

Az eddigiekben tárgyalt két szakmai illusztráció közelítéseivel és egyszerűsítéseivel a tudományos ismeretterjesztés egy lehetőségét kívántam bemutatni és még azt is, hogy az ismeretterjesztés inkább szakmai alapokra épüljön, ne a látványosságot juttassa túlsúlyra, ami által a tudományos fogalomalkotás sérül(het). A pusztán látványosság nem fizika, hamis képet nyújt magáról a fizikáról.

HOLICS TANÁR ÚR 90 ÉVES

Siposs András
ELTE Apáczai Csere János Gyakorló Gimnázium

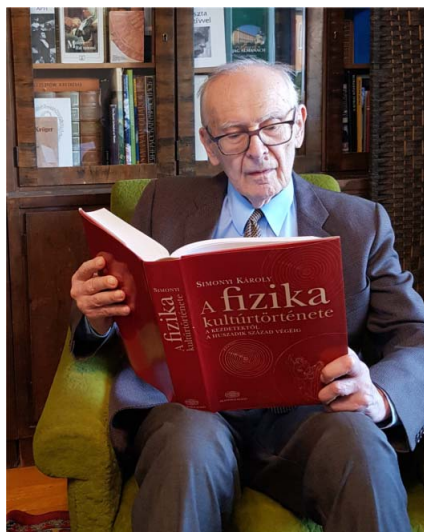
Furcsa *Holics László* tanár úrról születésnapra köszöntőt írni. Fizikatanárok között, ha valaki, ő aztán igazán széles körben ismert és elismert személyiség, illetve nem is: talán inkább nemzeti intézmény. Mindenki tud róla, tevékenységét (legalábbis nevét) mindenki ismeri. Tan- és szakkönyvei, minden szaktárgyi versenyen (Mikola, OKTV, *KöMaL* stb.) felbukkanó feladatai, kitüntetései és díjai (Ericsson, Rátz Tanár úr) révén bizonyára a legismertebb kortárs fizikatanár, nemcsak szakmai körökben, hanem a szélesebb közönség számára is. E „szerepkörben” méltó utóda *Öveges Józsefnek*, *Sas Elemérnek*, *Marx Györgynek*. Éppen e széles ismertség okán hadd legyen köszöntőm személyesebb hangú.

Holics tanár úr több mint fél évszázadot tanított az Apáczai Csere János Gimnáziumban, nemzedékek sorát okítva-nevelve (köztük engem is). Nevéhez fűződik a mindmáig létező és sikeres fizikatagozat megteremtése az iskolában. Az ehhez szükséges szaktantermek kialakítása, a szertár fejlesztése, a demonstrációs eszközök sorának

(nem beszerzése, hanem) elkészítése nemcsak az ő tervei alapján, de jelentős részben kétkezi munkájával is történt. (Egy részük a mai napig használatos.) Szintúgy az iskolában kialakított, a korban egyedülálló zárláncú tévéstudió és -hálózat kiépítése, amelynek révén a tanárjelöltek (vagy akár szakmai érdeklődők) a szokásos néhánynál jóval nagyobb számban követhették a bemutató órákat. Keze alól kikerülő tanítványai és mentorált tanárjelöltjei nemcsak itthon, de szerte a világban helyt állnak hivatásukban, a megkapott szakmai és emberi útravaló birtokában.

A Tanár Úr ugyanis nemcsak tárgyi tudása és igényessége, hanem finom, szolid, halkszavú egyénisége, nyitottsága és egyenessége révén is nagy hatást fejtett ki. Eleganciája hozzá illően visszafogott humorral is párosult: egyszer úgy „jött ki a lépés”, hogy épp április

1-jére esett a következő dolgozat időpontja. Volt némi zúgolódás és készülődés a diákok körében, hogy majd a feladatok megoldása helyett milyen írásműveket adnak be tréfaként, ha már így alakult. Neki is láttak



Holics tanár úr napjainkban otthonában (forrás: www.nool.hu).

nagy komolyan, a tanár úr meg nem értette, a kiadott feladatsoron hogyan lehet ennyire elmélyülten dolgozni, mire hosszú percek múltán végre valaki rápillantott a példákra. Afféle kérdések sorakoztak, mint például: *Mekkora azon képszög gyorsulása, amelyen egy 2,3 kg tömegű Rembrandt-festmény lóg?...*

Úgy alakult az élet, hogy fizikatanárként magam is visszatértem az Apáczaiba. Közösen is tanítottunk pár

évet, azóta pedig, hogy a tanár úr tíz éve (80 évesen...) felhagyott a napi iskolai munkával (de töretlen szorgalommal dolgozik könyvein, feladatain, a versenybizottságokban stb.), én ülök egykori helyén, asztalánál. Nagy kihívás megfelelni a „hely szellemének”, de komolyan mondom, érzem a minden zugból kiáramló támogató erőt.

Isten éltesse még sokáig, Tanár Úr!

VÁLASZLEVÉL A SZERKESZTŐSÉGNEK

Holics László
Budapest

Tisztelt Szerkesztőség!

A *Fizikai Szemle* elmúlt év októberi számába írt cikkem arról szólt, hogy sok tankönyvben helytelen állítást fogalmaznak meg a síktükör képalkotásáról. Ez az állítás a következő:

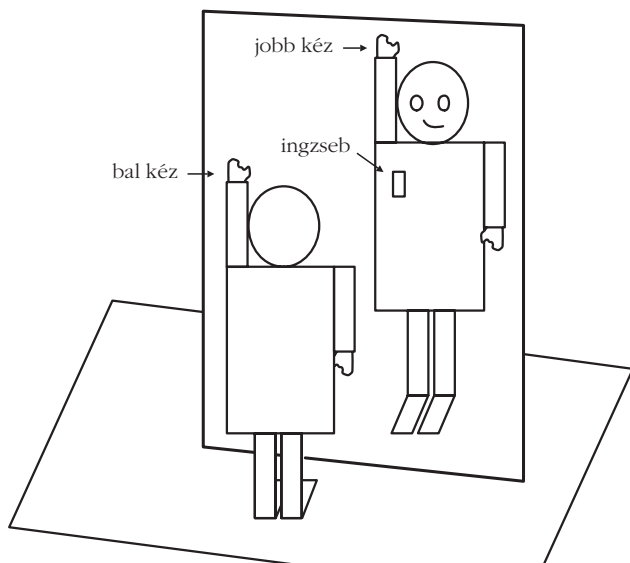
„A síktükör által alkotott kép:

- a tárggyal azonos állású
- a tárggyal megegyező nagyságú
- látszólagos
- a jobb és bal oldalakat felcseréli”.

Az általam felsorolt könyvek között szerepelt Zátónyi Sándor: *Fizika a 8. évfolyam számára* az Oktatás-kutató és Fejlesztő Intézet, Budapest kiadásában.

Zátónyi Sándor könyvében a közölt képaláírásban ugyan nem szerepel explicit kijelentés formájában a fenti négy állítás, de a kérdésfeltevésben benne van a (helytelen) válasz: *csak azt lehet válaszolni*, hogy a bal kezével nyúl a fiatal nő a hajához, noha a valóságos személy a jobb kezét emeli a hajához, különben értelmetlen lenne maga a kérdés.

1. *ábra*. A következtelen tükör itt csupán a bal-jobb irányokat cseréli fel!



Tehát igenis azt fogalmazza meg a válasz, hogy a bal és jobb oldalt a tükör felcseréli.

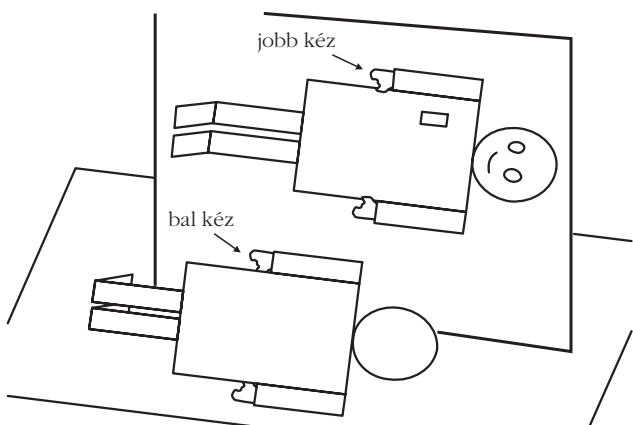
A valóság pedig az, hogy a tükörkép alkotta személy *nem is létezik!* Állításom szemléltetésére két abszurd következtetést mutatok be a síktükör képalkotásáról kialakított helytelen állításról.

1. Képzeld el, hogy egy ingben álló férfi áll a tükör előtt, aki felemeli a bal kezét! Ott látszik az ing zsebe a felemelt kéz oldalán. Ha a képen látott személy létezne, aki a jobb kezét emeli (1. *ábra*), az csak úgy lenne lehetséges, hogy hirtelen átöltözött volna, és olyan (Európában nem használatos) férfiinget váltott volna, amelynek a jobb kezéhez eső oldalon lenne az ingzebe.

2. Ha igaz lenne, hogy a tükörkép valóságos személy, de a tükör a fent-lent irányt nem, de a bal-jobb irányt felcseréli, ugyan mit kellene mondani annál a tükörképnél, amely egy olyan személyt, aki a tükörrel párhuzamos helyzetű kanapén a jobb kezén fekvé néz a tükörbe? A képen a fej fej mellett, a cipő a cipő mellett jelenne meg, de a tükörképi ember a bal kezén fekszik, a jobb van felül. Most tehát a következtelen síktükör a bal-jobb irányokat nem, de a fent-lent irányokat cseréli fel (2. *ábra*)! Ugyan miféle csodatükör a síktükör?

Zátónyi Sándor könyvében szereplő kérdésre csak egyértelmű és helytelen választ lehet adni.

2. *ábra*. A következtelen tükör itt viszont csak a fent-lent irányokat cseréli fel!



A 2020. ÉVI EÖTVÖS-VERSENY EREDMÉNYHIRDETÉSE

Tichy Géza – ELTE Anyagfizikai tanszék
Vankó Péter – BME Fizika tanszék
Vigh Máté – BME Fizika tanszék

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 2020. évi Eötvös-versenyének ünnepélyes eredményhirdetésére és a díjkiosztásra 2020. november 20-án délután került volna sor, az eredeti meghívó¹ szerint az ELTE TTK Konferenciateremben. A járványhelyzet miatt az ünnepséget a szokásos formában nem lehetett megtartani, így mindazt, ami ott elhangzott volna, ebben a formában adjuk közre.

Az idei verseny díjazottain kívül az eseményre meghívást kaptak az 50 és a 25 évvel ezelőtti Eötvös-verseny nyertesei is. Először az akkori feladatokat mutatjuk be.

Az 1970. évi Eötvös-verseny feladatai

1. feladat

Egyenes körhenger fele ezüstből, fele alumíniumból készült, ezért súlypontja az $R = 10$ cm-es rádiusz középponttól mért negyedében van. A henger tengelyét vízszintesen csapágyazzuk és abban a helyzetben, amikor súlypontja a legmélyebben van, a kerületére csavart fonál végére egy tömeget akasztunk, azután a szerkezetet elengedjük. Mennyi a henger szögsebessége egy teljes fordulat után, ha a lelógó m_1 tömeg

- a henger m tömegével egyenlő,
- a henger tömegének nyolcada?

2. feladat

A repülőgép állandó sebességű vízszintes repüléséhez szükséges tolóerő $F = k_1 A v^2$. A szárnyfelület által létrehozott emelőerő $Q = k_2 A v^2$. (Q a repülőgép súlya, A a szárnyfelület nagysága, v a sebesség.) A szárnyfelület súlya $k_3 A$, ehhez járul a teher Q_0 súlya. Mekkora teljesítmény kell a repülőgép mozgásban tartásához? Mikor minimális a teljesítmény? Képes-e az ember izomerejével repülni? Ekkor $k_1 = 0,001 \text{ kp} \cdot \text{m}^{-2} \cdot (\text{m/s})^{-2}$, $k_2 = 25 k_1$, $Q_0 = 100 \text{ kp}$, $k_3 = 2 \text{ kp/m}^2$.

¹Meghívó: http://eik.bme.hu/~vanko/fizika/eotvos/Eotvos_2020_meghivo.pdf



Tichy Géza, a fizikai tudomány doktora, az ELTE professzor emeritusa, korábbi tanszékcsoport- és tanszékvezetője. Kutatási területe a szilárdtest- és anyagfizika. Az egyetemi oktatásban a fizika szinte valamennyi területéről tartott előadásokat. Tevékenységének fontos része az utánpótlás nevelése és a tehetséggondozás.

3. feladat

0,5 mm széles rést 20 cm-es gyújtótávolságú lencsével, a lencsétől 100 cm-re levő ernyőre képezzük le olyan fényel, amely 0,4 μm hullámhosszúságú kék és 0,6 μm hullámhosszúságú piros fény keveréke. A lencsére 0,04 mm rácsállandójú optikai rácsot helyezünk. Mit látunk az ernyőn?

Az 1970-es verseny díjazottjai

Első díjat nyert *Blabó Gábor*, a budapesti Eötvös Gimnázium IV. osztályos tanulója, *Zentai Károly* tanítványa és *Harmat Péter*, az ELTE fizikus hallgatója, aki a mosonmagyaróvári Kossuth Gimnáziumban érettségizett, mint *Krajnik József* tanítványa.

Második díjat nyert *Bajmóczy Ervin*, a budapesti Fazekas Gimnázium IV. osztályos tanulója, *Hutai Ferenc* tanítványa és *Tichy-Rács Ádám*, a budapesti Eötvös Gimnázium IV. osztályos tanulója, *Zentai Károly* tanítványa.

Harmadik díjat nyert *Mosó Tamás*, a budapesti Eötvös Gimnázium IV. osztályos tanulója, *Zentai Károly* tanítványa.

Az 1995. évi Eötvös-verseny feladatai

1. feladat

kitűzte: *Károlyházy Frigyes*

Egy négyzet alakú, $l = 3$ m széles kísérletező asztal felszíne sík, $d = 1$ m szélességű közepső sávját azonosan állandó $v = 3$ m/s sebességgel mozgó (végtelenített) gumiszalag képezi, amely pontosan illeszkedik



Vankó Péter egyetemi docens a BME Fizika Tanszéken. A fizika szakos hallgatók oktatása mellett középiskolások tehetséggondozásával foglalkozik, több nemzetközi tanulmányi versenyen a magyar csapat egyik vezetője és felkészítője. Korábban néhány éves kutatói pálya után közel két évtizeden át középiskolában is tanított. Az Eötvös-verseny gimnazista kora óta közel áll a szívéhez, nyolc éve tagja a versenybizottságnak.



Vigh Máté a BME Fizika Tanszékének egyetemi adjunktusa. Az oktatást, tehetséggondozást és a versenyszervezést szívügyének tekinti. Az Eötvös-verseny bizottságának 2010 óta tagja.

az asztallap nyugvó felszínéhez. Az asztal egyik szélének közepére egy kicsi, lapos korongot fektetünk, és megütjük úgy, hogy $u = 4$ m/s sebességgel kezdjen csúszni (merőlegesen) a szalag felé. Az asztallap álló része és a korong közötti súrlódás elhanyagolható, a gumiszalag és a korong közötti súrlódási tényező $\mu = 0,5$.

Hol esik le a korong az asztrólól?

2. feladat

kitűzte: *Varga István*

Két vékony, koncentrikus, szupravezető gyűrű a síkjukra merőleges, homogén mágneses térben helyezkedik el. A mágneses indukció vektorának nagysága B_0 , iránya a papír síkjába befelé mutat. A belső gyűrű sugara sokkal kisebb a külsőénél ($R_1 \ll R_2$). Az egyes gyűrűk induktivitása L_1 , illetve L_2 , és a kölcsönös indukció sem hanyagolható el.

Mekkora és milyen irányú áramok indukálódnak az egyes gyűrűkben, ha a külső mágneses teret megszüntetjük?

3. feladat

kitűzte: *Radnai Gyula*

Lézerből jövő, keskeny, vízszintes fénynyalábbal világítjuk meg a függőleges, nagyon keskeny rés közepső tartományát.

a) Mit látunk a rés mögötti, a lézersugár irányára merőlegesen elhelyezett ernyőn?

b) Hogyan változik meg az ernyőn látható kép, ha a rést vízszintes középvonala körül φ szöggel elforgatjuk? (Legyen például $\varphi = 45^\circ$.)

(A rést tekinthetjük egymáshoz nagyon közeli, egymástól egyenlő távolságra levő piciny lyukak sorozatának. Az ernyő elég távol van a réstől.)

Az 1995-ös verseny díjazottjai

Első díjat nyert *Tóth Gábor Zsolt*, a budapesti Árpád Gimnázium IV. osztályos tanulója, *Vankó Péter* tanítványa.

Második díjat nyert *Bárász Mihály*, a Fazekas Mihály Fővárosi Gyakorló Gimnázium IV. osztályos tanulója, *Horváth Gábor* tanítványa, *Lengyel Krisztián*, az ELTE fizikus hallgatója, aki Cegléden, a Kossuth Lajos Gimnáziumban érettségizett, mint *Tűri László* tanítványa és *Lovas Rezső*, a KLTE Gyakorló Gimnáziumának IV. osztályos tanulója, *Dudics Pál*, *Kirsch Éva* és *Szegedi Ervin* tanítványa.

Harmadik díjat nyert *Fazekas Péter*, az ELTE Apáczai Csere János Gyakorló Gimnáziumának IV. osztályos tanulója, *Flórik György* tanítványa, *Hegyes István*, a nyíregyházi Kossuth Lajos Evangélikus Gimnázium IV. osztályos tanulója, *Módis Ákos* tanítványa, *Szabó János Zoltán*, az BME műszaki informatika szakos hallgatója, aki Budapesten, az ELTE Apáczai Csere János Gyakorló Gimnáziumában érettségizett, mint *Zsigri Ferenc* tanítványa és *Varga Dezső*, az ELTE fizikus hallgatója, aki a miskolci Földes Ferenc Gimnáziumban érettségizett, mint *id. Szabó Kálmán* tanítványa.

Az 50 évvel ezelőtti verseny díjazottjai közül Harmat Péter és Tichy-Rács Ádám, a 25 évvel ezelőtti díjazot-

tak közül Lovas Rezső, Tóth Gábor Zsolt és Varga Dezső küldött üzenetet.

Harmat Péter:

A gimnáziumban, ahol érettségiztem, nem volt kiváló fizikatanárom, ahhoz sem szoktam hozzá, hogy órán 5 percnél hosszabb ideig halljak újdonságot. A *Középiskolai Matematikai Lapok* Fizika Rovatán „nevelkedtem”, emellett szerencsére a gimnáziumom igazgatója egy-egy megyei fizika szakkörre azért el-elküldött. Egy szerencsés OKTV 10. helyezés nyomán mindez elég volt ahhoz, hogy 1970 szeptemberében elkezdjem tanulmányaimat az ELTE TTK fizikus szakán.

Ez kész dráma volt! Itt aztán hallhattam 45 percen át új és új dolgokat! Eleinte figyelni sem bírtam ennyit egyfolytában. Évfolymtársaim ráadásul szépen bólogtattak, mint akik értik a dolgokat, én meg bizony nem mondhattam, hogy mindent...

Ráadásul a kollégiumban is „rossz társaságba keveredtem”. Volt ott egy csoporttársam, Sanyi, aki szintén vidéki gimnáziumból jött. Sanyi nem ért el olyan versenyeredményeket, mint én, de amikor a tananyagot értelmeztük, vagyis együtt tanultunk, nekem hamar leesett, hogy Sanyi vagy jobban halad, mint én, vagy legfeljebb egyformák vagyunk. És ráadásul, amikor szó esett a jövőről, Sanyi azt mondta, hogy az ő célja ebben az első félévben csak annyi, hogy benn maradjon. Na ez már sok volt! Ott voltak a bólogató évfolyamtársak és ez az okos Sanyi, akinek már az is jó, ha nem bukik ki. Mi lesz itt velem?

Eljött az Eötvös-verseny őszi napja, hát becsületből elmentem. A kollégium szomszédjában volt a Puskin utcai épület, ahol írtuk. Jó érzés volt a középiskolás feladatmegoldó rutint feleleveníteni! Ez újra az a világ volt, ahol egyszerűbbek és tisztábbak voltak számomra a fogalmak. De aztán megint jöttek az egyetemi hétköznapiak, és a vektorszámítás tantárgyunk anyaga igencsak próbára tett! Pont ZH-írás előtt három nappal menjek el egy eredményhirdetésre? Nem igazán éreztem azidőtájt, hogy valami is tutira sikerülhet. Nem, az luxus lenne, megyek inkább a könyvtárba és ott készülök a ZH-ra!

Este, amikor hazaértem a kollégiumi szobámba, ott várt az első díj. *Horváthy Péter* barátom hozta el nekem. Ő – az előélete alapján jogosan – számított rá, hogy valamilyen díjat csak kap. Neki az maradt, hogy az enyémet, a kishitűét, az önbizalom nélküliét vegye át helyettem.

És mi lett a félévünkkel? Vajon kibukott-e Sanyi? Persze mind a ketten jeles félévet zártunk, hiszen szorgalmasan hajtottunk, és hajtottuk nem csak magunkat, hanem egymást is! Ez a történet már eddig a pontig is mutatja, hogy az akkori csoportrendszer, együtt-tanulás, gondolatcsere, jó társaság milyen hasznos képzési „eszközök” voltak számunkra. A további féléveink során pedig láthattam, ahogy a professzor úr – hát igen, azóta eltelték az évek, és Sanyi a BME egy igen népszerű egyetemi tanára lett – az évfolyam legjobb eredményét éri el. De ezt akkor még ki gondolta volna?

Tichy-Rács Ádám:

1970 őszén az Eötvös Gimnáziumból hazafelé a 86-os buszon összefutottam *Pollák Tamással*, aki érdeklődött, hogy szombaton elmegyek-e az Eötvös-versenyre. Korábban már hallottam a versenyről, de nem különösebben tartottam számon. Másnap elmondtam a hírt Zentai Károly tanár úrnak. A beszélgetések hatására az osztályunkból, azaz az Eötvös József Gimnázium második matematika–fizika tagozatos osztályából tizenhárman vettünk részt szombaton az ELTE TTK XX. termében. Mivel mindent használhattunk, az egyik feladat megoldásához a helyszínen tanultam meg a legfontosabb összefüggéseket.

Végül az osztályunkból első díjas lett Blahó Gábor, én kaptam második díjat, Mosó Tamás harmadik díjat nyert. A másik két díjazott Harmat Péter lett Mosonmagyaróvárról, illetve Bajmóczy Ervin volt, akit még általános iskolás koromból ismertem egy szakkörrel.

Mi hárman a 700, 500, illetve 400 Ft-os pénzdíj egy részét összeadtuk, vettünk belőle egy üveg márkás italt, és bevittük Karcsi bácsinak az Eötvös Gimnáziumba, hiszen ő szombat délután az eredményhirdetés ideje alatt még tanított az esti tagozaton.

Blahó Gábor vegyész mérnök lett. Jelenleg az Egyesült Államokban él, találmányára alapozva sikeres vállalkozást vezet. Mosó Tamás a Műegyetem műszer- és szabályozástechnika szakán végzett. A Mechanikai Mérőműszer Gyárban, majd a Prolan részvénytársaságban dolgozott vezetőként, illetve ipari szoftverek fejlesztőjeként. Jelenleg súlyos beteg. A másik két díjazott közül Harmat Péter fizikus lett. Ő is az MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézetében dolgozott, ahol akadt közös munkánk is. A MÜFI után az MFA-ban dolgozott, majd megalapította az ANTE Innovatív Technológiák Kft.-t. Vele mostanában nem találkoztam. Bajmóczy Ervint a Fazekas Gimnáziumban is kiemelkedő tehetségnek tartották. Annyit tudok, hogy matematikus lett, de ahogy Horváthy Péter visszaemlékezésében olvastam, valami történthetett vele.

Nekem annyit jelentett az Eötvös-verseny, hogy felvételi nélkül felvettek az ELTE TTK fizikus szakára, ahova a verseny nélkül valószínűleg nem vettem volna fel a származásom miatt. (Akkor még ez is számított.) Az egyetem elvégzése után két évig az ELTE-n maradtam doktori ösztöndíjasként. Utána tizennégy évig az MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézetében dolgoztam, nagyrészt egy egészen kiváló haditechnikai mérőműszer fejlesztésén. A munkámnak ez a része nem jelenhetett meg publikációkban, ami a tudományos előmenetel szempontjából nem volt túl szerencsés. 1992-től hat évig fizikát tanítottam egy középiskolában. 1998-ban az Országos Műszaki Információs Központ és Könyvtárba (OMIKK-ba) mentem dolgozni, és a könyvtárral együtt 2001-ben a BME-re kerültem. Különbféle munkakörök betöltése után onnan mentem nyugdíjba 2016 végén.

A tanulmányi versenyek közül az Eötvös-versenyt becsülöm legjobban, pedig részt vettem a *KöMaL* versenyein, OKTV-ken, diákolimpián. A versenyeket az

elmúlt húsz évben különösen nagy figyelemmel kísérem. Előfordult, hogy egy észrevételem nyomán a versenybizottság ismételtén átnézte a dolgozatokat, mert a hivatalosan közölt megoldásban hibát találtam. Ahogy mindig, 2020-ban is valódi fizikai gondolkodás kellett a versenyfeladatok megoldásához. Idén mindhárom feladat nagyon érdekes volt. A mechanika feladat szerintem az egyik legszebb a verseny történetében, miközben a megoldás három sorban leírható. Érdeklődéssel várom, hány jó megoldást adtak be.

Lovas Rezső:

Az 1995-ös Eötvös-versenyen kapott díjam a legfontosabb elismerés, amit középiskolai éveim alatt idehaza kaptam. Ez adott erőt és lelkesedést a fizikával való további foglalkozáshoz, aminek eredménye többek között az 1996-os Nemzetközi Fizikai Diákolimpián szerzett bronzérem lett. 1996 és 2001 között Debrecenben jártam egyetemre, 2001-ben fizikusként végeztem. Azóta más irányt vett a pályám, differenciágeometriai témából doktoráltam, és most is a Matematikai Intézetben dolgozom Debrecenben. Kutatómunkám során ugyan kevés konkrét fizikai indítással problémával találkozom, de kapcsolatom a fizikával nagyban hozzájárult a matematika története utóbbi 350 évének és a matematikai problémák gyökerének mély megértéséhez, valamint a szimmetria, az absztrakt szépségek iránti vonzódásom kialakulásához. Mindezek nagyban meghatározzák tanítási stílusomat is.

Tóth Gábor Zsolt:

Diákként elsősorban a matematika és a fizika iránt érdeklődtem, és tanulmányi versenyeken is rendszeresen részt vettem, gyakran jó eredménnyel. Az egyik legnehezebb és legnagyobb hagyományokkal rendelkező verseny az Eötvös-verseny volt, az ezen elnyert első díjat nagy eredménynek tartottam, amely megerősítette azt a törekvésemet, hogy a fizikusi pálya felé haladjak tovább.

Ennek megfelelően a gimnázium befejezése után az ELTE fizikus szakán folytattam tanulmányaimat. A diploma megszerzése után elvégeztem a fizika doktori iskolát is, szintén az ELTE-n. Ezután posztdoktori ösztöndíjasként két évig a trieszti SISSA (Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati) intézetben dolgoztam, jelenleg pedig a Wigner Fizikai Kutatóközpont tudományos munkatársa vagyok. Elsősorban mindig az elméleti fizika érdekelt, eddigi kutatói tevékenységem során főleg 1+1-dimenziós kvantumtérelmélettel és általános relativitáselméleti problémákkal foglalkoztam.

Varga Dezső:

Az Eötvös-verseny időpontjával is és stílusában is egyedi volt. 25 évvel ezelőtt már egyetemistaként vettem részt rajta – és ahhoz hogy az eredményem az előző évinél jelentősen rosszabb volt, hozzájárult nem kis részben az egyetemen kinyílt távlat okozta sokkhatás. Az Eötvös-verseny számomra mindig a „közép-

iskolás” stílusú jól beazonosítható lépéseket követő feladatok helyett a valódi gondolkodást jelentette, de még az egyetemnél kisebb háttértudással. Egy lépés, hogy valamikor később kutatóvá váljak.

Ezután áttérünk az ideai versenyre. A 2020. évi Eötvös-verseny október 9-én délután 3 órai kezdettel tizennégy magyarországi helyszínen² került megrendezésre. Külön köszönettel tartozunk mindazoknak, akik ebben szervezéssel, felügyelettel a segítségünkre voltak. A versenyen a három feladat megoldására 300 perc állt rendelkezésre, bármely írott vagy nyomtatott segédeszköz használható, de zsebszámológép kivül minden elektronikus eszköz használata tilos volt. Az Eötvös-versenyen azok vehetnek részt, akik vagy középiskolai tanulók, vagy a verseny évében fejezték be középiskolai tanulmányaikat. Összesen 48 versenyző adott be dolgozatot, 11 egyetemista és 37 középiskolás.

Következnek a verseny feladatai és a feladatok megoldásai. Az 1. feladat megoldását *Tichy Géza*, a 2. feladatét *Vigh Máté*, a 3. feladatét *Vankó Péter* ismerteti.

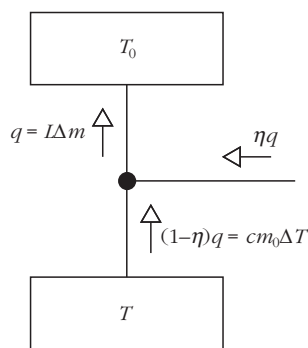
A 2020. évi Eötvös-verseny feladatai

1. feladat kitűzte: Tichy Géza
Egy m_0 tömegű, állandó c fajhőjű minta hőmérséklete kicsivel a nitrogén T_0 forráspontja alatt van. Rendelkezésünkre áll m tömegű, forrásban lévő folyékony nitrogén és egy hőszivattyú. Mekkora minimális hőmérsékletre lehet lehűteni a mintát, mire elforr az összes nitrogén? A nitrogén forráshője L .

Megoldás

Egy $\eta = (T_2 - T_1)/T_2$ hatásfokú, hőerőgépként üzemeltetett Carnot-féle körfolyamat esetén a felső hőtartályból kivett hő η -ad része, mint munkavégzés jelenik meg, $(1 - \eta)$ -ad része pedig az alsó hőtartályba kerül. Hőszivattyúként üzemeltetve munkát kell befektetnünk, az alsó hőtartályból szivattyúzunk át az energiát a felsőbe, azaz a hő előjele ellenkezőre változik.

A Carnot-körfolyamat általában úgy találkozunk, hogy a gép két állandó hőmérsékletű hőtartály között működik. Feladatunkban a Carnot-gép felső hőtartálya a forrásban lévő nitrogén, amelynek hőmérséklete végig T_0 , az alsó hőtartály pedig a minta, amely viszont lassan hűl, T hőmérséklete nem állandó. Egy ciklus során azonban a minta hőmérséklete állandónak tekinthető.



²Részletek a verseny honlapján: <http://eik.bme.hu/~vanko/fizika/eotvos.htm>

Ebből a lassan változó hőmérsékletű hőtartályból vonunk el egy kis lépésben $cm_0\Delta T$ hőt. Ez a hő a felső hőtartályba érkező q hőnek

$$1 - \eta = 1 - \frac{T_0 - T}{T_0} = \frac{T}{T_0} \text{-szorososa,}$$

ahogy az *ábrán* is látható.

Ha Δm mennyiségű nitrogén forrt el, akkor a felső hőtartálynak $L\Delta m$ hőt kellett kapnia. Ebből a

$$cm_0\Delta T = \frac{T}{T_0} L\Delta m$$

összefüggéshez jutunk. Ez a

$$\frac{cm_0 dT}{T} = \frac{L dm}{T_0}$$

differenciális összefüggéséhez vezet. Ezt kell integrálni a kezdeti állapottól a végső állapotig. Az alsó hőtartály T hőmérséklete T_0 -tól T_{\min} -ig hűl, és közben a folyékony nitrogén tömege m -ről nullára csökken. Tehát

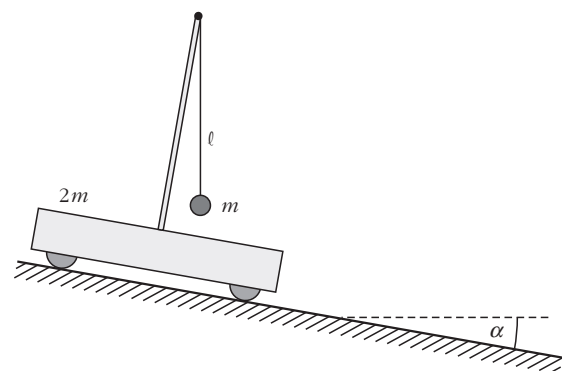
$$cm_0 \ln \frac{T_0}{T_{\min}} = \frac{L m}{T_0},$$

amiből a keresett minimális hőmérséklet

$$T_{\min} = T_0 e^{-\frac{L m}{T_0 c m_0}}.$$

Megjegyzés: aki tudja, hogy a Carnot-körfolyamat közben az entrópia állandó, és ismeri az entrópia kifejezéseit, az azonnal megkapja az integrálásból kapott összefüggést.

2. feladat kitűzte: Vigh Máté
Könnyen gördülő, $2m$ tömegű kiskocsira egy árbcoc van rögzítve, aminek felső végére ℓ hosszúságú fonállal egy m tömegű kis golyót függesztettünk. A kiskocsit egy nem túl meredek, α hajlásszögű lejtőre helyezzük, majd megvárjuk az inga lengéseinek lecsillapodását, és végül a kocsit elengedjük.



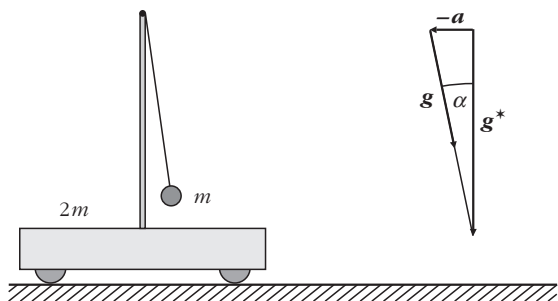
a) A mozgás során mennyire tér ki a fonál a függőlegestől?

b) Mekkora utat tesz meg a kiskocsi, amíg a fonál újra függőlegessé válik?

Megoldás

Az ingából és kiskocsiból álló rendszerre lényegében csak a nehézségi erő és a lejtőre merőleges irányú kényszererők hatnak, hiszen a kerekek gyorsuló forgásához szükséges tapadási súrlódási erőt a „könnyen gördülő” kifejezés miatt elhanyagolhatjuk. Lejtőirányú komponense csak a nehézségi erőnek van, ezért a rendszer tömegközéppontja a lejtővel párhuzamos irányban állandó, $g \sin \alpha$ gyorsulással mozog. A tömegközéppont a mozgás során a lejtőre merőleges irányban is gyorsul, ez azonban a további gondolatmenet szempontjából nem lényeges.

Üljünk bele a zérus kezdősebességű, a lejtővel párhuzamosan $|\mathbf{a}| = g \sin \alpha$ nagyságú gyorsulással mozgó vonatkoztatási rendszerbe! Egy gyorsuló rendszerben bármely m' tömegű testre a Newton-törvények csak úgy maradnak érvényben, ha a valójában rá ható (kölcshatásból származó) erők mellett bevezetjük a rendszer \mathbf{a} gyorsulásával ellentétes irányú, $-\mathbf{m}'\mathbf{a}$ tehetetlenségi erőt is. A $-\mathbf{m}'\mathbf{a}$ tehetetlenségi erő és az $\mathbf{m}'\mathbf{g}$ nehézségi erő vektori összege $\mathbf{m}'\mathbf{g}^*$ alakban is felírható, ahol $\mathbf{g}^* = \mathbf{g} - \mathbf{a}$. A gyorsuló rendszerben tehát minden test úgy mozog, mintha egy \mathbf{g}^* effektív nehézségi gyorsulású erőterben helyezkedne el. Esetünkben a vonatkoztatási rendszer \mathbf{a} gyorsulása éppen megegyezik a \mathbf{g} nehézségi gyorsulás lejtőirányú összetevőjével, ezért az effektív \mathbf{g}^* nehézségi gyorsulás a lejtőre merőleges irányú, nagysága pedig $g \cos \alpha$. Mivel a gyorsuló rendszerben \mathbf{g}^* határozza meg a függőleges irányt, célszerű a feladat ábráját elforgatni, ahogy az alábbi rajzon is látható.



A mozgást a gyorsuló vonatkoztatási rendszerünkben elemezve azt látjuk, hogy a kiskocsi és az ingatest nyugalomból indul, az inga kezdeti szögkitérése \mathbf{g}^* irányától mérve jobbra éppen α . Az inga lengése során a rendszer tömegközéppontja külső lejtőirányú erő hiányában nem mozdul el, így mind a kiskocsi, mind pedig az ingatest mozgásba jön. A mechanikai energia megmaradásából és a tömegközéppont-tételből következik, hogy az inga szögkitéréseinek legnagyobb értéke \mathbf{g}^* -hoz viszonyítva a túlsó oldalon szintén α lesz, ami akkor következik be, amikor a kiskocsi és az ingatest először áll meg. Ez azt jelenti, hogy az eredeti vonatkoztatási rendszerben az inga a kezdeti helyzetéhez képest (azaz \mathbf{g} -hez viszonyítva) maximálisan 2α szöggel tér ki. Ezzel a feladat a) kérdésére válaszoltunk.

Térjünk most rá a b) részre. A gyorsuló rendszerben az ingatest és a kiskocsi is periodikus mozgást végez az egyensúlyi helyzet körül, amelyben az inga fonala éppen párhuzamos \mathbf{g}^* -gal. Az inga legkorábban T periódusidő múlva érkezik vissza a kiindulási helyzetbe. Ebben a pillanatban a tömegközéppont elmozdulása

$$s = \frac{1}{2} g \sin \alpha \cdot T^2,$$

és ugyanekkora a kocsi elmozdulása is, hiszen a kocsi relatív helyzete a tömegközépponthez viszonyítva éppen ugyanaz, mint az indítási állapotban volt. Feladatunk tehát a rezgés T periódusidejének meghatározása.

A gyorsuló rendszerben a tömegközéppont megmaradása miatt a kocsi kitérése minden pillanatban feleakkora és ellentétes irányú, mint az ingatest lejtővel párhuzamos irányú kitérése. Ezért a fonál felső harmadolópontja lényegében nem mozdul el (valójában a lejtőre merőleges irányban mégis, de elhanyagolható mértékben). Az ingatest tehát úgy mozog a $|\mathbf{g}^*| = g \cos \alpha$ nehézségi gyorsulású erőterben, mintha egy $2l/3$ hosszúságú fonálra lenne felfüggesztve. Egy ilyen inga lengéseideje *kis kitérések* esetén:

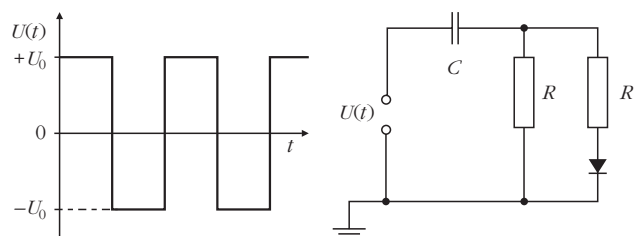
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{2l}{3g \cos \alpha}}.$$

Vajon alkalmazható-e most ez az összefüggés? A feladat szövege szerint a lejtő *nem túl meredek*. Egy 45° -os lejtő már elég meredeknek számít, de az ekkora szögben kitérített inga lengéseideje is csak körülbelül 4%-kal nagyobb a fenti képlettel számolt lengésidőnél. Ha a lejtő csak 30° -os, az eltérés 2%-nál is kisebb. Jó közelítéssel tehát azt mondhatjuk, hogy a kocsi elmozdulása addig a pillanatig, amíg az inga újra függőlegessé válik

$$s \approx \frac{1}{2} g \sin \alpha \cdot 4 \pi^2 \frac{2l}{3g \cos \alpha} = \frac{4 \pi^2}{3} l \operatorname{tg} \alpha.$$

3. feladat

Kitűzték: Vankó Péter és Vigh Máté
Egy ideális diódából, két $R = 2 \text{ k}\Omega$ nagyságú ellenárlásból, egy kezdetben töltetlen, $C = 100 \text{ }\mu\text{F}$ kapacitású kondenzátorból és egy feszültséggenerátorból az



ábrán látható kapcsolást állítottuk össze. A feszültséggenerátoron $f = 5 \text{ kHz}$ frekvenciájú, $+U_0$ és $-U_0$ között változó szimmetrikus négyszögjelet állítunk be, ahol $U_0 = 3,6 \text{ V}$.

a) Mekkora maximális feszültségre töltődik fel a kondenzátor?

b) A kondenzátor töltetlen állapotától számítva körülbelül mennyi idő után éri el a kondenzátor feszültsége a maximális érték felét?

Megoldás

A kapcsolásban félperiódusonként felváltva $+U_0$ és $-U_0$ feszültséget kapcsolunk egy soros RC -kapcsolásra, ahol a kondenzátor kapacitása mindvégig C , az ellenállás pedig az áramiránytól függően $R_1 = R/2$, illetve $R_2 = R$. Jól ismert, hogy ha egy töltetlen, C kapacitású kondenzátorból és egy R ellenállásból álló soros RC -kapcsolásra U_0 feszültséget kapcsolunk, akkor a kondenzátor feszültsége az

$$U(t) = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

függvény szerint változik, ahol az időállandó $\tau = RC$.

Vegyük észre, hogy a mi esetünkben az (egyik) időállandó $\tau = RC = 0,2$ s (a másik ennek fele), a négyszögjel periódusideje pedig $T = 1/f = 0,2$ ms, és így $T \ll \tau$. Emiatt egy félperiódusnyi idő alatt a töltődő kondenzátor feszültsége nagyon jó közelítéssel lineárisan változik.

Legyen a kondenzátor feszültsége egy adott időpillanatban $U_C(t)$, a kondenzátoron átfolyó áram pedig $I(t)$. A négyszögjel első félperiódusában (amikor a dióda nyitva van és mindkét ellenálláson folyik áram)

$$U_0 - U_C = R_1 I_1(t) = \frac{R}{2} I_1(t),$$

amiből

$$I_1(t) = \frac{2}{R} [U_0 - U_C(t)].$$

Egy félperiódus alatt ez az áram

$$I_1(t) \frac{T}{2}$$

töltést szállít a kondenzátorra, így a kondenzátor feszültségének megváltozása

$$\begin{aligned} \Delta U_C(t) &= \frac{1}{C} I_1(t) \frac{T}{2} = \frac{T}{RC} [U_0 - U_C(t)] = \\ &= \frac{T}{\tau} [U_0 - U_C(t)]. \end{aligned}$$

A másik félperiódusban (amikor a dióda lezár, és csak az egyik ellenálláson folyhat áram)

$$-U_0 - U_C = R_2 I_2(t) = R I_2(t),$$

amiből

$$I_2(t) = \frac{1}{R} [-U_0 - U_C(t)],$$

és a félperiódus alatt a kondenzátor feszültségének megváltozása

$$\begin{aligned} \Delta U_C(t) &= \frac{1}{C} I_2(t) \frac{T}{2} = \frac{T}{2RC} [U_0 - U_C(t)] = \\ &= \frac{T}{2\tau} [U_0 - U_C(t)]. \end{aligned}$$

Egy teljes periódus alatt a feszültség teljes megváltozása a két félperiódus alatti változás összege

$$\Delta U_C(t) = \frac{T}{2\tau} [U_0 - 3 U_C(t)] = \frac{3T}{2\tau} \left[\frac{U_0}{3} - U_C(t) \right].$$

A kondenzátor feszültsége akkor nem nő tovább, ha $\Delta U_C(t) = 0$, azaz ha $U_C(t) = U_0/3$, tehát a kondenzátor hosszú idő után $U_C(\infty) = U_0/3 = 1,2$ V feszültségre töltődik fel.

Ezután áttérünk a b) kérdés megválaszolására. Mivel a periódusidő sokkal kisebb az időállandónál, az egy periódus alatti feszültségváltozás nagyon kicsi, a kondenzátor sok perióduson át töltődik. Ezen az időskálán a félperiódusok alatti töltődések és kisülések kis ingadozása nem is látszik. Egy olyan folyamatot kapunk ahol a kondenzátor feszültsége lényegében folyamatosan nő a kezdeti $U_C(0) = 0$ értéktől az $U_C(\infty)$ értékig.

Az utolsó egyenletünk alapján

$$\begin{aligned} \frac{d[U_C(\infty) - U_C(t)]}{dt} &\approx \frac{\Delta[U_C(\infty) - U_C(t)]}{T} = \\ &= -\frac{3}{2\tau} [U_C(\infty) - U_C(t)]. \end{aligned}$$

Ez pedig egy ugyanolyan differenciálegyenlet, mint amely leírja egy kondenzátor feltöltődését (és amely jól ismert a radioaktív bomlástörvényből is), megoldása:

$$U_C(\infty) - U_C(t) = [U_C(\infty) - U_C(0)] e^{-\frac{3t}{2\tau}},$$

amiből látható, hogy a kondenzátor akkor töltődik fel a maximális érték felére, ha

$$e^{-\frac{3t}{2\tau}} = \frac{1}{2},$$

azaz

$$t = \frac{2}{3} \ln 2\tau = 0,0924 \text{ s.}$$

A 2020. évi Eötvös-verseny eredményei

Egyetlen versenyző sem oldotta meg mindhárom feladatot, így a versenybizottság nem adott ki első díjat.

Az első feladat helyes és a harmadik feladat lényegében helyes megoldásáért, valamint a második feladatban elért részeredményekért második díjat nyert *Bonifert Balázs*, a budapesti Baár-Madas Református Gimnázium 12. osztályos tanulója, *Horváth Norbert*

tanítványa és *Pácsonyi Péter*, a BME mechatronikai mérnökhallgatója, aki a Zalaegerszegi Zrínyi Miklós Gimnáziumban érettségizett *Pálovics Róbert* tanítványaként.

A második és a harmadik feladat kicsit hiányos megoldásért harmadik díjat nyert *Molnár Szabolcs*, a BME fizikus hallgatója, aki a Kecskeméti Katona József Gimnáziumban érettségizett *Sáróné Jéga-Szabó Irén* tanítványaként.

Az első feladat hibátlan megoldásért dicséretet kapott *Fekete Dezső Domonkos*, a BME fizikus hallgatója, aki a Kecskeméti Katona József Gimnáziumban érettségizett *Sáróné Jéga-Szabó Irén* tanítványaként, *Selmi Bálint*, a Pécsi Leőwey Klára Gimnázium 12. osztályos tanulója, *Simon Péter*, *Kotek László* és *Pál-*

falvi László tanítványa, valamint *Sepsi Csombor Márton*, a Zalaegerszegi Zrínyi Miklós Gimnázium 12. osztályos tanulója, *Kovács Tibor* tanítványa.

A második díjjal *Zimányi Gergely* adományából 75 ezer, a harmadik díjjal 55 ezer, a dicsérettel 35 ezer forint pénzjutalom jár. A díjazottak tanárai az *Eötvös Loránd emlékalbumot* kapják. Az Eötvös Loránd Fizikai Társulatot a Nanorobot Vagyonkezelő Kft. és az Andersen Adótanácsadó Zrt. támogatja. Köszönjük az adományozók önzetlen támogatást!

Mind a díjazottaknak, mind tanáraiknak gratulálunk a sikeres versenyzéshez. Köszönetünket fejezzük ki az összes versenyzőnek, hogy részvételükkel, és tanáraiknak, hogy a felkészítéssel, tanításukkal emelték a verseny színvonalát.

HÍREK – ESEMÉNYEK

TICHY GÉZA (1945–2021)

Tichy Géza, az ELTE professzor emeritusza, volt tanszékcsoport- és tanszékvezetője 2021. február 2-án rövid, súlyos betegségben, de mégis váratlanul elhunyt. Halála az egész fizikusközösség fájdalmas vesztesége. Cserti József kezdeményezésére sokan, munkatársak, barátok és tanítványok küldtek Tichy Gézával kapcsolatos emlékekről megemlékező írásokat, amelyek jól jellemzik a magyar fizikaoktatás és tehetésgondozás kimagasló személyiségét. A megemlékezés – helyhiány miatti – kivonatos anyaga a Fizikai Szemle nyomtatott változatában jelent meg. A pdf-verzió viszont lehetővé teszi az összes írás – több, rá jellemző fényképpel illusztrált – hiánytalan közlését.

Tichy Géza évfolyamtársunk volt, egy igaz barát, empatikus, segítségre, megértésre kész, nagyvonalú, melegszívű ember. A fizikus évfolyamon éles eszével, gyors észjárásával, mindenkihez kedves modorával, hangos kacajával tűnt ki. Minden csoportos aktivitáshoz (kirándulás, sielés, evezés) csatlakozott, jó humorú, vidám ember volt, a társaság központja és mégis szívből szerény. Haláláig megmaradt igaz jó barátunk. Örülünk, hogy ismerhettük, fájó hiányát sokáig fogjuk érezni.

Fidy Judit, Menybárd Miklós

Géza halálhírét február 3-án közölték velem, amit nem tudok feldolgozni. Ő egy briliáns, segítőkész bátor (nem megalkuvó) hihetetlen igaz ember volt.

Briliáns – Gyors felfogású volt, nagyon jól megragadta a lényegét, ha valamit kérdeztem tőle csak két mondatot mondott és minden világos lett nekem.

Segítőkéz – Oroszból kaptunk feladatot, körülbelül 70-75 oldalt kellett lefordítani oroszról magyarra. Géza azt mondta egy héten belül megcsinálja. Ekkora szívességet nem mertem volna senkitől sem kérni. A szöveget nagyjából kívülről megtanultam, így az ellenőrzésnél nem buktam le.

Bátor – Atomfizikából szóbeliztünk. *Pál Lénárdnak* nem tetszett, hogy csak 8 feladatot oldottam meg, és

pofákat vágott. Nem akartam neki mondani, hogy nem csak ennyit oldottam meg, hanem csak ennyit tudtam lemásolni.

Szóbeli kérdésként Rutherford-féle szórást kaptam, amit tudtam. Pál tanár úr köztözködni kezdett, hogy ezt sem érti, azt sem érti, látszott rajta, hogy meg akart buktatni. Ekkor Géza jelentkezett és megvédett. Az öt év alatt megkaptam a legrosszabb jegyemet, kettést. Rajta kívül ki merte volna ezt megtenni.

Kiváló férj és apa, szerintem neki a család elsőbbséget élvezett a tudománnyal szemben.

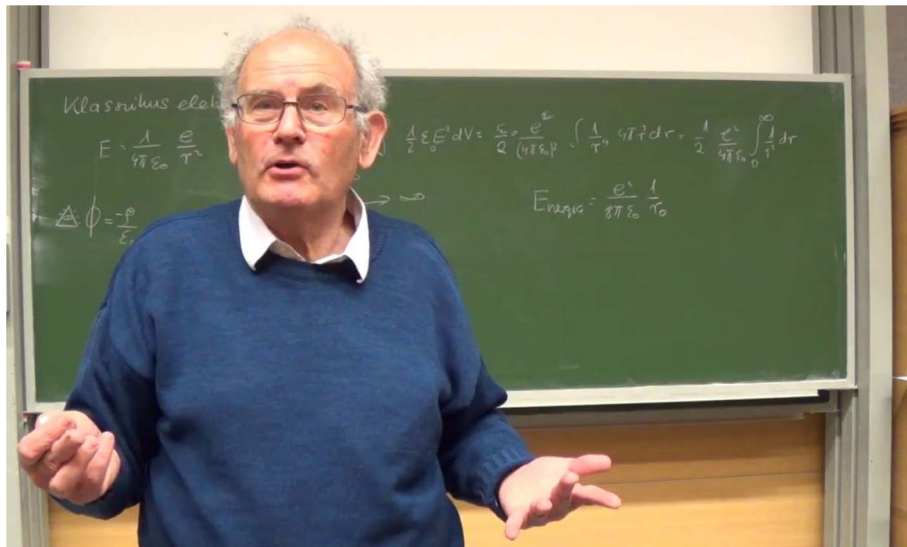
Nem tudok búcsúzni mindig a szívemben leszel és köszönöm, hogy ismerhettelek.

Sasvári Judit

Emlékek egy kedves barátról

1963 őszén Tichy Géza megnyerte az Eötvös-versenyt. Olyan megoldást adott egy váltóáramú, rezgőkörös feladatra, amellyel lenyűgözte a versenybizottságot – *Vermes Miklós*, mint második megoldást, közölte is ezt az Eötvös-versenyek feladatairól kiadott könyvében. Vektorábrás megoldás volt, Géza hasonló háromszögeket fedezett fel a felrajzolt vektorábrán, így

sikerült bizonyítania a feladatban megfogalmazott meglepő állítást. A *KöMaL*-on felnőtt versenyzők mind analitikus megoldásokkal próbálkoztak, ahogyan a versenybizottság is – viszont Géza nem volt *KöMaL*-os versenyző. Ha ma felkeressük a *KöMaL* Arcképcsarnokot és beírjuk a keresőbe a Tichy nevet, egyetlen diák neve bukkan csak fel: *Tichy Eszteré* 1991/92-ből. Ő Géza egyik lánya... Középiscolás korában Géza nem *KöMaL*-feladatok megoldásán törte a fejét szabad idejében, hanem sportolt: vízilabdázott, edzésekre járt az uszodába.



Különleges koponya volt – mondta róla később *Mezei* (akkor még *Mezey*) *Ferenc* elismerően, aki mint gyakorlatvezető figyelt fel rá és évfolyamtársára, *Major Jánosra*. Meg is hívta mindkettőjüket diákkörözni fizikából. Ebből több éven át tartó közös kutatómunka kerekedett *Nagy Elemér* tanszékén, ahol a tanszékvezető bőven ellátta őket KK (= külön kutatási) témákkal. Hamar híre ment közös szobájuknak a hallgatók körében, szívesen jártak oda tanulni, akár segíteni is a mérésekben. Amikor *Mezei Feri* átment a KFKI-ba, majd később hosszabb időre Grenoble-ba, már ők ketten vezették a fizikus diákkört, szervezték a nyári iskolákat a diákkörösök számára, kitalálták, elindították az *Ortvay*-versenyt. Pedig eléggé különböző természetű fiatalok voltak, de ez nem okozott soha konfliktust közöttük, inkább kiegészítették egymást. Amikor *Major Jancsi* felesége ösztöndíjat kapott Stuttgartba, ő is elkísérte, s nemsokára az ottani egyetemen kapott kutatói állást. Géza egyedül maradt, de ez nem törte meg, egyedül is szép karriert futott be az ELTE-n.

Elmondom kettőnk első és egyik utolsó találkozásának történetét. Első találkozásunk a 60-as évek közepén történt. Az Előkészítőben dolgoztam éppen, amikor a szomszéd Kislaborból átkopogtak ketten *Jánossal*, bemutatkozni. Hamar találtunk közös ismerőst, *Kunfalvi Rezső* bácsit, így terelődött szó a fizika-példákra. Akkoriban írtunk egy fizikai példatárat *Schusztér Ferenc* és *Menczel György* kollégámmal, s én az elektrodinamika részen dolgozva éppen azokban a napokban éltem bele magamat egy érdekes feladatra született elegáns geometriai bizonyításomba. Meg is kérdeztem tőlük: – Szerintetek milyen mágneses tér lehet egy áram átjárta olyan cső belsejében, amelynek a fala nem egyenletes vastagságú? Mondjuk az üreg is henger alakú a csőben, de a két tengely nem esik egybe, csak párhuzamos egymással! – Jó, majd gondolkozunk rajta – mondták és elmentek. Nem telt bele negyed óra, s már vissza is jöttek. – Homogén! – kiáltotta Géza, már az ajtóból, és mosolygott a szeme is, miközben *János* egytértően bólogtatt.

Egyik utolsó találkozásunk a metróban történt, hazafelé menet. Együtt utaztunk az Örs vezér térig, ott elváltunk. Gézánál nagy csokor virág volt: feleségét készült felköszönteni hetvenedik születésnapján. Kértem, adja át az én jókívánságaimat is, s közben saját gyermekeim édesanyjára gondoltam, aki már nem érthette meg ezt a napot. Ők ketten, valamikor régen, még a hatvanas években évfolyamtársak voltak az egyetemen. Akkoriban nyerte meg Géza az *Eötvös*-versenyt, én pedig *Párkányi László*, *Vermes Miklós*, *Kunfalvi Rezső* nyomdokain kezdtem beledolgozni magam a fizikatanítás rejtelmeibe. Ennek során készült egyetlen Gézával közös cikkünk a *Fizikai Szemle*ben: *Perdület paradoxonok (a) vagy: paradoxonok a perdületre*.

Jó volt erre most visszaemlékezni.

Radnai Gyula

A fizika szinte valamennyi területén otthon érezte magát. Lehetett vele beszélgetni a szilárdtest-fizikáról, anyagtudományról, elektrodinamikáról, termodinamikáról, optikáról, kvantumelméletéről, szinte mindenről. Ha valaki egy fizikai problémával fordult hozzá, általában azt mondta: „Könnyű az okosoknak, azok fejből tudják a megoldást. Én buta vagyok, nekem mindent ki kell számítanom matematikával.”

Gnädig Péter

Tichy Géza, az EMBER

1967 óta dolgoztunk Gézával azonos tanszéken. Viszszagondolva, nem tudok felidézni egyetlen kollégát sem, aki ne szerette volna, függetlenül ideológiai és politikai beállítottságától. Az idősebbek is tisztelték nagy tudása, és az oktatás terén mutatott elhivatottsága miatt. Lényegében egész életét az oktatásnak szentelte.

Önzetlen, önfeláldozó, igaz ember volt. Csupán néhány kiragadott példa: fiatal családapaként sokszor láttam, amint gyermekeit cipeli vállán, hátán az óvo-



Géza: Látod Tamás, még a kövek is deformálódhatnak plasztikusan, csak kell hozzá néhány tízmillió év (kirándulás a Hong-Kong-i Geo-Park-ban 2014 november közepén).

dába, iskolába, hegyre fel, hegyről le (Zugligetben). Abban az időben ez még nem volt tipikus viselkedés a férfiak részéről.

Amikor édesanyja súlyos beteg lett, odaköltözött, és maga ápolta, főzött rá a munkája mellett.

Nővérének csontvelő-átültetésre volt szüksége, és Ő gondolkodás nélkül vállalta az akkori időkben egyáltalán nem veszélytelen donor szerepét.

Az unokák nevelésében és gondozásában is intenzíven kivette részét, miközben intenzíven dolgozott az egyetemen.

Nem habozott akkor sem, amikor egyik lányának családi körülményei úgy alakultak, hogy segítségre volt szüksége, már idős korban is vállalta a költözködéssel járó fáradtságot, és otthagya a megszokott, kényelmes otthont, ahol született.

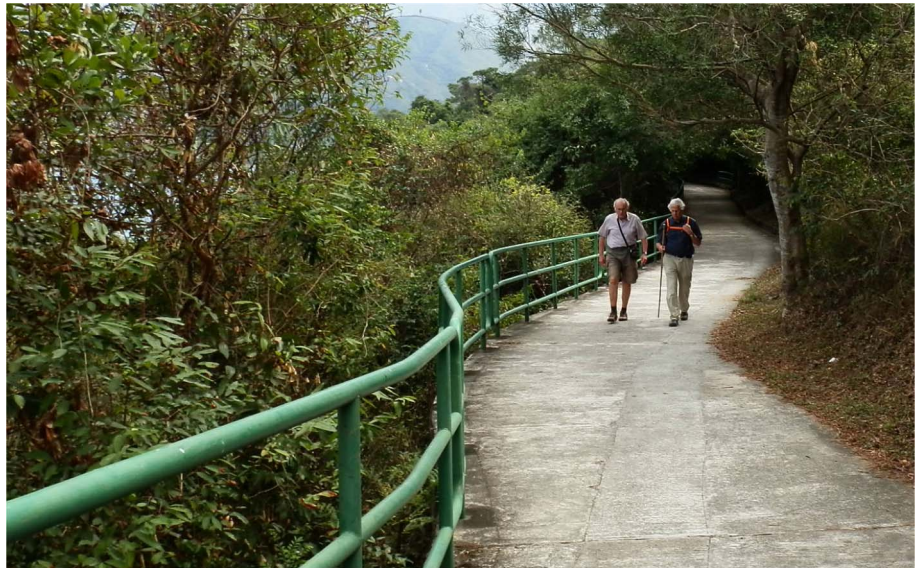
Szerencsés vagyok, hogy ismerhettem!

Cziráki Ágnes

Gézával sok dombot-hegyet megmászunk és sok akadályon túljutottunk. Nem volt olyan fizikával kapcsolatos matematikai probléma, amit Géza ne tudott volna számomra kielégítő módon megoldani.

A hatvanas-hetvenes években a Pilisben és a Börzsönyben kirándultunk a BEAC turista szakosztályával, itt, a fényképen, Hong-Kong-ban, a Cheng-Chau szigeten mászunk fel az igen nagy magasságban (mintegy 250 méteren) fekvő kilátóhoz, 2014 november közepén.

Ungár Tamás



Gézával diplomamunkás koromban ismerkedtem meg, amikor ő már kezdő gyakornok vagy tanársegéd volt a Kísérleti Fizika Tanszéken. Egy este bejöttek Major Jánossal abba a laborba (*Kovács István* laborjába), ahol dolgoztam. „Megnézzük mit csinál ez a Lendvai-gyerek” – mondta Géza (Nagy Elemért utánoztam, akinek szokása volt az ott dolgozó kezdőket XY-gyerekként emlegetni). Azután több mint 50 évig dolgoztunk hol ugyanazon, hol párhuzamos tanszékeken. Véletlenül egy évig még Stuttgartban is egyszerre voltunk a Max Planck Intézetben. Sok éven keresztül mindketten tagjai voltunk az egyik fizikus záróvizsga-bizottságnak, ahol a hallgatók – választásuk szerint – statisztikus fizika, szilárdtest-fizika vagy anyagfizika tételsorokból kaptak kérdéseket. Lenyűgöző volt, hogy Géza valamennyi terület legapróbb részleteit és összefüggéseit is milyen mélységben értette és milyen okos kérdésekkel tudta segíteni a valahol esetleg elakadó felelőt. Tulajdonképpen nem volt „saját területe” a kutatásaiban sem, helyesebben minden terület a sajátja volt: bárki kért munkájával kapcsolatban tőle segítséget vagy tanácsot, azt mindig megkapta, vagy azonnal, vagy némi gondolkodási idő után. Neki nem területe volt: övé volt az egész fizika. De szörnyű, hogy most ezt a mondatot így múlt időbe kellett tenni!

Lendvai János

Másodéves hallgató voltam, amikor megállított a folyosón és megkérdezte, hogy nem érdekelne-e engem az anizotrop rendszerek fizikájával kapcsolatos specije, amire gondolkodás nélkül feleltem igent. Az előadására az elején ketten-hárman jártunk, majd csak én maradtam, ennek ellenére kitörő lelkesedéssel adott elő hétről-hétre. Emlékszem, az előadást követően is sokszor hosszan maradtam, ha esetleg valamilyen fizikával kapcsolatos kérdésem volt, ilyenkor mindig körültekintő alaposággal magyarázta el nekem. Rendkívül jó előadó volt, aki jó érzékkel tudta átadni a fizikában rejlő szépséget. Az ezt követő években, ha

találkoztunk, mindig érdeklődve fordult hozzám, a kutatásaimról és a tanulmányaimról kérdezve. Köszönettel tartozom a Professzor Úrnak a tudásért, amit kaptam és hiányozni fognak a beszélgetéseink.

Szigeti Balázs Endre

Tichy Géza anizotrop fizika nevű speci előadását körülbelül 1-2 nappal az első óra előtt vettem fel, ezért nem kaptam e-mailt arról, hogy elmarad az első alkalom. Üres terem fogadott, majd megjelent Tichy tanár úr. Mondta, tudni akarta várnak-e rá, rosszul érezné magát, ha fölöslegesen váratna valakit. Elmesélte, hogy miről fog szólni a félév, miért fontos az anizotrop fizika, én meg nagyon örültem, hogy bementem aznap az egyetemre.

Fehér Szilveszter

Mint közülünk sokan, én is Tichy Gézánál hallgattam az elektromágnesség tárgyat néhány évvel ezelőtt első éves BSc-s koromban. A középiskolában sosem kedveltem ezt a témakört, de félév végére Tichy Géza magyarázatainak és előadásainak köszönhetően mégis megszerettem.

Ezen felül egy nagy bölcsességgel ajándékozott meg minket, ami lépten-nyomon eszembe jutott azóta fizikatanulmányaim során: „Minden egyszerű, csak meg kell szokni.” Ezzel biztatott minket szorgalomra és lelkiismeretes, alázatos munkára.

Pesznyák Dávid

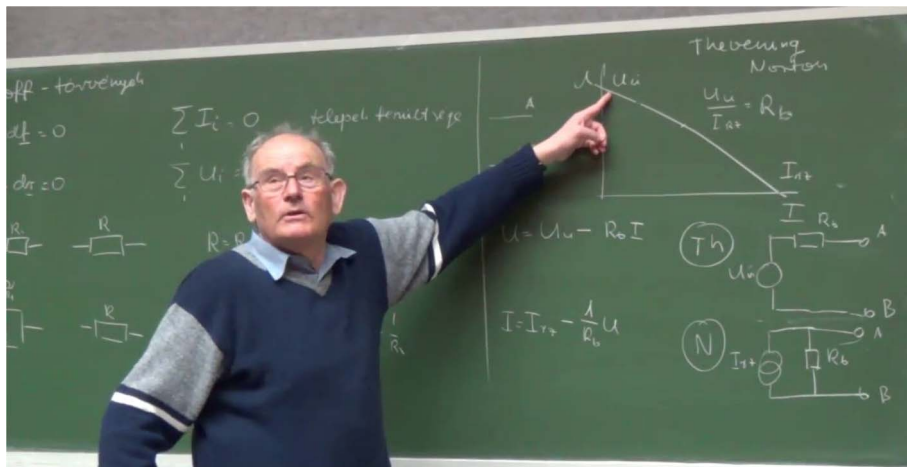
Amikor sok évnyi nehézség után 2014-ben végére értem a fizika BSc-nek, próbáltam felkészülni a záróvizsgára, de elakadtam, pánikba estem, elvesztem a hatalmas tananyagban. Felhívtam Gézát telefonon és elmeséltem neki, hogy úgy érzem nem bírok felkészülni a záróvizsgára, túl soknak érzem, túl nehéznek, és úgy érzem nekem nem fog menni. Géza elmondta, mikor találok bent az egyetemen a szobájában. Átnéztük az összes záróvizsgatételt a tavasszal háromszor is, és minden egyes ismétléskor egyre több lényegi részt emelt ki a fizika minden egyes részterületéről, mintegy egymásra építve az addigi ismereteket. Érezni lehetett, hogy mindent, amit és ahogyan mondott, óriási tapasztalattal és tudással tette, kiváló humorérzéssel, tudta hogyan kell megtanítani a fizikát, bárki számára. És oda is figyelt az emberre. Volt olyan órák, amikor egy doktorandusz (akinek a bírálói között a Géza is volt) épp betoppant a szobájába, félbeszakítva Gézát, de ő nem időzött vele sokat, kérte, hogy írjon majd neki e-mailt, és beszélnek majd, azután magyarázott nekem tovább. Akkor, ott igazán értékeltem, hogy egy olyan nagy ember, mint ő, ennyire

odafigyelt rám, egy kis BSc-s diákra, mintha csak közvetlen barátok lennének. Akkor, már akkor, ott tudtam, hogy milyen emberré szeretnék majd válni! Egy másik történet: már csak 2-3 óránk volt hátra a záróvizsgáig, és a Géza lebetegedett, mégis bejött az egyetemre, szegény izzadt, látszott, hogy nem volt jól, de nem szólt róla, nem mondta le az órákat, bejött, hogy segítsen, hogy a végére érjünk a tételeknek. Ekkor már 70 éves volt. Egy igazán segítőkész ember volt, hát ennyire törődött ő az emberekkel és az oktatással! Bárkivel meg tudta értetni és szerettetni a fizika legnehezebb fejezeteit is, mintha ez a világ legtermészetesebb dolga volna. Később neki is elmondtam, hogy valójában ő szeretettette meg velem a fizikát, felkeltette bennem a világ valódi megértésének vágyát, erre csak nagyon kevés és igazán kivételes ember képes. A záróvizsgát végül sikerült jó eredménnyel zárnom, és én azóta is mélyen tisztetem őt, mert úgy érzem, ezt főként neki köszönhettem. Minden nekem írt jegyzetét nagy becsben, egy, a nevével felcímkézett dossziében őrzöm azóta is. Hát ennyire kivételes ember és tanár volt ő! Barátomként, családtagomként fogom őt tisztelni, amíg élek. Tudást, szemléletet és erőt adott nekem, főként neked köszönhetem, hogy az lehetek, aki ma vagyok, és ezt sosem felejttem el neked! Nyugodj békében Géza!

Vörös Ádám

Elektromágnesség előadást hallgattam Tichy tanár úrnál elsőévesként 2014-ben. Egyik alkalommal gyakorlatvezetőnk (*Pályi András*) nem ért rá a gyakorlat időpontjában, így meglepetésünkre a tanár úr ugrott be helyettesíteni. Szinte szó szerint, ugyanis az óra egy pontján fiatalos lendülettel még az ablakpárkányra is felpattant és a lábát lógázza mesélt nekünk.

Másik történet: tanár úr volt a vendég egy tea és keksz eseményen. Nagyon közvetlen volt, sok érdekeset mesélt fiatal koráról, családjáról. Különösen aranyos volt a történet, amelyben arra tért ki, hogy miért és mióta nem tegeződik már a hallgatókkal. Mint mesélte, fiatal oktatóként természetesen tegeződött a tanítványaival és máig szívesen tenné, azonban ahogy teltek az évek, észrevette, hogy amikor felaján-



lotta a tegeződést az évfolyam számára, néhány lányhallgató furcsa pillantást vetett rá, a tekintetükből a – tanár urat idézem – „na haverkodik a vén szatúr” gondolat volt kiolvasható. Ekkor döntött úgy, hogy ideje a magázódásra térni.

Udvarnoki Zoltán

Gézával egyszer szóba került a családneve: Tichy valamilyen szláv nyelven azt jelenti: csendes. Mondtam, ez olyan, mint a Tyihij Don (*Csendes Don – Solohov* híres regénye). Erre Géza: igen, és én vagyok a Don Tichy.

Geszti Tamás

Gézát nagyon szerettem már hallgató koromban, és ez végigkísért napjainkig. Nagyon kedveltem benne a kedves őszinteségét, és hogy nagyon értette a fizika rejtelmét. Számomra karizmatikus egyéniséggé vált. 1992 körül lehetett, amikor doktoranduszként mentem át a Trefort-kerten. Géza akkor tanszékcsoportvezető volt (mai nevén intézetigazgató) és mosolyogva jött szembe, kicsit lassított és megkérdezte: „Nem akarsz TDK-felelős lenni?”. Ismertem már őt, akkor a TDK-t nem annyira. Tudtam, hogy ha ő kéri, akkor ez csak jó dolog lehet. Abban a percben átadta a hitet és a lelkesedést a TDK-ról. Lavinát indított el.

Horváth Ákos

Tichy Géza tanár úrról a legmaradandóbb emlékem a sokoldalú és mély tudása, emellett pedig a barátságos és közvetlen stílusa. A fizika olyan területeit is fantasztikus természetességgel és tisztán tudta elmagyarázni, mint a termodinamika, amellyel hallgatóként – azt hiszem – a legnehezebb volt megbirkózni. Az én emlékezetemben talán ettől is tiszteletre méltóbb, hogy szinte megszámlálhatatlan fizikafeladatot talált ki és adott fel a legkülönbözőbb versenyeken. Ez a fajta tevékenység tényleg csak lelkesedésből, a fiatalok és a szakma iránti szeretetből végezhető. Büszke voltam, hogy az ELTE Fizikai Intézetben később kollégák lehettünk. Biztos vagyok benne hogy, Órá, illetve a hozzá hasonló meghatározó nagy egyéniségekre Intézetünkben nagyon sokáig emlékezni fogunk, különösen, amikor példaképet szeretnénk magunk elé állítani.

Veres Gábor

Gézával középiskolásként találkoztam először, téli anketokon, azután az olimpiai előkészítőkön, az 1978-as finn–magyar fizikaversenyen, az 1979-es moszkvai Fizikai Diákolimpián. Elsőrangú vezető volt, mindig vidám, lelkes, fáradhatatlan, bármikor kész egy-egy problémát megvitatni. Azt sugározta, hogy a tudás, a megértés, a problémamegoldás öröm. Gondolkodása csodálatosan világos és célratörő volt. Szív-ből nevetett, ha kiderült, hogy egy feladat megoldása olyan kézenfekvő, hogy az ember nem is mert volna gondolni rá. Rendkívüli volt a matematikai – és általában a természettudományos – műveltsége. Egyszer az utcán járva valamelyik verseny szünetében precíz

definíciókat, tételeket idézve elmesélte nekünk, hogyan lehet a megszámlálhatatlan végteleneket osztályozni. Mindig volt számunkra egy-egy érdekes feladata: mi a Fibonacci-számok explicit kifejezése, milyen görbe a hidak íve, milyen alakú a kard. Mindemellett – számunkra észrevétlenül – súrlódásmentesen szervezte a versenyek előkészületeit. Egy tiszta és becsületos világba vezetett be, ahol egyenlők a feltételek és csak a tudás és a teljesítmény számít.

Az egyetem elvégzése után a Szilárdtestfizika Tanszékre kerültem, ahol ő is dolgozott, akkor már egyetemi tanárként. Itt közelebről is megismerhettem. Kitűnő volt a szakterületén és rendkívül széleskörű volt az érdeklődése. Követte a technika fejlődését, megismerte az újabb fizikai elméleteket. Elsajátította például a hűrelmélet alapjait. Közös kollégánktól hallottam, hogy kedvtelésből megtanulta a meteorológiát. Egyszer ebéd közben a büfénél szóba került a négyzetszámok reciprokösszege (Basel-probléma). Egy sűteményes papírtálca hátoldalán egy ceruzacsomkkal két- vagy háromféleképpen is kapásból levezette. Kollégának ugyanolyan szívélyes és segítőkész volt, mint amilyennek korábban megismertem.

Már egyetem után évente összegyűlt a volt olimpiai csapat – Géza sohasem hiányzott –, sört ittunk, vacsoráztunk, együtt töltöttünk egy-egy estét. Ilyenkor sem maradtak el a fejtörő feladatok. Szóba kerültek a régi idők, az olimpia, az egyetemi történetek. Elmesélte, milyen volt annak idején gépi kódban, lyukkártyákkal programozni. Az volt a véleménye, hogy egy fizikus alapképzettségéhez az elektronika és a programozás ismerete feltétlenül hozzátartozik.

Utoljára még a járvány előtt, 2019 őszén találkoztunk az olimpiai csapat összejövételén. Nem sejtettem, hogy ez az utolsó alkalom lesz. Megdöbbenve, hitetlenkedve fogadtam a gyász hírt. Életünk felfoghatatlan paradoxona a halál, de akkor a legnehezebb vele szembesülni, ha olyasvalaki megy el, akit szeretünk és tiszteltünk.

Bene Gyula

Optikából tanultuk, hogy három egymásra merőleges tükörről a beeső fénysugár pont a beérkezési iránnyal ellentétesen verődik vissza – mint a „macskaszemben”. Géza elmesélte, hogy gyerekként az úton biciklizve zavarta, hogy az autók szembevilágítanak neki, ezért épített magának (vagy csak építeni akart?) három tükörből egy ilyet a biciklijére. Ez a játékos hangulat, meg a biciklizés közbeni düh (ami nekem is ismerős érzés) összekapcsolva ezzel a fizikai érdekességgel élesen megmaradt.

Asbóth János

Gézára mindig úgy fogok emlékezni mint egy vidám, nyíltszívű, önzetlen és segítőkész barát. 1970 februárjában együtt sieltünk Nagy Hideg-hegyen. Rosszul estem, eltört a bokám. Abban az időben nem volt más sérültszállítási lehetőség mint a menedékház „négyfogatos” szánja. Géza magától értetődő természetességgel beállt az egyik „istrángba” és a magas hóban, a

Róka úton segített lejuttatni Királyrétre, felhajtott egy magánautót, amely Vácra szállított. Mindezt olyan könnyedséggel tette, mintha leugrott volna Királyrétre egy teára. Most is hálás vagyok érte ugyanúgy, mint azokért a hasznos tanácsokért, amelyeket vákuumtechnikában kaptam Tőle.

Köszönöm Géza!

Szepes László

Regrettably, I have not had any close contacts with Prof. Géza Tichy, but we were good friends meeting each other from time to time and discussing rather more general problems.

I met prof. Géza Tichy for the first time in 1969 when I was a high-school student participating in the 3rd International Physics Olympiad in Brno (Czechoslovakia at that time). Prof. Tichy was a member of Hungarian delegation and a supervisor of Hungarian students participating in the competition. Regrettably, we did not have any extended conversation at that time.

Next, I met him at the Max-Planck-Institute for Metals Research / Institute for Physics in Stuttgart in 1986 where he conducted research on dislocation modeling and I worked as an Alexander-von-Humboldt Fellow at the Max-Planck-Institute for Solid State Physics – both Institutes are in the same building in Stuttgart-Büsnau. As my research was oriented rather to electronic structure calculations, we had rather general conversations.

Finally, I met him in August 2003 at the 13th International on Strength in Materials in Budapest, his home city, where he invited Prof. Vitek, several other colleagues and me for a dinner to his house – we had an excellent Hungarian food, drinking delicious Hungarian wines and conducting cordial conversation.

According to what I heard from his colleagues, Prof. Tichy was a great teacher and excellent scientist with many outstanding scientific ideas. He introduced many students and young researchers into the fascinating region of solid-state physics and quantum mechanics. He always demonstrated deep insight into relevant problems of condensed-matter physics and, last but not least, his unquenchable energy and desire for new knowledge. His cheerful attitude and bright smile will be missed.

Prof. Mojmír Šob

Néhány „emlékszilánk”

Ifjú Fizikusok Köre – Még gimnazista voltam, amikor az IFK-ban (Ifjú Fizikusok Köre) egyszer Tichy Géza tartott előadást az elektromágnességről. Lényegében elmondta a Maxwell-egyenleteket, középiskolások számára érthető módon. Még stencilezett anyagot is hozott és kiosztotta a hallgatóságnak. Sok mindent még ma is fölhasználok abból, amit akkor tanultam tőle. Érthetően és lelkesen magyarázott, emlékezetes előadás volt.



Szünetben rajz a táblára – Egyetemi hallgató koromban egyszer Géza bejött egy előadás szünetében a Múzeum körüli épület XI-es tantermébe és szó nélkül, krétával rengeteg fehér pöttyöt rajzolt a táblára, akkurátusan, nagyjából szabályos sorokban. Ehhez a művelethez éppen csak, hogy elég volt a 15 perces szünet. Kiderült, hogy a következő órán ő helyettesítette az előadót. Kristályhibákról beszélt, és akkor vált világossá, hogy mindenféle hibát elrejtett a táblán, pont-hibákat, diszlokációkat, szemcsehatárokat, amelyeket nekünk kellett megtalálni.

MacIntosh – Már kollégák voltunk, amikor egyszer lelkesen mesélt nekem az amerikai útról, egyebek között a MacIntosh számítógépről is, amit onnan hozott. Akkor még ritkaság volt az ilyesmi. Amikor kiderült, hogy én még nem láttam közelről ilyen gépet, meghívott magához, hogy megnézhessem. Részletesen megmutatta nekem s közben jót beszélgettünk mindenféle dologról, persze főleg fizikáról.

Empátiája – Feleségem halála után az egyik első napon, amikor már volt annyi lelki erőm, hogy bemerjenek az egyetemre, lementem az első emeleti büfébe, hogy egyek valamit. Magamba roskadva ültem az asztalnál, amikor Géza odajött hozzám. Leült mellém és hosszasan beszélgetett velem. Hihetetlen empátiával hol beszélt, hol csak hallgatott, s úgy vigasztalt, hogy az nagyon jólesett nekem. Azóta is emlékszem erre a beszélgetésre, és nagyon hálás vagyok neki ezért.

Kürti Jenő

Gézával nagyjából hatvan évre visszanyúló, mély barátság fűzött össze, amely az ELFT Ifjúsági Fizikai Körében (IFK) indult. Erről az időről 1993 végén, a *Középszolai Matematikai és Fizikai Lapok (KöMaL)* centenáriumi számában írtam,¹ illetve 1994. január 29-én, a *KöMaL* centenáriumi ülésén beszéltem.²

1962. december 7-én egy cikk jelent meg a *Népszabadságban* az 1962-es Eötvös-verseny eredményhirdetéséről, amelyben a verseny nyerteseit is meginter-

¹<http://db.komal.hu/KomalHU/cikk.phtml?id=199372>

²<http://db.komal.hu/KomalHU/cikk.phtml?id=199414>

júvólták. A cikkben többek között ez állt: „társulati vitadélutánokon komoly témákról tartanak előadásokat, legközelebb például a Kepler-törvényeket beszél meg. Az előadást viták követik, amelyek – mint elmondják – este 11-kor, az autóbuzsmegállónál érnek véget.”

Géza 1963-ban nyert Eötvös-versenyt; én az 1962-es verseny egyik első helyezettje voltam.

A cikkben említett kéthetenkénti esti sétáknak három résztvevője volt: az akkor 25 éves *Gaál István*, aki Kunfalvi Rezső, a *KöMaL* fizika rovata szerkesztőjének felkérésére patronálta az IFK-t, valamint Géza és én. Az IFK rendezvényei az ELFT helyiségében, az egykori Tözsdepalotában, a Szabadság téren voltak, amely akkoriban részint a Magyar Televízió stúdióinak, részint az MTESZ tagegyesületeinek adott otthont. Mind a hárman budaiak voltunk. Pista valahol a Bem József tér környékén lakott albérletben, Géza a Szemlőhegyen, én pedig a Rózsadombon. A sétákon kizárólag fizikáról volt szó; másról beszélni eszünkbe se jutott. Mivel 2019 márciusában Pista is itt hagyott bennünket, az egykori peripatetikus beszélgetések résztvevői közül most már egyedül maradtam.

Az IFK-kurzusokat a hatvanas évek elején-közepén egyre inkább Géza és a 2015 októberében sajnos ugyancsak elhunyt Major János (Géza évfolyamtársa, pályatársa, alighanem legjobb barátja, az 1963-as Eötvös-verseny harmadik helyezettje) vezették; egy ideig még én is besegítettem. Gézát és Jánost az Eötvös-verseny eredményhirdetése után terjedelmes, fényképes cikkben mutatta be az ELTE 1989-ig létezett, akkoriban kéthetenként megjelenő újsága, az *Egyetemi Lapok*. Gaál Pista 1964-ig járt a körbe, az én ottani szerepem 1966 elejétől, amikor diplomamunkámon kezdtem dolgozni a KFKI-ban, gyakorlatilag szintén megszűnt. Nagyon sokan – köztük későbbi professzorok, akadémikusok – indultak az IFK-ban a hatvanas években; egyszer talán valljanak erről ők saját maguk. De Tichy Géza valamennyiüknek – és sok tekintetben előadótársainak is – tanítómestere volt.

Nagy Dénes Lajos

Tichy Géza 1969-ben egy éve volt tanársegéd az ELTE-n, én pedig egy évvel voltam az egyetemi felvételim előtt. Az Ifjú Fizikusok körén keresztül ismerkedtünk meg, lenyűgözően tudott nehéz fizikai problémákat egyszerűen megértetni, bonyolult jelenségeket lényegre törően szemléltetni. Az akkor mérhetetlenül nagynak tűnő korkülönbség ellenére a tanár-diák viszonyt fokozatosan baráti kapcsolat váltotta fel. Belekerültem egy olyan baráti körbe, ami Géza és Major János körül alakult ki, a közös pont a fizika szeretete volt.

'69 nyarán bejártam Gézához a tanszékre a Lambert–Beer fényelnyelési törvény kísérleti vizsgálatára. Oldatok abszorpciójának koncentrációfüggését vizsgáltuk, középiskolás módszerekkel. A kettéosztott fényút egyik nyalábjába ment az üveglapok közé betöltött oldatot tartalmazó ágon, majd megvilágított egy papírlapot, amire hátulról érkezett a nyaláb másik

ága. A papírlap, nulldetektorként viselkedett, a rajta lévő zsírolt „eltűnt”, ha a megvilágítás erőssége egyforma volt előlről és hátulról. A mérés lelke a referenciaág áteresztőképességének kontrollált szabályozása volt. Sok próbálkozás után Géza ötletét valósítottuk meg: fésűfogak közé kifeszített kör keresztmetszetű gumiszálakból készült rács elforgatásával változtattuk az átmenő és kitakart fény arányát. A kísérlet egyetlen elektromos eszköze a fényforrás volt, a detektor az emberi szem, az intenzitást egy szögmérő leolvasása adta.

1970 tavaszán Nyugat-Németországban rendezték a „Jugend Forscht” nemzetközi tudományos versenyt, ahol a világ minden részéről jöttek középiskolások és egymásnak mutatták be kísérleteiket. A magyar delegációt Kunfalvi Rezső és Vermes Miklós vezette, a csapatot három diák alkotta. Gézának köszönhettem, hogy ezzel a kísérlettel bekerültem ebbe a csapatba. 18 évesen, két kitűnő „túravezető” társaságában német városokat láthattam, és a szocialista táboron kívüli – a világot másképpen szemlélő – fiatalokkal találkozhattam. Legtöbbit viszont abból profitáltam, hogy Gézától megtanultam: néhány egyszerű ötlettel nehéznek tűnő kísérleti problémákat is meg lehet oldani.

Mihály György

Tichy Géza egy kiváló észjárású, lényeglátó, a problémákat alapösszefüggéseiben megérteni akaró, igazi gondolkodó, tudását és látásmódját segítőkészen átadó, nagyszerű oktató volt. Kedves személyiségének emlékét megőrizzük.

Kuzmann Ernő

Gézát gimnazista korom óta ismerem: az 1975/76-os és 1976/77-es tanévben ő tartotta a levelező olimpiai szakkört, és az 1976-os budapesti és az 1997-es cseh-szlovákiai fizika olimpián is ő volt az egyik csapatvezető. (1976-ban az olimpia helyszínénél lévő Zichy Géza utcát a csapattal át is akartuk nevezni Tichy Géza utcára...)

A havonta kiküldött feladatsorban mindig volt egy mérési feladat is, amit otthon, házi eszközökkel kellett elvégezni. Kitelepedett az ember a konyhába, és a vízcsapból kifolyó, elvékonyodó vízugarat tanulmányozta. Mérőpohárral és órával mérte a vízhozamot, falra vetülő árnyékkal a vízugarat átmérőjét... Akkor tanultam tőle azt, hogy egy jelenség leírásánál nem azokat a hatásokat kell felsorolni, amiket elhanyagolunk – hiszen ilyen végtelen sok van –, hanem azt a néhányat, a legfontosabbakat, amelyeket figyelembe veszünk.

Később, amikor a kutatói pálya helyett középiskolában kezdtem tanítani, ő segített a fizika tanárszakos másoddiploma megszerzésében, és részben az ő tanácsára kerültem az óbudai Árpád Gimnáziumba, ahová korábban ő is járt, és ahol azután 16 éven át tanítottam.

Néhány évente valamilyen esemény kapcsán újra találkoztunk. Nagy öröömre 2005-ben megfigyelőként eljött velünk a Salamancában megrendezett diák-

olimpiára, ahol abban az évben, sok év után újra, épp egy magyar diák lett abszolút első. Ez a zsonglőrködő kép ott készült róla.

Az elmúlt hét évben az Eötvös-versenynek köszönhetően találkoztunk sokkal többet. A feladatsor kitalálása, a dolgozatok megbeszélése, a cikkek megírása közben sokat beszélgettünk fizikáról és sok minden másról is. Legutoljára néhány hónapja is emiatt jártam nála, és eszembe se jutott, hogy ez lesz az utolsó találkozásunk.

Nagyon hiányozni fog, nagyon hiányzik.

Vankó Péter

Első éves egyetemisták voltunk, amikor a második félév elején először találkoztunk Gézával, és ez a találkozás alapvetően megváltoztatta életünket. Géza, és közeli barátja-kollégája, Major János fiatal tanársegédek voltak az ELTE Szilárdtestfizika Tanszékén. Egy tágas szobában volt az irodájuk, ami egyben kísérleti laboratórium is volt. Eldöntötték, hogy ezt a teret megosztják velünk, valamint néhány további évfolyamtársunkkal. A „hivatalos” indoklás az volt, hogy az órák közötti szünetekben legyen hol tölteni az időnket, de ennél sokkal többről volt szó, amit ők pontosan tudtak. Nekünk ez az irodalaboratórium az egyetem végéig második otthonunk lett, ahol tanultunk, barátokkal találkoztunk, beszélgettünk, és megismerkedtünk a kísérleti szilárdtest-fizika alapjaival.

Most, az évek távlatából, világos, hogy ők akkor egy tudományos iskolát teremtettek, amely az elkövetkező években még sok másik diáknak adott hasonló lehetőséget.

A sokszor heves, de sohasem unalmas vitákat János kérdésekkel, Géza válaszokkal terelte a megértés felé. Az első szilárdtest-fizika egyetemi előadást Géza tanította nekünk. Akkor kezdtünk ráébredni, hogy a szilárdtest-fizika nemcsak néhány egyszerű szabály gyűjteménye, hanem alapjaiban egy nagyon is egzakt tudomány. Egyikünk (ML) Géza ötlete alapján és segítségével írta első tudományos publikációját. A kísérleti szilárdtest-fizikát nem lehet egyedül csinálni. Meg kell tanulni együtt élni – dolgozni másokkal kisebb – nagyobb csoportokban. Ez a legfontosabb, amit megtanultunk a két fiatal tanársegédőtől, a Fő épület 2. emelet 9–10-es szobájában.

Holczer Károly,

University of California, Los Angeles

Mihály László,

Stony Brook University,

State University of New York

My remembrance of Geza Tichy, my great friend and collaborator in Science

Geza joined my group at the University of Pennsylvania in the middle of eighties as a visiting research associate. I could see from the first day he came that he would be a great participant in our physical studies of deformation of intermetallics. While I was officially



his advisor our relationship quickly developed into collaborators who are at least equally contributing to the research. Geza was at this time already clearly an accomplished scientist who could easily lead the research project we studied.

However, Geza was not only an excellent scientist with deep understanding of physics investigated but most importantly he was already at this time, and, of course, for all his life, a truly renaissance man. The man who understood science, arts and most importantly human relations to which he contributed at least as much as to his research and teaching. I am very sad we lost such a great person and friend so suddenly. However, Geza will certainly remain in my memory, and I am sure in the memory of all those Geza affected in life, as one of the great persons I was fortunate to know and associate with.

Vaclav Vitek

Professor of Engineering

and Applied Science Emeritus

Department of Materials Science and Engineering,

University of Pennsylvania, Philadelphia

Prof. Geza Tichy was a wonderful scientist with a warm heart and a keen mind.

In our conversations when he was visiting Prof. V. Vitek, my mentor, I recall his sharp sense of humor! He would often say the best jokes and lines keeping

the most straight face while the rest of us would be laughing gregariously. He enriched science with his meticulous work and I understand he was a great teacher and mentor. I am fortunate to have known Professor Tichy.

Mahadevan Khantha
University of Pennsylvania, Philadelphia

Az ELTE befejezésekor volt egy rendezvény, ahol megköszönték azoknak a tevékenységét, akik fizikai dolgozók tehetséges gyermekeivel foglalkoztak. Általános iskolásokkal leveleztünk, feladatokat készítettünk, küldtünk. Tanár úr volt az egyik szervező. Levelet a kezében fogva szólalt meg: ki az a Kiss Jolán, majd átadta az emléklapot. Másik személyes találkozásom két évvel ezelőtt volt az Erkel Színházban. Teljesen véletlenül egymás mellé szolt a bérletünk. Feleségével volt ott. Elbeszélgetett velünk, örült, hogy kellemes emlékeket őrzünk róla.

Kiss Jolán

A Tichy tanár úr által előadott *Elektromágnesség és optika* tárgy hallgatója voltam.

Tichy Gézát egy segítőkész, mindig jókedvű tanárnak ismertem meg. Szinte bármiről olyan részletes-séggel és beleéléssel tudott beszélni, ami rögtön felkeltette a hallgató kíváncsiságát – azt hiszem, Ő maga mindig nyitott szemmel fürkészte a világot, és ezt érezhettük meg, ez mozgathatott meg bennünk valamit, amikor előadott. Karaktere révén, ha érdeklődő embernek magyarázott, nem volt olyan beszédpartnere, akire ne ragadt volna át jókedve és lelkesedése. Még a vizsgát is széles mosollyal ültem végig. Folyton arra próbált minket rávezetni, hogy lássuk meg a továbbmozdító ötletek szépségét. Remek példát mutatott a tiszta gondolkodásról és arra is nevelte hallgatóit. Mindezekért nagyon tiszteltem Őt.

Mészáros Botond

Gézával a 70-es évek első felében, fizikus hallgatóként találkoztam. Előadást is tartott nekünk, de szorosabb kapcsolatba akkor kerültünk, amikor harmadmagammal diákköri témavezetőnk lett. Egyikünk sem akart kísérleti fizikus lenni, de lelkiismeretesen kipróbáltuk ezt is. Gézától kaptunk egy cikket, amelyben egy (vagy több?) cseh szerző leírta, hogyan készített triglicinsulfát (TGS) egykristályt. A cikkben egy fénykép is szerepelt a berendezésről. Elkezdtük megépíteni, a kért alkatrészeket Géza valahogy beszerezte, tanácsokat adott, de elvárta a nagyfokú önállóságot. A növesztés elkezdése után éjjel-nappal bent voltunk, a telített folyadék hőmérsékletét ugyanis kézzel csökkentettük, mert léptetőmotort csak jóval később sikerült beszerezni. Így azután sokat voltunk együtt Gézával (és más labortársakkal), amelynek során kiderült, hogy nemcsak a kísérletezéshez van érzéke – ami elvárható volt egy kísérletes téma vezetőjétől –, hanem az elméletben is teljesen otthon van. A legkülönbözőbb – a munkánkkal egyáltalán nem kapcsolatos – problémákkal traktált bennünket, amelyeket aztán a táblánál oldott



meg, pontosan azokkal a mozdulatokkal, amelyeket a most közölt fényképeken láthatunk. Már a növesztés kezdetén olyan problémákkal kerültünk szembe, amelyek a cikkben nem szerepeltek. Ezeket lépésről-lépésre megoldottuk, új és új módszerekkel próbálkoztunk, Gézától – illetve közvetítésével az üvegtechnikusoktól – új növesztőedényt kértünk stb. Közben nagyon sokat tanultunk, nem csupán a kísérleti berendezés építését, a vákuumpárologatást, néhány elméleti kérdést, hogy mekkorát üt a 220, kitartást, hanem sajnos azt is, hogy ebben az országban nem könnyű kísérleti fizikusnak lenni, nem a tudás és képességek hiánya miatt, hanem elsősorban pénzügyi és részben bürokratikus okokból. A tervezettnél jóval később, a TDK-konferencia határideje előtti pillanatokra végül sikerült összehoznunk egy megfelelő méretű egykristályt, a rápárolgatott fémréteg segítségével bizonyítottuk, hogy piezoelektromos, megírtuk a dolgozatot, és Géza még valamiféle díjat is kiharcolt nekünk a sok munka jutalmául. (A kristály további sorsáról nincs tudomásom, Géza nyilván valamilyen piezoelektromos kísérlethez akarta használni.) Az egyetem elvégzésekor Géza – gondolom, ha ló nincs, a számár is jó alapon – felajánlott egy állást a Szilárdtestfizika Tanszéken, de én akkor már elköteleztem magam a Filozófia Tanszékre. A nála szerzett tapasztalatok azonban így is hasznosultak: amikor tudományfilozófiában a Polányi-féle hallgatólagos tudást tanítom, akkor két példát szoktam elmondani, az egyik a TEA-lézer elterjedése, amelyet a tudásszociológusok vizsgáltak (bebizonyosodott, hogy csak azok a csoportok tudták megépíteni, akik vagy elküldtek valakit személyes tapasztalatszerzésre az elsőt megépítő csoporthoz, vagy vendégül láttak onnan valakit); a másik pedig a saját élményem, hiszen a kristálynövesztési problémáink pontosan onnan eredtek, hogy a kiinduló cikkből – feltehetően egyáltalán nem szándékosan/tudatosan – hiányzott néhány dolog, az akkori körülmények között azonban mi nem tudtunk tapasztalatszerésre utazni. A későbbiekben Gézával már csak ritkán találkoztam különböző egyetemi ügyekben, de viszonyunk – a visszautasított állásajánlat ellenére – mindvégig szívélyes maradt.

Szegedi Péter

Nekem az maradt meg örökre, amikor először voltam nála vizsgázni. Bemegyek, tételhúzás. Elővesz pár francia kártyát: tíz tétel, tíz lap, ásztól tízesig. Megkeveri, elemeli. Akkoriban állandóan kártyáztunk az évfolyamon, emlékszem, még végig is futott rajtam, hogy ez most egy ilyen kikacsintás? Na mindegy, valahogy úgy esett, hogy tisztán megláttam, hogy legalul van az ász, 1. tétel, bevezetés vagy ilyesmi, sima ügy. Rutinos mozdulattal leteríti a paklit: „Na, húzzon!”. Persze hogy a bal szélsőt húzom... de ahogy felfordítom, a 7-es virít rajta, Legendre-transzformáció... hát az nem ugyanaz. Leizzadtam rendesen, és bár nem buktam végül, de ez delejes volt.

Németh Gábor

Tichy tanár úr éppen helyettesítette *Gubicza Jenőt* egy alapszakos szilárdtest-fizika előadáson. Az előadás témája a szilárd oldatok voltak, innen terelődött a téma kicsit el. Egyszer csak megkért mindenkit, hogy emelje fel az a kezét aki ivott már 90%-os alkoholt. Természetesen egyikünk se ivott még szinte tiszta szeszt, azonban Tichy tanár úr felemelte a kezét és az alábbi történetet osztotta meg velünk. Még egyetemi hallgató volt, amikor az egyik laborgyakorlat során egyedül maradt néhány barátjával, akik azzal hecceltek, hogy úgyse meri meghúzni az ott található 90%-os alkoholt tartalmazó üveget. Mivel egyetemista volt, értelemszerűen nem mondhatott egy ilyen kihívásra nemet, így a szájához emelte az üveget és ivást imitált, de a száját nem nyitotta ki. Ekkor az egyik barátja hátulról meglökte az üveget és legördült az alkohol a torkán, illetve az arcára is jutott belőle bőven. Ahogy legördült az alkohol teljesen kiszáritotta a torkát, ezért bevetődött a vízcsap alá és bőszen elkezdett inni. Ekkor lépett be a laborvezető (Ő eközben alkoholszángúan feküdt a vízcsap alatt) és csak annyit mondott: „Mi van Gézukám, eláztál, eláztál?”

Kukucska Gergő

Felforrt a teavíz – a teázást is Gézától tanultam

A múlt évszázad hatvanas éveinek második felében *Szenes Györgynél* diákköröztem. Egy hagyományos mérleg elektromos érzékelését építettem. Az áramkörrel nem volt jó a mérleg csillapítása. Szenes tanár úr nem volt bent, átbálgattam Mezei Ferihez, aki gyakorlatot vezetett nekünk. Helyette Tichy Gézát találtam, aki, miután elmeséltem a problémámat, rögtön egy Mezei Feri mondással kezdett: „Nem tudod? Számold ki!” Rajzolt, azután számoltunk, helyenként közösen, azután egyéb témák kerültek elő, majd benyitott Saci néni a titkárságról (*Monspart Sarolta*, későbbi többszörös tájfutó világbajnok édesanyja), felpanaszolva, hogy nem tudja kinyitni a tanszéki páncélszekrényt. Néhány szerszám és a lelkesen csacsogó Saci néni társaságában Géza átvonult a titkárságra. Ott maradtam, mert volt még mit emésztennem a tanultakon, amikor is Géza körülbelül negyed óra múlva visszajött a titkárságról, ahol 5-10 perc alatt kinyitotta a néhány



Mély fájdalommal tudatjuk, hogy

Dr. Tichy Géza

2021. február 2-án, életének 76-ik évében elhunyt.

Hamvasztás utáni búcsúztatása a járványügyi korlátozások miatt szűk családi körben történik.

Rokonok, barátok, ismerősök végső búcsút 2021. március 17-én 18 órakor vehetnek tőle a Zuglói Pádulai Szent Antal templomban (1149 Budapest, Bosnyák tér 7.) tartandó gyászmisén.

Cím: Tichy, 1144 Budapest, Kőszeg utca 42.

papírt és egy doboz kávé tartalmazó páncélszekrényt. *Feynmannak* tovább tartott betyárkodás céljából (csak hogy bosszantsa a bürokratákat) kinyitni a Manhattan-terv munkáihoz telepített páncélszekrényt, de, gondolom, ott komolyabb mackót használtak.

Kihez forduljak, ha nem jó a csillapítás, vagy nem nyílik a páncélszekrény?

Vass László

Valamikor ötven évvel ezelőtt Géza befejezett a táblánál egy levezetést, felénk lépett, égnék emelte mindkét kezét, és lelkesen, átszellemült arccal felkiáltott: ugye látjátok, hogy ez milyen szép! És mi láttuk, hogy szép. Ahogy ő mondta, ahogy átérezte, ahogy mindenkinek át akarta adni azt az élményt, azt a szinte gyermeki örömet, ami eltöltötte egy-egy jól sikerült ötlet, levezetés, magyarázat után, azt a lelkesedést, ami a fizika, a világ megértése iránt áthatotta. Akkor egy pillanatra az ő szemével láttunk mi is. Néha, jobb pillanatainkban ma is így látunk. Mától már Géza nélkül, de az ő szemével, az ő örömeivel, az ő lelkesedésével.

Dávid Gyula

Emlékszem hallgató voltam, amikor vizsgázni mentünk Gézához. Kijött a szobából egy „szakadt” pulóverben és megkérdezte „vizsgázni jöttetek?”. Mondtuk igen, mire Ő, rendben egy pillanat és felveszem az öltönyömet. A stílus maga az ember.

Lenyűgöző volt Gézában, hogy ahányszor csak valami problémával fordultam hozzá, hogy ez hogyan is van, vagy azonnal tudta a választ, vagy számolt egy kicsit a táblánál és azután mondta meg. Közben látszott rajta, hogy ez az egész számára olyan, mint egy játék, amit Ő nagy élvezettel játszik. Azt hiszem ez csak a legkiválóbbak privilégiuma.

Groma István

Az egyetemi tanulmányaimat befejezve Géza meghívására kerültem az egykori Szilárdtestfizikai Tanszék-re 1982-ben, a doktori munkámhoz is ő adott kutatási feladatot. Nagy lendülettel kezdtem bele a számolásba, és egy hét múlva büszkén mutattam neki füzetemben a kissé zavaros levezetésemet. Géza ránézett

és azt mondta jó az eredmény. Én csodálkozva kérdeztem tőle, hogy honnan tudja így ránézésre. Röviden csak annyit mondott: „15 év fórom van veled szemben”.

Az oktatási munkámat is nagy figyelemmel kísérte. Emlékszem, amikor stencilre „kaparásztam” (a legtöbb fiatal valószínűleg nem is tudja mi ez) a diszlokációk egyenletét, finoman biztatott az oktatási anyag elkészítésében, és Ő kért engedélyt a sokszorosításra (ilyen is volt!).

A kandidátusi fokozatomhoz kevesebb, mint egy év alatt kellett szereznem egy alapfokú német nyelvvizsgát. Nagyon intenzíven tanultam. Géza – mint később kiderült – izgalommal várta a hírt a vizsgámról. Amikor beléptem a tanszéki szobába és büszkén mondtam neki, hogy sikerült a vizsgám, odajött hozzám és örömeiben átölelt. Akkor éreztem meg először, hogy mennyire szeret engem. Nemcsak egy munkatárs vagyok számára...

Emlékszem, jóval később elkezdtek számolni a rúgókkal összekötött méhsejt rácspontjaiba helyezett tömegek rácsrezgéseit. Megírtam a cikket és egy oktatással foglalkozó újságba küldtem a kéziratot. Közben Géza bekerült a kórházba és egy szívműtéten esett át. Azt terveztem, hogy meglátogatom és meglepetésként megmutatom neki a megjelent cikket. Sajnos a cikk bírálója nem volt a szakma csúcsán (gondolom ilyen sokan tapasztaltak közölünk), és csak hosszú vita után sikerült meggyőzőm, hogy a mi kiindulási összefüggésünk helyes, mert ő zérus nyugalmi hosszúságú rugóval számolt (ami ebben az esetben enyhén szólva sem lehet fizikailag reális). Géza előbb gyógyult meg, mint ahogy a cikk megjelent (szerencsére), így a meglepetésem már tárgyanná vált. Persze nagyon örültem ennek, és Gézát pedig egyáltalán nem zavarta a megjelenés csúszása. Nálam bölcsőbb volt és értékelte a szándékot. Azóta a grafénnel (mert ez a rács az volt) kapcsolatban több szakmailag elismert kutató idézi a munkánkat.

Legutóbb, amikor kiderült, hogy nem igazán tudom a háromfázisú aszinkronmotorok fizikáját, Ő rögtön részletesen elmagyarázta azt. Hihetetlen tudással rendelkezett. Közben a hétköznapi életünk fonákságairól is mindig tudott mondani egy jó viccet.

Folyamatosan követte pályafutásomat, és úgy éreztem mintha a második apám lett volna. Talán Ő is úgy érezte, hogy én pedig a fia lennék. Soha nem felejttem el örökös derűjét, kedvességét, a hallgatók iránti lelkesedését. Tőle nem csak fizikát, hanem emberséget is tanultam. Ezt nagyon köszönöm neki. Hiányozni fognak nekem azok a beszélgetések, amikor fizikával kapcsolatos kérdéseimre szípkázó válaszokat adott.

Cserti József



Az egyetemi évek alatt három tárgyat hallgattam Gézánál, közelebről pedig az Eötvös-verseny bizottságában ismerhettem meg őt. Minden percét élveztem az együtt töltött időnek, nem volt olyan alkalom, amikor ne tanultam volna tőle valami újat. Legutóbb októberben a termodinamikai potenciálok Legendre-transzformációját magyarázta el a kérésemre, csak úgy futólag, egy papírfecni-re rögtönözve, kristálytiszán, érthetően. Úgy, hogy azt elfelejteni soha nem fogom.

Géza rendkívül fontosnak tartotta a fizika népszerűsítését a legfiatalabb generáció tagjai között: diákolimpiai csapatvezetőként, versenyszervezőként, feladatkitűzőként, valamint a *KöMaL* kuratóriumának tagjaként végzett tevékenysége felbecsülhetetlen.

Vigh Máté

Csak jó emlékeim vannak Tichy Gézával kapcsolatban. Az egyik legkedvesebb talán az, amikor néhány éve valamelyik egyetemi folyosón ebédelve hirtelen odalépett hozzám, jó étvágyat kívánt, megkérdezte, hogy vagyok; majd néhány perccel később már a kvantummechanika mélyén rejlő matematikai struktúrákról mesélt nekem.

Számomra minden előadását ugyanez a hangulat hatotta át: egyértelmű volt, hogy lehangoló és szerteágazó tudás birtokában van, azt mégis olyan természetességgel és főként végtelen alázattal tudta átadni nekünk, amire kevesen képesek.

Kivételes fizikus és kivételes ember volt, bőven lenne még mit tanulnom tőle.

Németh Róbert



JELÖLÉSI/PÁLYÁZÁSI FELHÍVÁS

az Eötvös Loránd Fizikai Társulat kitüntető érmeire, valamint felsőoktatási és tudományos díjaira

Az ELFT Elnöksége jelöléseket, illetve pályázatokat vár a Társulat 2021. évi kitüntető érmeire, valamint felsőoktatási és tudományos díjaira. Kérjük a Társulat szakcsoportjait, területi csoportjait és valamennyi tagunkat, hogy a kitüntetésre érdemes kollégákat és tudományos eredményeiket bemutató javaslatokat legkésőbb **2021. március 15-ig** szíveskedjenek eljuttatni a Társulat titkárságára (1092 Budapest, Ráday utca 18. földszint 3., elft@elft.hu). A tudományos díjakat a kutatók saját kezdeményezésükre is megpályázhatják.

A Társulati díjakra a jelölések/pályázatok benyújtására szolgáló adatlapok letölthetők az ELFT honlapjának díjszekciójából (<http://elft.hu/tarsulatrol/dijak>), ahol egyben az elbírálási eljárás részleteire vonatkozó ismertetés is megtalálható. Kérjük, hogy a jelölések megfogalmazásában vegyék figyelembe az ismertető információit. Az ismertetés minden díjat hozzákapcsol legalább egy szakcsoport kutatási területéhez, amely szakcsoport ajánlásának beszerzése ajánlatos, de nem kötelező. A tudományos díjak elnyerésének nem előfeltétele a társulati tagság.

A mellékletek nagy részének elegendő a nyilvános (speciális esetben a Díjbizottság tagjaira korlátozott) adatbázisokból történő elérhetőségének megadása.

A társulati kitüntetéseket, valamint a tudományos és felsőoktatási díjakat várhatóan az ELFT 2021. májusi Küldöttgyűlésen osztjuk ki.

Társulati kitüntetések

Eötvös Loránd Fizikai Társulat Érem adományozható a Társulat azon tagjának, aki a fizika területén hosszú időn keresztül folytatott kutatási, alkalmazási vagy oktatási tevékenységet, valamint a Társulatban kifejtett munkásságával kiemelkedően hozzájárult a fizika hazai fejlődéséhez.

Prométheusz éremmel – „A fizikai gondolkodás terjesztéséért” – tüntethető ki az, aki a fizikai műveltség terjesztéséhez országos hatással hozzájárult.

Eötvös Plakett elnevezésű emléktárgy adományozható annak a társulati tagnak, aki hosszú időn keresztül aktív társadalmi munkával járul hozzá a Társulat egészének vagy valamelyik csoportjának, szakcsoportjának eredményes működéséhez; olyan személynek, aki társadalmi munkában vagy egyéb módon rendkívüli mértékben nyújt segítséget a Társulat célkitűzéseinek megvalósításához; neves külföldi vendégnek a Társulat valamely rendezvényén tartott előadása alkalmából.

A két éremre a Társulat Elnöksége tesz javaslatot a Küldöttgyűlés felé, a plakettekről az Elnökség dönt és arról a Küldöttgyűlést tájékoztatja.

Tudományos díjak

A Társulati Díjak különböző időszakra kiterjedő, a kiválóság eltérő jegeit hordozó eredményeket ismernek el. Ezeket két fő kategóriába soroljuk.

Életműdíjak

Hosszabb időszakban egyenletesen magas színvonalon, számos tématerületen megnyilvánuló tevékenységet kívánunk elismerni az alábbi, „Életműdíj” kategóriába sorolt társulati díjak:

Bozóky László-díj – „A sugárfizika és a környezettudomány területén hosszú időn át végzett magas színvonalú munkásságért, nemzetközi érdeklődést kiváltó eredményekért”;

Bródy Imre-díj – „Magas színvonalú elvi megfontolásokkal a fizika alkalmazásai területén hosszú időn át végzett színvonalas munkásságért, nemzetközi érdeklődést kiváltó eredményekért”;

Selényi Pál-díj – „Az alapvető jelenségek kísérleti vizsgálatában, továbbá azokon alapuló technikai eszközök nagy eredetiségű fejlesztésében hosszú időn át végzett magas színvonalú munkásságért, nemzetközi érdeklődést kiváltó eredményekért”.

PhD fokozat után – MTA-doktori cím előtt díj

Pályájuk induló szakaszán, egységes témakörben, több éven át önállóan folytatott projektben, kiemelkedő nemzetközi visszhangot kiváltott eredményt elért kutatók elismerésére szolgálnak az alábbi, „PhD fokozat után – MTA doktora cím előtt díj” kategóriába sorolt társulati díjak:

Budó Ágoston-díj – „Az optika és a molekulafizika területén, elsősorban kísérleti vizsgálatokban elért, jelentős nemzetközi visszhangot kiváltó kiemelkedő eredményért”;

Detre László-díj – „A csillagászatban, valamint bolygónkkal és annak kozmikus környezetével foglalkozó fizikai kutatások területén elért, jelentős nemzetközi visszhangot kiváltó kiemelkedő eredményért”;

Gombás Pál-díj – „A kvantumelmélet atom- és molekulafizikai alkalmazásában, továbbá a statisztikus fizikában végzett elméleti kutatásokkal elért, jelentős nemzetközi visszhangot kiváltó, kiemelkedő eredményért”;

Gyulai Zoltán-díj – „A szilárdtestek és a kondenzált anyag fizikájának kísérleti módszerekkel történő kutatásában elért, jelentős nemzetközi visszhangot kiváltó, kiemelkedő eredményért”;

Jánossy Lajos-díj – „A nagyenergiás fizika (kozmikus sugárzás, részecskefizika és nehézion-fizika) kísérleti kutatása és a kísérleti eredmények fenomenologikus értelmezése területén elért, jelentős nemzetközi visszhangot kiváltó, kiemelkedő eredményért”;

Novobátzky Károly-díj – „Az elméleti fizikai kutatásokban elért, jelentős nemzetközi visszhangot kiváltó, kiemelkedő eredményért”;

Schmid Rezső-díj – „Az anyag molekuláris szintű szerkezetét felderítő, jelentős nemzetközi visszhangot kiváltó, kiemelkedő eredményért”;

Szalay Sándor-díj – „Az atom- és atommagfizikában, illetve ezek interdiszciplináris alkalmazási területén elért, jelentős nemzetközi figyelmet kiváltó, kiemelkedő eredményért”;

Szigeti György-díj – „A lumineszcencia- és félvezető-kutatásokban elért, jelentős nemzetközi visszhangot kiváltó, kiemelkedő eredményért”.

A tudományos díjakból évente összesen legfeljebb hat adományozható, odaítélésük a Társulat Díjbizottságának javaslata alapján az Elnökség hatáskörébe tartozik.

Oktatási díj

Marx György felsőoktatási díj – „A fizika felsőfokú (egyetemi és főiskolai) oktatásában és a tanárképzésben sok évtizedes kiemelkedő alkotó- és nevelőmunkáért”.

Groma István
főtítkárné

Kamarás Katalin
a Díjbizottság elnöke