

fizikai szemle



2021/9

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:
Bíró László Péter, Bokor Nándor, Czitrovszky Aladár, Füstöss László, Gyürky György, Hebling János, Horváth Dezső, Horváth Gábor, Iglói Ferenc, Kiss Ádám, 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:
Jól szerepelni egy verseny – így az immár negyven éves Mikola-verseny – döntőjében komoly koncentrációt igényel.

TARTALOM

Horváth Dezső: Steven Weinberg, 1933–2021 293
Steven Weinberget 2021. július 23-ig sokan a legnagyobb élő elméleti fizikusnak nevezték

Horváth Dezső: Az elképesztő gyenge erő (kölsönhatási furcsaságok) 294
A gyenge kölcsönhatás számtalan furcsaságának áttekintése

Horváth Gábor, Virágh Balázs, Horváth Dániel, Slíz-Balogh Judit, 300
Horváth Ákos, Egri Ádám, Jánosi Imre: Miért keletre néz a Napot már nem követő napraforgók (*Helianthus annuus*) virágzata? – 2. rész
Az érett napraforgó-virágzat keleti irányulásának környezetoptikai magyarázata

Pálfalvi László, Kovács Vivien: A Green-féle reciprocitási tétel 309
és néhány folyománya – 2. rész
További következmények és példák a Green-féle reciprocitási tétel alkalmazására

HÍREK – ESEMÉNYEK

Csom Gyula, 1932–2021 (Aszódi Attila) 314

A FIZIKA TANÍTÁSA

Simon Péter: A Mikola-verseny első negyven éve 316
A verseny előtti időszak és a 40 éves verseny története

Kiss Miklós: A Mikola-verseny gyöngyösi döntőjének mérési 322
feladatairól
Néhány érdekes mérési feladat bemutatása az elmúlt 20 évből

SZÓRAKOZTATÓ FIZIKA

Horváth Dezső: Humor a tudományban, tudomány a humorban 328

D. Horváth: Steven Weinberg, 1933–2021

D. Horváth: The astonishing weak force (interaction peculiarities)

G. Horváth, B. Virágh, D. Horváth, J. Slíz-Balogh, Á. Horváth, Á. Egri, I. Jánosi:
Why do the inflorescences of sunflowers (*Helianthus annuus*), that no longer follow the sun, face east? – Part 2

L. Pálfalvi, V. Kovács: Green's reciprocity theorem and some of its corollaries
– Part 2

EVENTS

Gyula Csom, 1932–2021 (A. Aszódi)

TEACHING PHYSICS

P. Simon: First forty years of the Mikola Competition

M. Kiss: Measurement exercises from the finals of the Mikola Competition
in Gyöngyös

FUN PHYSICS

D. Horváth: Humor in science, science in humor

Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését támogatják:



STEVEN WEINBERG, 1933–2021

Steven Weinberg New Yorkban született 1933. május 3-án. Már 16 évesen elhatározta, hogy elméleti fizikus lesz és ebben nyilván nem volt egyedül, hiszen gimnáziumi osztálytársa volt *Sheldon Glashow*, akivel 30 évvel később együtt kapott fizikai Nobel-díjat. Igazi bolygó fizikus volt. 1954-ben diplomázott a Cornell Egyetemen, doktori munkáját Koppenhágában és a Princeton Egyetemen végezte. A PhD megszerzése után, 1957-ben a Columbia Egyetemen, majd Berkeley-ben dolgozott. Három évet az MIT-n töltött, 1973-ban *Julian Schwinger* helyére került a Harvardon, 1982-ben pedig a Texasi Egyetemen, Austinban lett professzor. Kezdetben az erős kölcsönhatással, majd asztrofizikával, később az elektromágneses és gyenge kölcsönhatás egyesítésével foglalkozott, amiért Sheldon Glashow és *Abdus Salam* társaságában 1979-ben Nobel-díjjal jutalmazták. Részt vett az amerikai fegyverzetkorlátozási és leszerelési bizottság munkájában, és elnöke volt a texasi filozófiai társaságnak.

Steven Weinberget 2021. július 23-ig sokan a legnagyobb élő elméleti fizikusnak nevezték. Elképesztő, mi mindent tett le a modern fizika asztalára, részecskefizikától a kozmológián keresztül egészen az elméleti fizika legalapvetőbb, már-már filozófiai kérdéseiig. A Fizikai Nobel-díjat 1979-ben nyerte el az elektrogyenge kölcsönhatás kidolgozásáért, amely máig a részecskefizika elmélete, a standard modell alapja. Jó néhány alapvető, monográfia szintű tankönyvet írt, legnevezetesebb közülük a *Gravitáció és kozmológia* és a háromkötetes *Kvantumtérelmélet*. Igen érdekesek az utóbbi mű kötetcímei: I. *Alapok*, II. *Modern alkalmazások* és III. *Szuperszimmetria*. Eből is látszik, milyen komoly reményeket fűzött a standard modell szuperszimmetrikus kiterjesztéséhez, amely elegáns megoldást kínál a részecskefizika legtöbb problémájára; komoly csalódást jelentett számára is, hogy a Nagy Hadronütköztető kísérletei a szuperszimmetrikus modellek legegyszerűbb jelenségeit mára erősen kizárták. Leghíresebb cikkét 1967-ben közölte *A Model of Leptons* (Leptonmodell) címmel: hivatkozik benne a spontán szimmetriasértés elmélete felállítóira (*Enrico Fermi*, S. Glashow, valamint *Peter Higgs* és a többi csoport).

Igen jelentős volt ismeretterjesztő munkássága is: népszerű kozmológiai összefoglalóját, *Az első három perccel*, a földkerekség szinte valamennyi nagyobb nyelvére lefordították, magyarul is több kiadást ért meg.

Érdekes volt viszonya a kvantumelmülethez. Újra és újra visszatért az alapjaihoz: állítása szerint egyszerűen megpróbálta megérteni. Jó néhány tudományos ismeretterjesztő cikket közölt a *New York Review of Books* folyóiratban a legkülönbözőbb témakörökben. Rendkívül szórakoztató és persze érdekes a *Baj a kvantummechanikával* című [1]. Felvázolja benne a hullámfüggvény valószínűségi értelmezését és idézi *Albert Einsteint* (Isten] nem dob kockát) és *Richard Feynman*



Sheldon Glashow (balra) és Steven Weinberg (jobbra) 1979-ben, a Fizikai Nobel-díj elnyerésekor tartott sajtótájékoztatón.

(Nyugodtan kijelenthetem, hogy a kvantummechanikát senki nem érti). Ő maga is egyetértett korábban azokkal, akik a fenti két véleményt fölöslegesen felfűjtnek tartották. Szerinte a baj nem abban van, hogy a kvantumelmélet kizárólag valószínűségeket szolgáltat, hanem abban, hogy az alapegyenletek (Schrödinger-, Dirac-, ...) nem valószínűségekkal, hanem határozott hullámfüggvénnyel számolnak. Akik eszköznek tekintik, azt mondják, a hullámfüggvénynek semmiféle valódi realitása nincs, csak segít megjósolni a mérés eredményét. A realisták hisznek a hullámfüggvény létezésében, de az egyebek között elvezet az állandóan termelődő végtelen sok világ létezésének elfogadásához, hiszen valamilyen valószínűséggel minden lehetséges eseménynek egyidejűleg be kell következnie. Végül pedig látszólagos megoldásként idézi a több különböző fizikusnak is tulajdonított általános tanácsot: *Hallgass és számolj*. Weinberg azonnal annyi heves kritikát kapott erre a cikkére, hogy három hónappal később külön írásban reagált rájuk, amelyhez a folyóirat mellékelt kritikus leveleket is [2].

Igazán élvezetes előadásokat tartott: 2009-ben, a budapesti Szimmetria Fesztiválon a legmelegebb kánikulában, a Budapest Műszaki Egyetem egyik légkondicionáló nélküli termében beszélt: azzal kezdte, hogy ez a hőség neki semmiség, Texasból jön, ahol 40 fokos a hőmérséklet (és Celsiusban mondta, nem az amerikai Fahrenheitben!). Az utána következő egyik előadó egyszerűen elájult beszéd közben a pódiumon. Budapesti előadásának címe, *Véletlen szimmetria*, a *Térelmélet* könyvét idézi, amelyben a részecskefizika sérülő szimmetriáit (mint a tér- és időbeli tükrözését) véletlen szimmetriáknak nevezi. Elő-

adását már csak azért is érdekes meghallgatni [3], hogy megcsodálhassuk gyönyörű előadói stílusát.

Minden nagy emberhez fűződnek mély mondások. Az ő legtöbbet idézett mondásai a természet megértéséért vívott küzdelmét tükrözik. Itt felsorolok néhányat saját fordításomban.

- A Világegyetem megértésére való törekvés egyike azon igen kevés dolognak, ami az emberi életet kissé a bohózat szintje fölé emeli, és a tragédia méltóságából ad neki valamennyit.

- Az alapötlet megnézni, meddig jutunk el természetfeletti beavatkozás feltételezése nélkül.

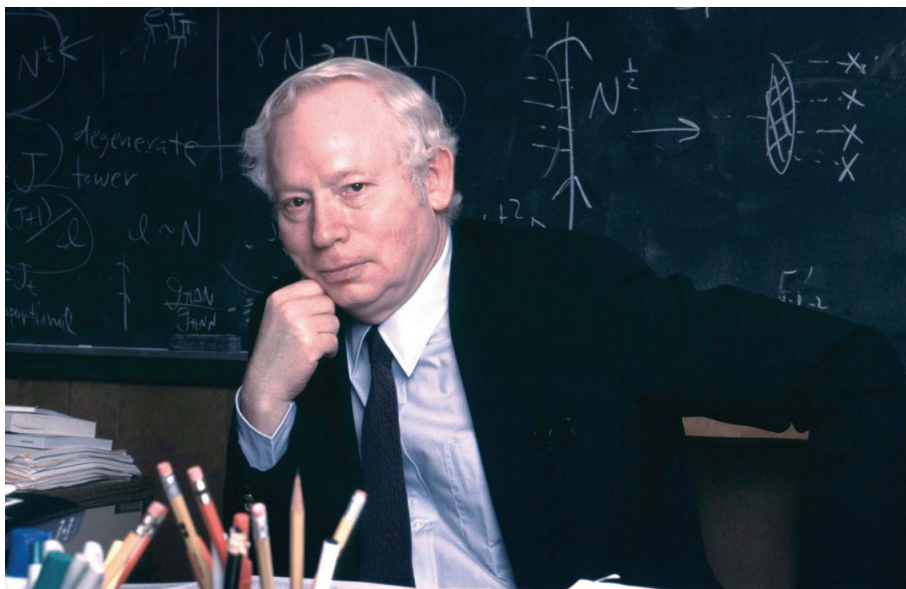
- Semmi olyant nem találunk a természeti törvényekben, aminek bármiféle köze volna a jóság, igazság, szeretet vagy törekvés fogalmához.

- Tudományos elméletet nem lehet tisztán matematikai úton kikövetkeztetni.

- Mennél érthetőbbnek látszik a világ, annál értelmetlenebbnek is.

A következő cikk a gyenge kölcsönhatás furcsaságairól szól, Steven Weinberg emlékének szentelve.

Horváth Dezső



Steven Weinberg a Texasi Egyetemen, Austinban 2008 januárjában (fotó Larry Murphy).

Irodalom

1. Steven Weinberg: The Trouble with Quantum Mechanics. *The New York Review of Books*, 2017, <https://www.nybooks.com/articles/2017/01/19/trouble-with-quantum-mechanics>
2. Steven Weinberg and the Puzzle of Quantum Mechanics. *The New York Review of Books*, 2017, <https://www.nybooks.com/articles/2017/04/06/steven-weinberg-puzzle-quantum-mechanics>
3. Steven Weinberg: *Accidental Symmetry*, előadás a Szimmetria Fesztiválon, Budapest, 2017 (Darvas György szervezésében), <http://kifu.videotarium.hu/hu/recordings/571/accidental-symmetry>

AZ ELKÉPESZTŐ GYENGE ERŐ (KÖLCSÖNHATÁSI FURCSASÁGOK)

Horváth Dezső
Wigner Fizikai Kutatóközpont, Budapest

Mottó:

„Csak az, hogy a dolgok szubatomi szinten kicsit zavarosak, még nem jelenti, hogy mindennek vége.”
(Murray Gell-Mann)

Atomjainkat és általában anyagunkat az elektromágneses kölcsönhatás tartja össze, az atommagot és alkatrészeit pedig az erős. Ezek tehát az építő kölcsönhatásaink (a gravitáció is az, de mindenünnen kilóg). A gyenge kölcsönhatás inkább bomlaszt: az izotópok béta-bomlását, a neutronbomlást és valamennyi részecskebomlás utolsó lépéseit az intézi. A gyenge kölcsönhatásnak emellett számtalan furcsasága van, és a témakör bizonyos részleteiről már több cikkben is beszámoltunk, de most megpróbáljuk nagy vonalakban az egészet áttekinteni, hivatkozva természetesen a korábbi, részletesebb cikkekre. Cikkünknek

szomorú apropót ad *Steven Weinberg*, az elektromágneses és gyenge kölcsönhatás Nobel-díjas egyesítőjének idei elhunytja.

Szimmetriák és közvetítő bozonok

Tipikus gyenge reakció a neutronbomlás:

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e,$$

vagy a neutrínó töltéscserés szóródása, amikor egy elektronneutrínó protonon szóródva elektronná alakul:

$$\nu_e + p \rightarrow e^- + n;$$

ez utóbbi felfogható a neutronbomlás átrendezésének. A részecskefizika átfogó elmélete, a standard modell ezeket a töltéscserés reakciókat a $W^\pm$ bozon

közvetítésével írja le. Így azonnal érthető lesz, miért tekintjük a kölcsönhatást gyengének: a $W^\pm$ bozon tömege¹ 80 GeV/ c^2 , és szegénynek közvetítenie kell a neutron bomlásánál felszabaduló 1,3 MeV energiát, amely a tömegénél négy nagyságrenddel kisebb. A Heisenberg-féle határozatlansági elv ugyan ezt lehetővé teszi, de csak nagyon rövid időre és így nagyon kis távolságra. Ennek eredménye a neutron hosszú élettartama és a gyenge bomlások kis hatáskeresztmetszete, és ezért viszonylag kicsi valószínűsége.

Destruktív jellege mellett a gyenge kölcsönhatás teszi színessé a részecskefizika elméletét, a standard modellt. A három alapvető részecske-kölcsönhatás közül a kvarkok közötti erős kölcsönhatás, amely a hadronokat egyben tartja, kiválóan leírható a háromállapotú *színtöltés* és a nyolc közvetítő bozon segítségével. Viszonylag könnyen eljutunk hozzá egy lokális (azaz helyről helyre változó) mértékszimmétriához, a 3×3 -as unitér, egységnyi determinánsú mátrixok által ábrázolt $SU(3)$ szimmétriához. Az elektromágnesség és közvetítője, a foton is látszólag hasonlóan származtatható egy lokális $U(1)$ mértéktranszformáció – amely az állapotfüggvény $e^{i\alpha(x)}$ -val történő szorzását jelenti, ahol $\alpha(x)$ valós téridőfüggvény – segítségével, csak az alkalmazásánál lépnek fel bizonyos matematikai nehézségek. A gyenge kölcsönhatásra, a pozitív és negatív béta-bomlásra szinte jelentkezik a lokális $SU(2)$, a 2×2 -es mátrixok mértékszimmétriája, amely felkínálja a béta-bomláshoz szükséges két töltött közvetítő bozont. Az azonban már nem működik, több okból, a fő probléma a részecske-tömeg értelmezése. Ehhez csak a szimmétria sértésével jutunk el. A továbbiakban nagyjából vázoljuk ennek megoldását, a mélyebben érdeklődő olvasónak ajánljuk az [1] tankönyvet.

A standard modell tehát szépen leírja világunk egy részét három, részben sérülő, lokális mértékszimmétriával. A gyenge kölcsönhatás hatótávolsága véges, így közvetítő bozonjainak nehezeknek kell lenniük, ellentétben a nulla tömegű fotonnal és gluonokkal. Az ilyen kölcsönhatást a Yukawa-potenciállal írjuk le:

$$V = -\frac{g}{R} \exp\left(-\frac{R}{R_0}\right),$$

¹A részecskefizika az E energiát és a részecskék m tömegét (az $E = mc^2$ Einstein-formula alapján) elektronvoltban méri, 1 eV energiát nyer egy elektron vagy proton 1 volt feszültség hatására, a GeV = 10^9 eV pedig kedvenc energiaegységünk.



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.

ahol g a kölcsönhatás erősségéhez kapcsolódó *csatolási tényező*, R a kölcsönhatásba lépő részecskék távolsága és R_0 a kölcsönhatás hatótávolsága, amely fordítottan arányos a közvetítő bozon tömegével. A kísérletek azt mutatták, hogy a béta-bomlás hatótávolsága igen rövid, bozonjának tehát nagyon nehéznek kell lennie. Ugyanakkor viszont a lokális mértékszimmétria nem viseli el a közvetítő részecske tömegét, tehát a gyenge kölcsönhatás nem írható le lokális $SU(2)$ mértékszimmétriával.

Paritássértés

A következő csavar a paritássértés felfedezése volt [2–4]. *T.-D. Lee* és *C.-N. Yang* 1956-ban feltételezték, hogy a gyenge kölcsönhatás nem tiszteli a reakciók tükrörszimmétriáját, és *C.-S. Wu* és *L. Lederman* kísérletei azt 1957-ben meg is mutatták. Kiderült, hogy a töltéscserével járó gyenge reakciók a balra polarizált (azaz a mozgásirányukkal ellentétes spinirányú) fermionokat és a jobbra polarizált antifermionokat kedvelik. Ezt paritássértésnek hívjuk, mert a polarizáció összefügg a rendszert leíró állapotfüggvény párosságával, azaz hogy megőrzi-e előjelét a térkoordináták tükrözésekor vagy nem. Ez azonnal Nobel-díjat hozott a Lee–Yang szerzőpárnak.

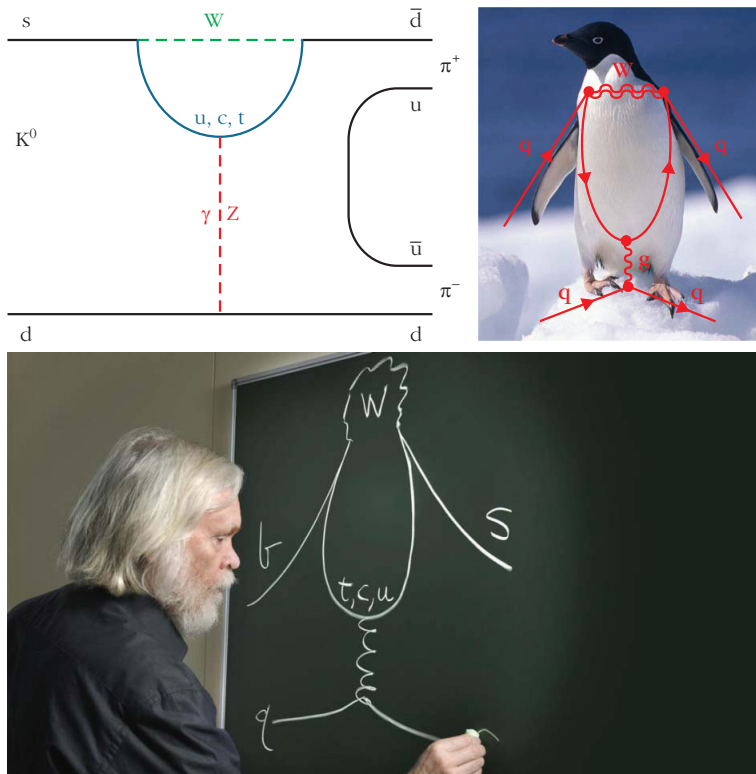
A pionbomlásnál keletkező pozitív müon, amely antirészecske lévén, természetesen jobbra polarizált, pozitronra és neutrínókra bomlik,

$$\mu^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\mu,$$

ahol a pozitron és a müon-antineutrínó jobbra, az elektron-neutrínó pedig balra polarizált lesz. Ennek az a drámai következménye, hogy a balra és jobbra polarizált elektron a gyenge kölcsönhatás szempontjából két egészen különböző részecske, pedig az elektromágnesség (és persze a gravitáció) számára ugyanaz, hiszen sem a tömege, sem a töltése nem változik meg attól, ha mágneses térben elfordítjuk a spinjét.

CP-sértés

A *CPT*-invariancia kemény törvény, kimondja, hogy ha egyidejűleg tükrözzük egy mikrorendszerben a *C* töltést (azaz részecskéből antirészecskét csinálunk), a *P* paritást (azaz a térkoordinátákat) és a *T* időt, akkor a mérhető fizikai mennyiségek változatlanok maradnak [3]. A béta-bomlás tanulmányozása megmutatta, hogy a paritás (tükrörszimmétria) ugyan 100%-ban sérül a gyenge kölcsönhatásban, de a *CP* invarianciában mindenki hitt, amíg fel nem fedezték, hogy a gyenge kölcsönhatás azt is sérti, bár csak kicsit [4]. A K^0 semleges kaon erős kölcsönhatásban keletkezik és gyengében bomlik, mert benne egy *s*-kvarknak át kell alakulnia *d*-kvarkká. Mezon lévén, kvark-antikvark kötött állapot és paritása negatív. A töltéstükrözés hatására $C|K^0\rangle \rightarrow |\bar{K}^0\rangle$, tehát a K^0 nem *CP*-sajátállapot,



1. ábra. Az egyenes CP -sértés pingvin-gráfja és „keresztapja”, John Ellis [1].

hiszen antirészecskévé alakul. A gyenge kölcsönhatás a K^0 -t kevert állapotnak érzi, két CP -sajátállapot keverékének,

$$\begin{Bmatrix} K_1 \\ K_2 \end{Bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} (K^0 \pm \bar{K}^0).$$

A pion paritása -1 . A feltételezett CP -megmaradás miatt a pozitív CP -sajátértékű K_1 két pionra bomlik, a negatív CP -sajátértékű K_2 viszont három pionra, és a harmadik részecske hozzáadása három nagyságrenddel növeli az élettartamát: $\tau_1 \approx 89$ ps és $\tau_2 \approx 52$ ns. Tovább bonyolítja a helyzetet, hogy a kétféle CP -sajátállapot tömege is különböző, bár a különbség rendkívül kicsi. Az erős kölcsönhatásban keletkező K^0 mezon repülés közben elbomlik, méghozzá kétféle módon: a K_1 gyorsan elbomlik és elegendően hosszú repülés után csak a hosszabb élettartamú K_2 komponens marad meg. Konkrétan felírva az állapotfüggvényt [1] azt találjuk, hogy a K_1 létideje alatt az eredetileg tiszta K^0 állapot időben periodikusan változik, *rezeg* K^0 és $\bar{K}^0$ között a K_1 és K_2 tömegkülönbségével arányos frekvenciával. Azt kísérletileg megmérve megállapították, hogy a kétféle K^0 állapot tömegkülönbsége 14 nagyságrenddel kisebb a kaontömegnél.

A K^0 mezonból tehát repülés közben fokozatosan *kibbal* a K_1 komponens és marad a K_2 . A CP -invarianciában ugyan mindenki hitt, de a paritásértés felfedezésekor azt is kísérletileg ellenőrizték, és ici-picit sértültnek találták, az esetek igen kis részében a hosszú élettartamú kaon is bomlott két pionra. Ezért a kísérletezők, *J. W. Cronin* és *V. L. Fitch* kaptak Nobel-dí-

jat, bár csak 16 évvel később. A hosszú élettartamú kaont emiatt K_L -l, a rövidet K_S -sel jelöljük, hiszen mindkettő K_1 és K_2 keveréke, bár a K_S -ben K_1 , a K_L -ben pedig K_2 dominál.

Vicces adalék, hogy a CP -sértés elméletének egyik kidolgozója, *Jonathan R. Ellis* az idevágó Feynman-gráfot pingvin-gráfnak nevezte el, mert egy darts-játszma veszteseként be kellett a következő cikkébe építenie a *pingvin* szót (1. ábra).

A neutrínó-ízrezgés felfedezése [5] megmutatta, hogy CP -sértésnek a leptonok között is léteznie kell, és azt sikerült is kísérletileg megfigyelni [6, 7].

A kvarkok keveredése

A standard modell három fermioncsaláddal írja le világunkat, mindegyik tartalmaz egy pár kvarkot, egy töltött leptont és a hozzá tartozó neutrínót (1. táblázat).

Csak az 1. család fermionjai stabilak (már amennyire az egymásba alakuló neutrínók annak tekinthetők), az összes többi nehezebb kvark és lepton azokra bomlik.

Végül a világunkban csak két stabil anyagi részecske található, a proton és az elektron, még a neutron is protonra bomlik. A kvarkok hatféle íze az erős kölcsönhatásban megmarad, mindegyik csak az antirészecskéjével párban tud keletkezni. Egymásba bomlásukat a gyenge kölcsönhatás vezérli, de az elvben csak egy-egy dubletten belül működik. Ugyanakkor a gyenge sajátállapotok nem egyeznek az erős kölcsönhatás által meghatározott íz-sajátállapotokkal, ez teszi lehetővé a családváltást. A gyenge kölcsönha-

1. táblázat

Leptonok és kvarkok, az alapvető fermionok három családja a standard modellben. T_3 a gyenge izospin harmadik komponense, amely a balra (L) polarizált dublettek alsó és felső fermionjait megkülönbözteti, a többi jelölést fokozatosan megvilágítjuk a szövegben. A jobbra (R) polarizált fermionok szinglett-állapotok, nulla gyenge izospinnel. Hasonló, de ellentétes előjelekkel az antirészecskék palettája.

	1. család	2. család	3. család	töltés	T_3
Leptonok	$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}_L$ e_R	$\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}_L$ μ_R	$\begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}_L$ τ_R	0 -1 -1	$+\frac{1}{2}$ $-\frac{1}{2}$ 0
Kvarkok	$\begin{pmatrix} u \\ d' \end{pmatrix}_L$ u_R d_R	$\begin{pmatrix} c \\ s' \end{pmatrix}_L$ c_R s_R	$\begin{pmatrix} t \\ b' \end{pmatrix}_L$ t_R b_R	$+\frac{2}{3}$ $-\frac{1}{3}$ $+\frac{2}{3}$ $-\frac{1}{3}$	$+\frac{1}{2}$ $-\frac{1}{2}$ 0 0

tás számára az s-kvark keveredik a d-vel és ez teszi lehetővé az $s \rightarrow u$ bomlást. Az $s \leftrightarrow d$ keveredést először *Nicola Cabibbo* ismerte fel, és egy szöggel, a Θ_C Cabibbo-szöggel jellemezte, amennyivel az erős kölcsönhatás s-d koordinátarendszerét el kell forgatnunk, hogy megkapjuk a gyenge kölcsönhatását. A harmadik fermioncsalád felfedezésekor már három keveredési szögre lett szükség, de *M. Kobayashi* és *T. Maskawa* a három szöghöz egyetlen paramétert hozzátéve egy $e^{i\delta}$ fázisszorzóval a CP-sértésről is számot tudott adni; az 1973-as felfedezést 2008-ban követte Nobel-díj [4]. Ezt a keveredési mátrixot a három fizikus nevének kezdőbetűi nyomán CKM-mátrixnak hívják.

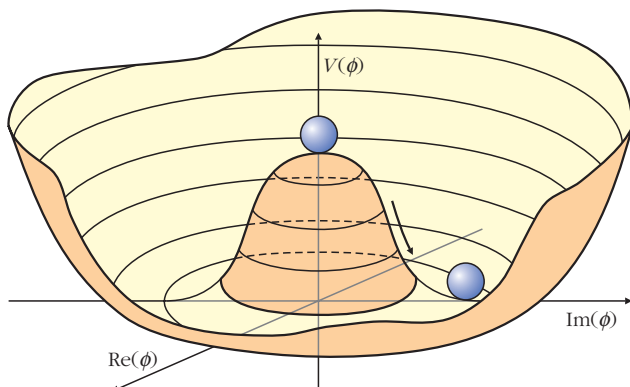
Ha egyszer a kvarkok keverednek, mi a helyzet a leptonokkal? A neutrínók egymásba alakulása arra vall, hogy a leptonok is keverednek, de ezzel két gond van a standard modellben. Egyrészt a töltött leptonok keveredése esetén a műonnak elektronra kellene neutrínók nélkül bomlania, $\mu^- \rightarrow e^- \gamma$, de ezt eddig nem sikerült megfigyelni. Másrészt a neutrínóknak nincs másik kölcsönhatása a gyengén kívül, amely keverhetné az állapotait. A neutrínók ízrezgése tehát kivezet a standard modellből [5].

Bozontömegek

A tömegek problematikáját (Lederman szerint isteni beavatkozásként [2]) megoldotta a Brout–Englert–Higgs (BEH) mechanizmus (gyakran még mindig, helytelenül Higgs-mechanizmusnak nevezik). Feltételezi, hogy a vákuumot egyenletesen kitölti egy erőter, a kétkomponensű BEH-mező, amely elrontja az üres tér tökéletes szimmetriáját, mert alaphelyzetben nem zérus az értéke. Ez a szimmetriasértés hat az $U(1)$ és $SU(2)$ mértékszimmetriára, de az erős kölcsönhatás $SU(3)$ -ára nem.

A BEH-mechanizmust a mexikói kalappal szokás illusztrálni (2. ábra). A potenciál teljesen hengerszimmetrikus, és ezt elvben nem rontja el, ha a zéruspontba golyót helyezünk, az azonban le fog gurulni a

2. ábra. Spontán szimmetriasértés. A BEH-mező potenciálját ábrázoló kalap hengerszimmetriája elromlik, amikor golyót helyezünk a csúcsára, mert a golyó stabil állapota valahol a völgyben van és legurul, de véletlenszerű, hogy hova esik.



völgybe, ezzel spontán sérti a rendszer szimmetriáját. Ez elrontja az $U(1)$ és $SU(2)$ szimmetriát, és tömeget teremtene a négy érintett bozonnak. A fotonnak nem lehet tömege, tehát az $SU(2)$ semleges komponenséből és az $U(1)$ -ből kikeverünk egy elektromágneses mezőt nulla tömegű fotonnal és egy Z-bozont a semleges gyenge kölcsönhatásnak. Ezért különbözik a $W^\pm$ - és Z-bozon tömege.

A két kölcsönhatást tehát egyesítettük és szétválasztottuk a BEH-mechanizmus segítségével: együtt elektrogyenge kölcsönhatásnak hívjuk őket. Lett tehát négy mértékbozonunk, az elektromágneses foton és a három gyenge bozon. A gyenge kölcsönhatás erősségéből ki lehetett számítani a gyenge bozonok tömegét, és azokat sikerült is megmérni összhangban a számítások előrejelzésével.

Fermiontömegek

Tudjuk, hogy az m_e tömegű elektron nyugalmi energiája $E = m_e c^2$, ahol c a fénysebesség. A részecskefizika alapegyenleteiben ez a potenciális energia $-m_e \bar{e} e$ alakban jelenik meg, ahol e az elektron állapotfüggvénye (Dirac-spinorja), $\bar{e}$ pedig annak Dirac-adjungáltja. Azonban a gyenge kölcsönhatás számára kétféle elektronállapot van, egy balra polarizált e_L és egy jobbra polarizált e_R (1. táblázat), szét kell őket választanunk. Ezt látszólag könnyen megtehetjük:

$$m_e \bar{e} e = m_e (\bar{e}_R e_L + \bar{e}_L e_R).$$

A fenti eljárás azonban nem alkalmazható, mert a gyenge kölcsönhatás számára az elektron balra polarizált párban, dublettben van a neutrínójával, az e_R viszont önmagában áll, szinglett állapot. Az elektromágneses kölcsönhatás számára az elektron tehát elemi lepton kétféle lehetséges polarizációval, a gyenge számára viszont az e_R szinglett állapot, az e_L viszont egy balra polarizált dublett egyik komponense, és a hozzátartozó neutrínóval együtt, párban kezelenőd. A kétféle függvényt nem lehet összeszorozni, mert különböző mennyiségek; a kvantumszámok is különböznek, tehát nem csatolódnak egymáshoz. Nem tudunk tehát tömegtagot biztosítani a fermionok potenciális energiájában, a gyenge kölcsönhatásban ugyanis valamennyi fermion – lepton és kvark – egyaránt részt vesz.

A kétkomponensű BEH-mező dublettje ezzel szemben már csatolódik a balra polarizált lepton- és kvarkdublettekhez, összeszorozható velük, és skalárszorzatuk szinglett, összehozható a jobbos szinglettekkel. Az egyenletekben tehát megjelenik a fermionok kölcsönhatása a BEH-mezővel, és a fermiontömegek, mint szabad paraméterek. Ellentétben a gyenge bozonok tömegével, a fermiontömegeket az elmélet nem jósolja meg.

A BEH-mező, komplex dublett lévén, négy független összetevő mezőt tartalmaz, közülük három fordítódik a három nehéz gyenge bozon tömegére, a ne-

gyedikből lesz a spin és töltés nélküli, *skaláris* Higgs-bozon. Mindehhez még kiderült, hogy a skaláris bozon létezése elméleti szempontból is praktikus, az alternatív (*Higgs-mentes*) tömegképződési mechanizmusoknak is célszerű gondoskodniuk egy skaláris bozonról. A BEH-elmélet 1964-ben született, de végső bizonyítékát, a Higgs-bozont csak 2012-ben sikerült megfigyelni [8], *F. Englert* és *P. W. Higgs* meg is kapták érte 2013-ban a Nobel-díjat (*Brout* nem érte meg).

A többi kölcsönhatás?

Láttuk tehát, hogy a standard modell szépen leír majdnem mindent, de az eddigi összes furcsaság a gyenge kölcsönhatáshoz kötődött. És a többi?

A gravitációra ez a séma egyáltalán nem húzható rá, két tömeg kölcsönhatását *Einstein* általános relativitás-elmélete alapján nem erőterek, mezők bozoncseréjével írjuk le, hanem a tér görbületével. Ahogyan a zseniális *Douglas Adams* megírta [9]: *A relativitásban az anyag megmondja a térnek, hogyan görbüljön, a tér meg az anyagnak, hogyan mozogjon.* Vannak természetesen kísérletek összeházasítására a másik hárommal, be is vezettek számára egy közvetítő bozont, a gravitont. Ha az egyáltalán létezik, erősen különbözik a többi közvetítő bozontól. A három megszokott kölcsönhatás bozonja $S = 1$ ($\hbar$ egységben) spinnel rendelkezik, és a lendületcseréjüket lineárisnak képzeljük: az egyik részecske kibocsátja, a másik elnyeli. Ez nem lehet érvényes a gravitonra, amelynek a négydimenziós téridő torzulását kell közvetítenie, és az elmélet szerint $S = 2$ spinje kell, hogy legyen. Mivel a kísérletek szerint a gravitáció végtelen hatótávolságú és fénysebességgel terjed, a graviton tömege is nulla.

Az elektromágnességnek (pontosabban az elektromágnességnek) is megvan a különlegessége, ugyanis a másik kettővel ellentétben taszító is lehet, azonos előjelű töltések taszítják egymást. A bozonja nem hordoz elektromos töltést, a tömege nulla, tehát végtelen hatótávolságú, és potenciálképpel szépen leírható: az egyik töltés létrehoz egy elektromágneses teret és a másikra az hat (ez persze teljesen szimmetrikus a kettő között).

Az erős kölcsönhatás az elektromossal szemben, rengeteg sajátossággal rendelkezik. Elvileg szépen leírható a lokális $SU(3)$ invariancia segítségével, az meg is teremti a nyolc gluont. Azok azonban hordozzák a három színtöltést, mégpedig mindegyik egy színt és egy antiszínt. Mivel a kilenc kombináción nyolc duplatöltésű gluon osztozik, mindegyikre $2 \times 9/8 = 9/4$ -szer akkora színtöltés jut, mint a kvarkokra. Ennek következménye a kvarkbezárás: ha két kvarkot megpróbálunk egymástól eltávolítani, egyre több gluon keletkezik közöttük, a gluonok további gluonokat keltenek, azok meg szétesnek kvark-antikvark párokra, a kísérletileg látható eredmény nagy energián hadronzápor lesz: az ütközésből kirepülő kvark vagy gluon irányában kilövellő hadronok sokasága, esetenként sok száz részecskével, főként a leg-

könnyebb hadronnal, a pionnal. Emiatt a színkölcsönhatáshoz bizonyos távolságon túl durván lineáris potenciált rendelhetünk, hasonlatosat a megfeszített rugóhoz, a távolsággal egyenesen arányosat.

Vákuum tele mindenfélével

Nagyon furcsa a részecske-kölcsönhatások viszonya a vákuumhoz, amely valamilyen értelemben soha nem üres tér, viszont minden esetben különböző, az adott kölcsönhatás alapállapotához kötődik. A gravitációnál a téridőnek szerkezete van, amely az erő hatására torzul, ezt a gravitációs hullámok észlelésével meg is mérték. A színkölcsönhatás vákuuma egyáltalán nem üres, az elmélet szerint kvark- és gluonkondenzátumot tartalmaz. Intenzív elméleti vizsgálatok tárgya, és a standard modell egyik (bár a számításokban általában elhanyagolt) paramétere a kvantum-színdinamika csatolása a saját vákuumához.

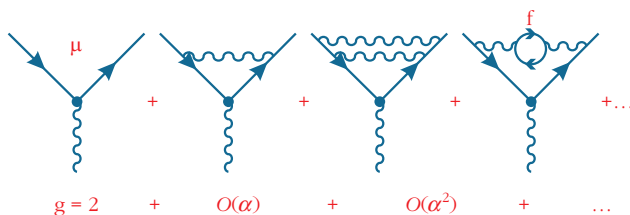
Sajátosságban persze itt is a gyenge kölcsönhatás a győztes. Láttuk, hogy az elektromágneses vákuumot kitölti a szimmetriasértő BEH-mező, amely megteremti a részecskék tömegét és a különleges Higgs-bozont, mint saját gerjesztését. Ami igazán sajátossá teszi, az a BEH-mező paramétereinek energiafüggése. A BEH-vákuum minimumában ülünk, de ha (a standard modellel ellentétben) az metastabil több minimummal, elvben átcsúszhatunk nagy energiák hatására egy másikba, és akkor persze megváltozna az elemi részecskék tömege, sőt még a gyenge kölcsönhatás erőssége is [10]. Szerencsére a számítások szerint ennek annyira csekély a valószínűsége, hogy még egy metastabil BEH-vákuum esetén is az átmenet várható élettartama jelentősen meghaladja Világegyetemünk jelenlegi korát.

A standard modell paraméterei

A BEH-mechanizmus a standard modell paramétereire a BEH-mező két paraméterével, a vákuum nulla-ponti várható értékével és az önkölcsönhatás csatolásával, valamint a hatféle kvark- és a háromféle lepton-tömeggel (a neutrínók tömege a standard modellben zérus) járul hozzá. A háromféle kölcsönhatás csatolásával és a kvarkok négy állapotkeveredési mátrixelemével jön ki a 18 paraméter. Gyakran 19. paraméternek hozzá szokták venni a kvantum-színdinamika Θ vákuumcsatolását is. A standard modellt viszont nyilvánvalóan ki kell terjesztenünk, hogy beleférjen a neutrínók tömege és izrengése: ez a minimális kiterjesztés esetén is még három tömeget és négy keveredési paramétert ad hozzá [5].

Korrekciók

Ha eddig netán viszonylag egyszerűnek tűnhetett a részecskefizika elmélete, akkor ki kell, hogy ábrándítsuk az olvasót. Említettük, hogy a neutronbomlásnál a



3. ábra. Korrekciók a müon mágneses momentumához [1], jobb oldalt fent egy fermionhurokkal.

közvetítő bozon annyira virtuális, hogy a tömegénél négy nagyságrenddel kisebb energiát közvetít. Mi akadályozza meg annak, hogy a térben szabadon terjedő foton nagyon rövid időkre virtuális fermion-antifermion, elektron-pozitron vagy pláne kvark-antikvark párra alakuljon? Természetesen semmi, meg is teszi. Ráadásul ott a Heisenberg-féle határozatlansági reláció (azaz igen rövid téridőn) kívül semmi sem korlátozza, tehát egy ilyen virtuális fermionnak akár mekkora lehet a lendülete, hiszen az antifermion azt kompenzálja. Az ilyen virtuális párokat az alakjuk miatt hurkoknak hívjuk, és hatásukat a mért értékekre hurkokorrekcióknak. A virtuális fermionpár cserélhet virtuális bozont, fotont, W-bozont vagy gluont egymással, a bozonok pedig újabb fermionpárt képezhetnek, és így tovább, a végtelenségig. Az ilyen korrekciókra kitűnő példa (3. ábra) a müon anomális mágneses momentuma, amelyet nagyon pontosan lehet mérni és a különböző korrekcióit számítani [11]. A helyzetet megmenti, hogy az ilyen hurkok a kölcsönhatási csatolás négyzetével arányos járulékot adnak az előző tagokhoz, amely például a foton esetén $\alpha \approx 1/137$ magas hatványon lesz, tehát elenyészik. Gond csak az erős kölcsönhatás csatolásával van, amely kisebb energiáknál egységnyihez közelít, tehát a fenti módszer nem működik; szerencsére nagy energián már 0,1 alatti, tehát a sor konvergál.

Az ilyen korrekciók jelentős segítséget nyújtanak új fizikai jelenségek keresésekor. A CERN LEP elektron-pozitron ütköztetője a Z-bozon tömegének megfelelő, 91 GeV körüli energián indult, de a mért folyamatok korrekciói szinte azonnal megmutatták, hogy a legnehezebb, és emiatt még fel nem fedezett t-kvark tömegének 180 GeV körülnek kell lennie. Valóban, a Fermilab Tevatronjának sikerült is felfedeznie 173 GeV-nél.

A naiv olvasó azt hinné, hogy ezek a korrekciók a maguk virtuális részecskéivel csak matematikai trükkök, amelyek segítenek a folyamatok pontosabb kiszámításában. Ez óriási tévedés. A LEP-nél tanulmányoztuk azokat az eseményeket, amelyekben az elektron és a pozitron ütközéskor csak fotoncserével szóródott egymáson. Ezek a fotonok egymással kölcsönhatásban valódi, észlelhető kvark-antikvark párokat tudtak kelteni, mégpedig bőségesen. E folyamat egyetlen lehetséges magyarázata az, hogy az egyik foton virtuális kvarkja vagy antikvarkja, töltött részecske lévén, elnyelte a másik fotont, és kilöködött a hurkból. A LEP utolsó két évében annyi ilyen eseményünk volt, hogy több tucat PhD-értekezés született a tanulmányozásából.

Hány elemi részecskénk van?

Eleminek a belső szerkezet nélküli részecskéket tekintjük, tehát az elektron és a foton elemi, a proton viszont nem. A standard modellnél maradva a címbeli kérdésre látszólag egyszerű a válasz: van hatféle kvarkunk és leptonunk, az antirészecskéikkel együtt tehát 24 fermion, 1 + 3 + 8 bozon a három kölcsönhatáshoz és a Higgs-bozon, összesen 37. Ez sem ilyen egyszerű, a részecskék száma attól függ, milyen kölcsönhatást tekintünk. Az erős kölcsönhatás a színtöltéssel kapcsolatos, a leptonok számára nem létezik, van viszont hat kvarkja három színben és hat antikvarkja antiszínnel, az tehát 36 fermion; ahhoz jön még nyolc gluon, összesen 44 *színes* részecske. Az elektromágnesség a töltéshez csatolódik, de a szín hidegen hagyja, számára tehát létezik hat kvark és három töltött lepton az antirészecskéikkel, 18 fermion, valamint a foton és két töltött gyenge bozon, összesen 21 *elektromágneses* részecske. Szokás szerint az energiához csatolódó gravitáció innen is kilóg, és a legbonyolultabb a gyenge kölcsönhatás. A standard modellben nincs neutrínótömeg és -ízrezgés, ennek megfelelően a gyenge kölcsönhatás számára létezik 3 fermioncsalád, mindegyikben két-két balra polarizált kvarkkal és leptonnal, valamint két jobbkezes kvarkkal és egy jobbkezes leptonnal, ez 21 elemi fermiont jelent, antirészecskéikkel együtt 42-t.² Ehhez jön még a három gyenge bozon, az összesen 45 *gyenge* részecske.

A figyelmes olvasó talán észrevette, hogy az eddigiekből kimaradt a standard modell egyik kulcsfigurája, a Higgs-bozon. Az a BEH-mező gerjesztése, ahhoz csatolódik. A BEH-mezőt csak a részecsketömegek érdeklik, azokból is csak az elemieké, hiszen anyagunk tömegét – lényegében a protonét és a neutronét – túlnyomórészt energia adja, a kvarkok és az elektron keveset tesznek hozzá. A BEH-mezőt hidegen hagyja a részecskék összes többi tulajdonsága, tehát a részecskeszáma minimális: hat kvark és három lepton, valamint 3 bozon (W-, Z- és a Higgs-, a $W^\pm$ -on az eredete miatt lehet vitatkozni, nem ket-tő-e), mindössze tucatnyi részecske rendelhető hozzá. Mindez természetesen a standard modell állatsegregletére vonatkozik, ahol a neutrínóknak nincs tömegük.

Tanulság?

Talán sikerült megmutatnunk, hogy a részecskefizika nagyon érdekes, igazán színes jelenség a fizikában, mind elméleti, mind pedig kísérleti téren. Láttunk több igen alapvető szimmetriát, amelyet a gyenge kölcsönhatás sért: a térbeli tükrörszimmetriát (paritás), az időtükrözést (CP) és a vákuumét (BEH-mechaniz-

²Vegyük észre, hogy Douglas Adams-nél ez a szám a végső válasz a Világegyetem létezésének alapvető kérdésére [9], legalább is a szuper-szuper számítógép szerint.

mus). Weinberg ezeket véletlen szimmetriáknak tekintette: a természetben ugyan nem érvényesülnek, de segítenek megérteni a természet törvényeit.

Irodalom

1. Horváth Dezső és Trócsányi Zoltán: *Bevezetés az elemi részek fizikájába*. Typotex, Budapest, 2017. Angolul: *Introduction to Particle Physics*. Cambridge Scholars Publishing, 2019.

2. Leon Lederman és Dick Teresi: *Az isteni a-tom. Mi a kérdés, ha a válasz a világegyetem?* Typotex, Budapest, 2007 (Vassy Zoltán fordítása).

3. Horváth Dezső: Szimmetriák és sértésük a részecskék világában – a paritásértés 50 éve. *Fizikai Szemle* 57/2 (2007) 47.

4. Trócsányi Zoltán: Az eltűnt szimmetria nyomában – a 2008. évi fizikai Nobel-díj. *Fizikai Szemle* 58/12 (2008) 417.

5. Trócsányi Zoltán: Neutrínók interferenciája. *Fizikai Szemle* 56/6 (2016) 182.

6. Radics Bálint: A CP-szimmetriasértés kísérleti megfigyelése neutrínó-ízoscillációkban. *Fizikai Szemle* 70/7–8 (2020) 245.

7. Radics Bálint, Trócsányi Zoltán: A CP-sértés nagysága a lepton-szektorban. *Fizikai Szemle* 71/3 (2021) 81.

8. Horváth Dezső: *A Higgs-bozon*. Typotex, 2014; Séta a Higgs-bozon körül. *Fizikai Szemle* 71/2 (2021) 37. és 71/3 84.

9. Douglas Adams: *Galaxis útikalauz stopposoknak, a világ leg-hosszabb trilógiája öt kötetben*. 3. kötet: *Az élet, a világ minden-ség meg minden*. GABO könyvkiadó, Budapest, 2000 (Kollárik Péter fordítása).

10. Horváth Dezső: Higgs-bozon és a világ vége vagy kezdete. *Fizi-kai Szemle* 65/4 (2015) 115.

11. Horváth Dezső és Trócsányi Zoltán: Műon: mi az és mire jó? *Fizikai Szemle* 68/5 (2018) 147.

MIÉRT KELETRE NÉZ A NAPOT MÁR NEM KÖVETŐ NAPRAFORGÓK (*HELLANTHUS ANNUUS*) VIRÁGZATA?

2. rész: a napraforgó-virágzat maximális fényenergiát nyel el, ha keletre néz és a délutánok felhősebbek a délelőttiöknél

Horváth Gábor, Virágh Balázs, Horváth Dániel
ELTE Biológiai Fizika Tanszék, Környezetoptika Laboratórium, Budapest

Slíz-Balogh Judit
ELTE Csillagászati Tanszék, Budapest

Horváth Ákos
Hamburgi Egyetem, Meteorológiai Intézet, Hamburg

Egri Ádám
Ökológiai Kutatóközpont, Vízi Ökológiai Intézet, Budapest

Jánosi Imre
Nemzeti Köszolgálai Egyetem, Víz- és Környezetpolitika Tanszék, Budapest

Cikkünkben a Napot már nem követő, érett napraforgó-virágzat keleti irányulásának környezetoptikai magyarázatát adjuk. Az első részben az érett napraforgó-virágzatok keletre nézésének korábbi magyarázatairól szöltünk, valamint környezetoptikai számítási és biológiai mérési módszereinket írtuk le. E második részben az eredményeinket ismertetjük és elemzzük [2].

Eredmények

A Nap pályái Boone County egén

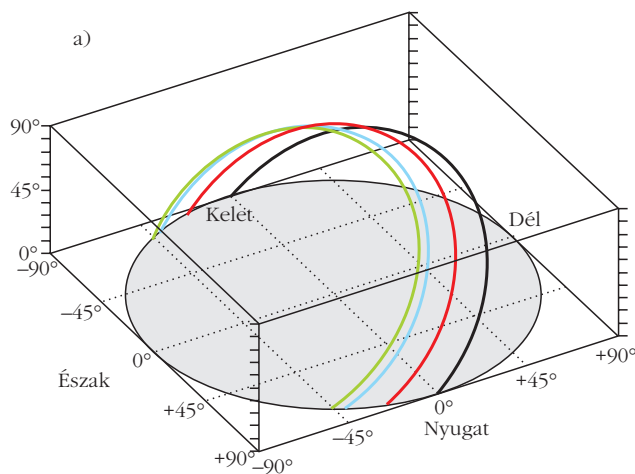
Számításaink egyik fontos bemeneti paramétere a Nap égi pályája júliusban, augusztusban és szeptemberben (5. ábra). A nap éggömbi pályája egy kör, aminek dőlésszöge a vízszintestől $90^\circ - 39^\circ = 51^\circ$ Boone County-ban (Kentucky, USA, $39,0^\circ$ É, $-84,75^\circ$ K), aminek környékéről származik a háziasított napraforgó [11]. Az 1. táblázat tartalmazza Boone County-ban a napkelte legkorábbi és a napnyugta legkésőbbi időpontját, valamint július, augusztus és szeptember

delének időtartományait. December 21. és június 21. között a napkelte iránya délkelettől keleten át északkelet felé halad, míg a napnyugta iránya délnyugattól nyugaton át északnyugatig vándorol. Június 21-én ezen irányok megfordulnak, és december 21-ig viszszafele mozognak. Boone County-ban a Nap delelőpontjának elevációs szöge $27,6^\circ$ -ról nő, június 21-én éri el $74,5^\circ$ -os maximumát, majd december 21-ig csökken. A tavaszi és őszi napéjegyenlőség és napforduló

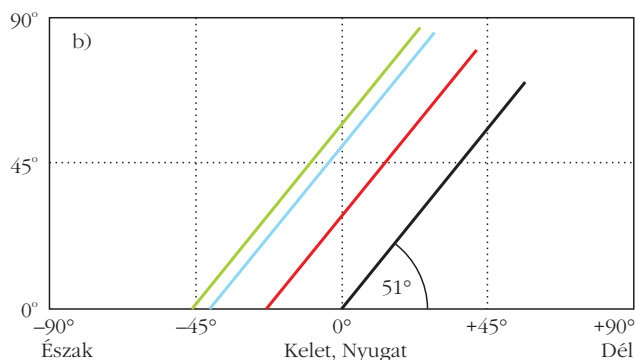
1. táblázat

A legkorábbi napkelte és a legkésőbbi napnyugta ideje (helyi idő), valamint a szoláris dél időintervalluma júliusban, augusztusban és szeptemberben Boone County-ban (Kentucky, USA, $39,0^\circ$ É, $-84,75^\circ$ K).

hónap	legkorábbi napkelte	szoláris dél	legkésőbbi napnyugta
július	5 ó 17 p	12 ó 42–45 p	20 ó 8 p
augusztus	5 ó 39 p	12 ó 39–45 p	19 ó 50 p
szeptember	6 ó 7 p	12 ó 28–38 p	19 ó 9 p



— szeptember 23. / március 20. — június 21.
— május 23. / július 23. — augusztus 23. / április 22.



5. ábra. A Nap számított pályái az éggömbön Boone County-ban (Kentucky, USA, 39,0° É, -84,75° K) május 23-án, június 21-én, szeptember 23-án és augusztus 23-án. Helyi idő = greenwichi középido -5 óra. a) Perspektivikus ábrázolás. b) Oldalnézet.

időpontjai évről évre a következőképpen változnak: március 20–21., június 20–22., szeptember 22–23. és december 21–22.

A napraforgófej időfüggő dőlésszöge

A következő oldalon található 6. ábra 100 érett napraforgó-virágzat normálvektorának vízszintestől mért θ_n elevációs szögeit mutatja a t idő függvényében. A mért adatokra illesztett $\theta_n(t)$ harmadrendű függvény a következő:



Horváth Dániel szabadúszó autodidakta informatikus.



Slíz-Balogh Judit a BME-n végzett matematikus-mérnök-ként, majd menedzserként dolgozott a Graphisoft SE szoftverfejlesztő cégnél. A Pázmány Péter Katolikus Egyetem Hittudományi szakán hittanári, majd az ELTE-n csillagász diplomát szerzett, ahol 2020 őszén doktorált a Fizika Doktori Iskola Részecskefizika és Csillagászat programjában. Fő kutatási területe az égi mechanika, azon belül a Naprendszer Lagrange-pontjainak kaotikus dinamikája és képalakító polarimetriája.



Horváth Ákos az ELTE-n végzett meteorológusként, majd az Arizonai Egyetemen (Tucson) szerzett MSc és PhD fokozatot légkörtudományból. Utána évekig a NASA Sugárhajtóművek Laboratóriumában (Pasadena) és a Miami Egyetemen volt vendégkutató. Fő kutatási területe a meteorológiai és vulkáni felhők műholdas távérzékelése a látható és infravörös hullámhossztartományban. Jelenleg a Hamburgi Egyetem Meteorológiai Intézetének Sugárzási és Távérzékelési csoportjában kutat.



Horváth Gábor fizikus, az MTA doktora, egyetemi tanár, az ELTE Biológiai Fizika Tanszék Környezetoptika Laboratóriumának vezetője. A vizuális környezet optikai sajátosságait és az állatok látását tanulmányozza, továbbá biomechanikai kutatásokat folytat. Számos szakmai díj és kitüntetés tulajdonosa. Évtizedek óta aktív tudományos ismeretterjesztői munkát is folytat előadások és cikkek formájában.



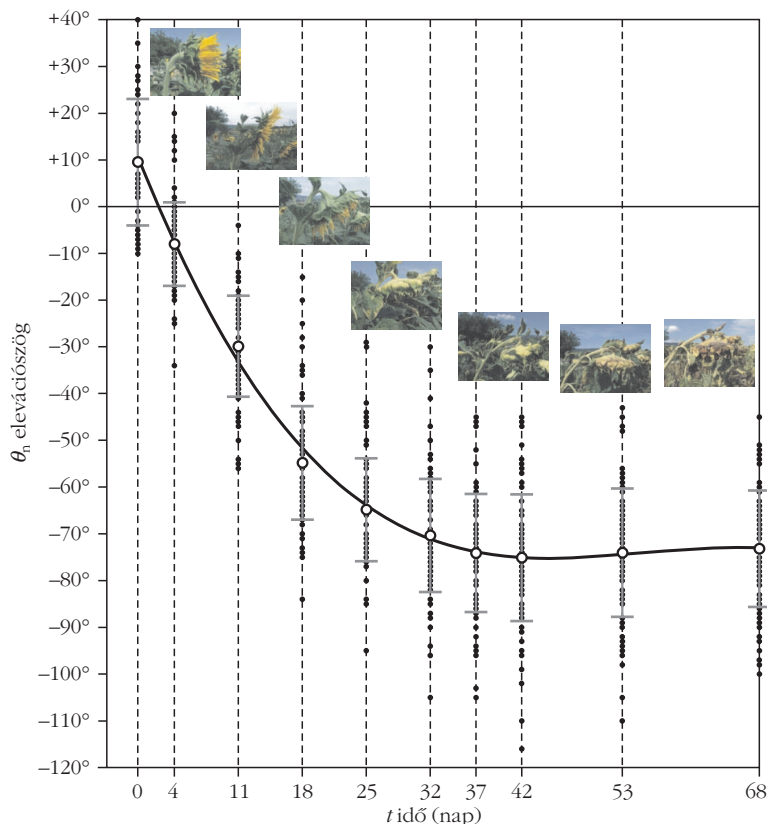
Egri Ádám az ELTE-n végzett biofizikusként, majd ott szerezte meg a PhD fokozatot a Biológiai Fizika Tanszék Környezetoptika Laboratóriumában, Horváth Gábor vezetésével. Jelenleg az Ökológiai Kutatóközpont Vízi Ökológiai Intézetének tudományos munkatársa. Elsősorban ízeltlábúak vizuális ökológiájával foglalkozik, különös tekintettel a látórendszerük spektrális és polarizációs érzékenységére.



Virágh Balázs Péter az ELTE-n 2021-ben szerezte meg fizika BSc fokozatát a biofizikus szakirányon. „A napraforgóvirágzat (*Helianthus annuus*) állandó keleti irányának környezetoptikai magyarázata” című diplomamunkáját a Biológiai Fizika Tanszék Környezetoptika Laboratóriumában írta Horváth Gábor témavezetésével. Az indiai klasszikus zenét előadói szinten műveli. A budapesti Ganapati Pakhawaj Zeneiskola alapítója, Pakhawaj és a klasszikus indiai zene művészetének terjesztője.



Jánosi Imre Miklós fizikus, az MTA doktora, az MTA Statisztikus Fizikai Tudományos Bizottság elnöke. 2021 elejétől a drezdai Max Planck Institut für Physik Komplexer Systeme vendégkutatója volt. 2021 szeptemberétől a Nemzeti Köszolgáltatási Egyetem Víz- és Környezetpolitikai Tanszék vezetőjeként folytatja korábbi, több évtizedes ELTE-s pályáját.



6. ábra. 100 napraforgó-virágzat normálvektorának vízszintestől mért θ_n elevációs szöge a napban számolt t idő függvényében a virágképzés után. A fekete pontok a θ_n -értékeket mutatják, a fehér körök és az I alakú függőleges pálcikák pedig az átlagokat és szórásokat. A folytonos görbe az illesztett $\theta_n(t) = at^3 + bt^2 + ct + d$ függvény, ahol $a = -5,657 \cdot 10^{-4}$, $b = 9,341 \cdot 10^{-2}$, $c = -4,964$, $d = 10,494$. A betétképek balról jobbra egyre idősebb napraforgófejeket mutatnak oldalról (Horváth Gábor fotói). E képek vízszintes helyei nem teljesen felelnek meg a függőleges vonalak jelezte időpontoknak.

$$\theta_n(t) = at^3 + bt^2 + ct + d, \quad (23)$$

ahol $a = -5,657 \cdot 10^{-4}$, $b = 9,341 \cdot 10^{-2}$, $c = -4,964$, $d = 10,494$ és t -t napban mérjük. A virágképzést követő

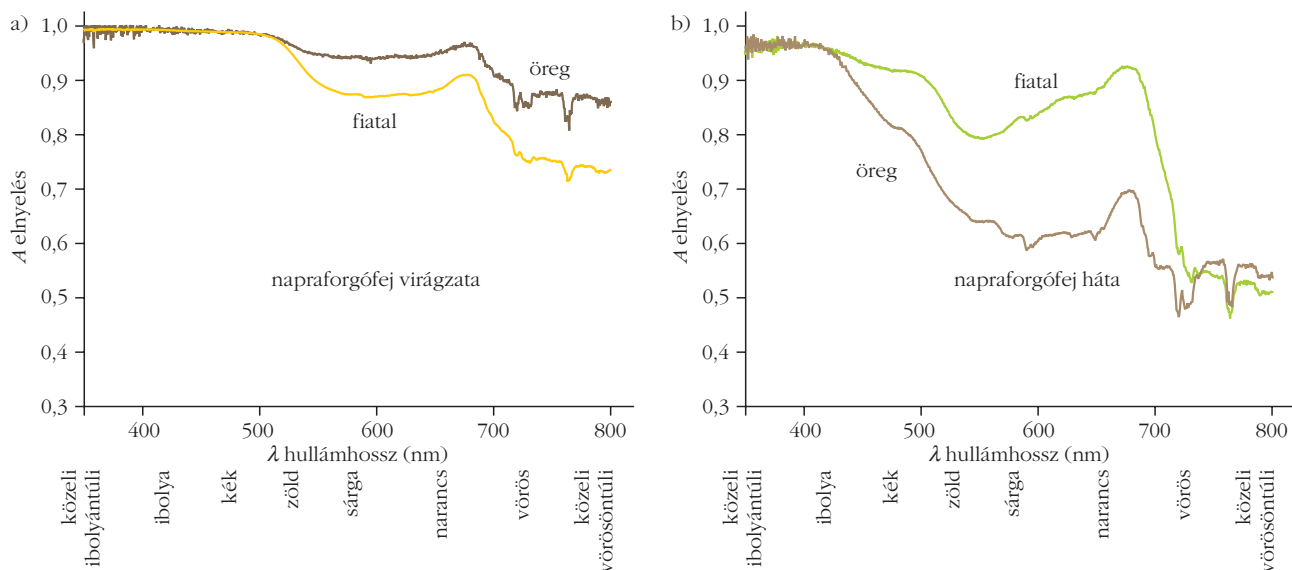
első három hétben az átlagos θ_n meredeken csökken $+10^\circ$ -ról, a 42. napon éri el -75° minimumát, végül kissé emelkedik -72° -ra. θ_n folyamatos csökkenésének oka elsősorban a fej súlyának fokozatos növekedése. Bár θ_n végső kis növekedése statisztikailag nem szignifikáns a nagy szórások miatt, ez mégis egy valós biológiai jelenség: a szár fejdali görbült végének öregségi elszáradásakor a felső szárrész gyorsabban szárad, mint az alsó (így a felső szárhossz gyorsabban rövidül az alsónál), mert az előbbi több közvetlen napfényt kap, mint az utóbbi.

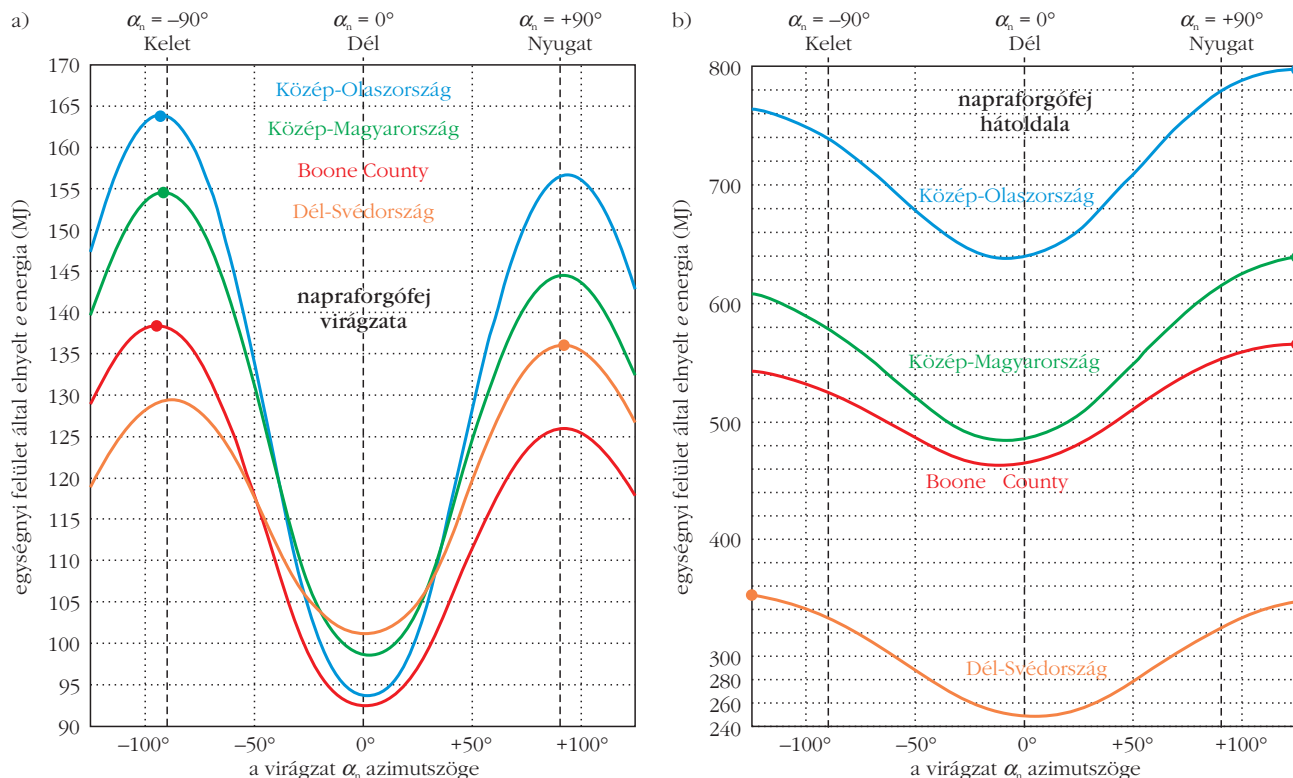
A napraforgófej virágzatának és hátának elnyelési spektrumai

A 7. ábra a napraforgófej fiatal (virágképzés utáni 2. heti) és öreg (virágképzés utáni 4. heti) virágzatának és hátoldalának teljesen borult ég alatt mért átlagos $0 \leq A(\lambda) \leq 1$ elnyelési spektrumait szemlélteti. A fiatal és öreg virágzatoknál a fényelnyelés egyaránt gyengébb volt a vörös és a közeli infravörös (KIV) spektrális tartományokban, mint a kék, ibolya és közeli ultraibolya (KUI) tartományokban (7.a ábra). A spektrum zöld, vörös és KIV részében a sárga, fiatalabb virágzatok fényelnyelése kisebb volt, mint a narancssárga öregebbeké. Mind a fiatal, mind az öreg virágzatok fényelnyelése a KUI, ibolya és kék tartományt átfogó, széles elsődleges maximummal ($A \approx 1$) bír, továbbá egy keskenyebb, másodlagos maximummal 680 nm körül.

A napraforgófej hátoldalának elnyelési spektrumai (7.b ábra) hasonlóak a virágzatéihoz, a következő két fő eltéréssel: 1) A fejhát fényelnyelése szinte minden hullámhosszon gyengébb, mint a virágzaté (7.a áb-

7. ábra. Fiatal (2 hetes) és öreg (4 hetes) napraforgófejek virágzatának (a) és hátoldalának (b) $A(\lambda)$ elnyelési spektruma, ahol λ a hullámhossz.





8. ábra. Egy napraforgófej virágzata (a) és hátoldala (b) egységnyi felülete által elnyelt teljes fényenergia a virágképzés (július 1.) és öregeedés (szeptember 7.) között a virágzat normálvektorának α_n azimuttszöge függvényében Boone County-ban, Közép-Olaszországban, Közép-Magyarországon és Dél-Svédországban. A görbék elsődleges maximumait pontok jelzik.

ra). 2) A KUI tartomány kivételével, a sárgászöld, öregebb fejhát fényelnyelése gyengébb, mint a zöld fiatalabbé. Úgy a fiatal, mint az öreg fejhát elnyelési spektrumának egy széles elsődleges maximuma ($A \approx 1$) van a KUI- és ibolyatartományokban, és 680 nm körül egy keskenyebb másodlagos maximuma.

A napraforgófej virágzata és háta által elnyelt fényenergia az azimuttszög függvényében

A 8. ábra a virágképzés (július 1.) és öregeedés (szeptember 7.) között a napraforgófej virágzata és hátoldala egységnyi felülete által elnyelt e_{teljes} teljes fényenergiát mutatja a virágzat normálvektorának α_n azimuttszöge függvényében Boone County-ban, Közép-Olaszországban, Közép-Magyarországon és Dél-Svédországban. A 2. táblázat a virágképzés és öregeedés között a virágzat és fejhát egységnyi felülete által elnyelt teljes fényenergia értékeit tartalmazza. A fejhát által elnyelt teljes fényenergia 4-5-ször nagyobb a virágzat által elnyelténél. A 8.a ábra és a 2. táblázat szerint, a virágzat maximális energiát $\alpha_{\text{max1}} = -94^\circ$ azimuttszögnél nyel el, ami majdnem megegyezik a keleti iránnyal ($\alpha_{\text{kelet}} = -90^\circ$). A virágzat $e_{\text{virágzat}}(\alpha_n)$ függvényének másodlagos maximuma $\alpha_{\text{max2}} = +92^\circ$ azimuttszögnél van, ami közel megegyezik a nyugati iránnyal ($\alpha_{\text{nyugat}} = +90^\circ$). $e_{\text{virágzat}}(\alpha_n)$ minimuma $\alpha_{\text{min}} = +1^\circ$ azimuttszögnél van, ami gyakorlatilag egybeesik a déli iránnyal ($\alpha_{\text{dél}} = 0^\circ$). Egy kelet felé néző virágzat $e_{\text{max1}}/e_{\text{max2}} = 1,1$ -szer és $e_{\text{max1}}/e_{\text{min}} = 1,5$ -szer több fényenergiát nyel el, mint egy rendre nyugatra és dél-

re néző (2. táblázat). Ezzel szemben, egy dél helyett nyugat felé néző virágzat $e_{\text{max2}}/e_{\text{min}} = 1,36$ -szor több energiát nyel el.

Ezen eredményekből arra a következtetésre jutunk, hogy ha a Napot már nem követő, érett napraforgó-virágzat által elnyelt fényenergia egy jelentős környezeti tényező a magok fejlődésében és érésében, akkor Boone County-ban a virágzat ideális azimutiránya szinte pontosan kelet. Az ilyen, keletre néző virágzatok rendre 10 és 50%-kal több fényenergiát nyelnek el, mint a nyugatra vagy délre nézők.

A 8.b ábra és 2. táblázat szerint, egy érett napraforgófej háta $\alpha_{\text{max1}} = +124^\circ$ északnyugati azimuttszög esetén nyel el maximális fényenergiát. A hát $e_{\text{hát}}(\alpha_n)$ függvényének $\alpha_{\text{max2}} = -125^\circ$ északkeleti azimuttszögnél másodlagos maximuma van. $e_{\text{hát}}(\alpha_n)$ minimuma $\alpha_{\text{min}} = -12^\circ$ azimuttszögnél van, ami egy délihez közeli irány. Egy északnyugatra néző virágzatú fej háta rendre $e_{\text{max1}}/e_{\text{max2}} = 1,04$ és $e_{\text{max1}}/e_{\text{min}} = 1,22$ -szer több energiát nyel el, mint egy északkeletre és délre néző virágzatú fej háta (2. táblázat). Továbbá, egy dél helyett északkelet felé néző virágzatú napraforgófej háta $e_{\text{max2}}/e_{\text{min}} = 1,17$ -szer több energiát nyel el. Ezen eredmények arra utalnak, hogy Boone County-ban a napraforgó-virágzat ideális azimuttszöge $\alpha_n = +124^\circ$ (északnyugat) lenne, ha a fejhát által elnyelt fényenergia maximalizálása lenne a növény számára fontos.

A főnti számításokat megismételtük Közép-Olaszország (4.b ábra), Közép-Magyarország (4.c ábra) és Dél-Svédország (4.d ábra) felhővalószínűségei mellett is. Olaszország és Magyarország esetében

2. táblázat

A virágképzés (július 1.) és öregedés (szeptember 7.) között egy napraforgófej virágzata és hátoldala egységnyi felülete által elnyelt teljes fényenergiák, azok arányai és maximumhelyei Boone County-ban, Közép-Olaszországban, Közép-Magyarországon és Dél-Svédországon.

	Boone County		Közép-Olaszország		Közép-Magyarország		Dél-Svédország	
	virág	hát	virág	hát	virág	hát	virág	hát
$e_{\max1}$ (MJ)	138,4	566,0	163,7	797,6	154,5	638,1	136,1	352,0
$e_{\max2}$ (MJ)	125,9	543,6	156,5	763,9	144,5	608,6	129,4	346,6
$e_{\min}$ (MJ)	92,5	463,5	93,5	637,8	98,6	483,7	101,2	249,7
$e_{\max1}/e_{\max2}$	1,10	1,04	1,05	1,04	1,07	1,05	1,05	1,02
$e_{\max1}/e_{\min}$	1,50	1,22	1,75	1,25	1,57	1,32	1,34	1,41
$e_{\max2}/e_{\min}$	1,36	1,17	1,67	1,20	1,47	1,26	1,28	1,39
$\alpha_{\max1}$	-94°	+124°	-92°	+125°	-91°	+125°	+92°	-125°
$\alpha_{\max2}$	+92°	-125°	+94°	+124°	+92°	-125°	-88°	+125°
$\alpha_{\min}$	+1°	-12°	+2°	-8°	+3°	-8°	+1°	+5°

virágzata dél helyett északnyugatra néz, $e_{\max2}/e_{\min} = 1,39$ -szer több energiát nyel el.

Mindebből arra a következtetésre jutunk, hogy ha a virágzat által elnyelt fényenergia lenne a legfontosabb tényező az érett napraforgófejek számára, akkor Dél-Svédországban a virágzat ideális azimutja szinte pontosan nyugat lenne. Másrészt, ha a fejhát által elnyelt fényenergia maximalizálása lenne a növény célja, akkor Dél-Svédországban a napraforgó-virágzat ideális azimutszöge $\alpha_n = -125^\circ$ (északkelet) lenne.

A 8. ábra szerint, amint a tenyésztésterület Olaszországtól, Magyarországon és Boone County-n át Svédországig változik, a keletre néző érett nap-

raforgó-virágzatok által elnyelt fényenergia csökken. Ugyanez igaz az érett napraforgófejek háta által elnyelt energiára, az azimutszögüktől függetlenül.

Az a végkövetkeztetésünk, hogy az érett napraforgó-virágzatok keletre nézésének egyértelmű előnye, hogy maximalizálja a virágzat által elnyelt teljes fényenergiát, ha a délutánok felhősebbek, mint a délelőttök, amint az jellemző Boone County-ra, Közép-Olaszországra és Közép-Magyarországra. Ez az energiatöbblet elsősorban annak köszönhető, hogy a virágzatnak nagy a fényelnyelése a spektrum közeli ultraibolya, ibolya, kék és vörös tartományokban (7.a ábra). Ez az extra fényenergia kézenfekvő környezetoptikai magyarázatot ad arra a kérdésre, hogy miért a napraforgó-virágzat keleti irányultsága a legelőnyösebb a háziasított napraforgó származási helyére jellemző aszimmetrikus délelőtti-délutáni felhőviszonyok ($\sigma_{\text{délutáni}} < \sigma_{\text{délutáni}}$) között.

Hogy a valós légköri sugárzási viszonyokat még jobban közelítsük, a fönti számításokat elvégeztük olyan direkt és diffúz sugárzási adatokkal is, amelyek az ECMWF (European Centre for Medium Range Weather Forecasts) ERA5 (European Re-Analysis generation 5) projektjéből származtak [17]. Ezen adatbázisból meghatároztuk a földfelszín egységnyi vízszintes felületére eső, a nap k -adik ($1 \leq k \leq 24$) $\Delta t = 1$ óra időtartamára átlagolt direkt napfény és diffúz égfény W_{Nap} és $W_{\text{diffúz}}$ energiafluxusát (W/m^2) a 2009 és 2019 közti évtizedre átlagolva, az észak-amerikai Boone County ($39,0^\circ \text{ É}$, $-84,75^\circ \text{ K}$, helyi idő: UTC -5 óra), Tennessee ($35,5^\circ \text{ É}$, $-88,25^\circ \text{ K}$, UTC -6 ó) és Georgia ($31,25^\circ \text{ É}$, $-83,25^\circ \text{ K}$, UTC -5 ó), valamint az európai Közép-Olaszország ($41,0^\circ \text{ É}$, $15,0^\circ \text{ K}$, UTC +1 ó), Közép-Magyarország ($47,0^\circ \text{ É}$, $19,0^\circ \text{ K}$, UTC +1 ó) és Dél-Svédország ($58,0^\circ \text{ É}$, $13,0^\circ \text{ K}$, UTC +1 ó) régiói esetén. E meteorológiai sugárzási adatok felhasználásával kapjuk a napraforgó-virágzat egységnyi felülete

hasonló eredményre jutottunk, mint Boone County-ban (8. ábra, 2. táblázat): az $e_{\text{virágzat}}(\alpha_n)$ elsődleges maximuma $\alpha_n = -92^\circ$ (Olaszország) és $\alpha_n = -91^\circ$ (Magyarország) azimutszögnél van, míg $e_{\text{hát}}(\alpha_n)$ elsődleges maximuma mindkét országban $\alpha_n = +125^\circ$ azimutszögnél. Továbbá, egy keletre néző napraforgó-virágzat 5 (Olaszország) és 7 (Magyarország) százalékkal több energiát nyel el, mint egy nyugatra néző. Végül, egy keletre néző virágzat 75 (Olaszország) és 57 (Magyarország) százalékkal több energiát nyel el, mint egy délre néző. E hasonlóságok oka, hogy Olaszországban és Magyarországon is a délutánok felhősebbek a délelőttöknél, úgy mint Boone County-ban (4.a-c ábra).

Ezzel szemben, a napraforgószezonban Dél-Svédországban a délelőttök felhősebbek a délutánoknál, vagyis $\sigma_{\text{délutáni}} > \sigma_{\text{délutáni}}$ (4.d ábra), aminek következményei: egy svéd napraforgó-virágzat maximális fényenergiát $\alpha_{\max1} = +92^\circ$ azimutszög esetén nyel el, ami majdnem megegyezik a nyugati iránnyal ($\alpha_{\text{nyugat}} = +90^\circ$). $e_{\text{virágzat}}(\alpha_n)$ másodlagos maximuma $\alpha_{\max2} = -88^\circ$ azimutszögnél van, ami gyakorlatilag kelet ($\alpha_{\text{kelet}} = -90^\circ$). $e_{\text{virágzat}}(\alpha_n)$ minimuma $\alpha_{\min} = +1^\circ$ azimutszögnél van, ami lényegében dél ($\alpha_{\text{dél}} = 0^\circ$). Egy nyugatra néző virágzat rendre 5 és 34%-kal több fényenergiát nyel el, mint egy keletre és délre néző, míg egy dél helyett kelet felé néző virágzat 28%-kal több energiát nyel el.

Dél-Svédországban az érett napraforgófej háta $\alpha_{\max1} = -125^\circ$ azimutszögnél nyel el maximális fényenergiát. Az $e_{\text{hát}}(\alpha_n)$ függvénynek $\alpha_{\max2} = +125^\circ$ azimutszögnél van másodlagos maximuma és $\alpha_{\min} = +5^\circ$ azimutszögnél minimuma. Egy északkelet felé néző virágzatú fej hátsó oldala rendre $e_{\max1}/e_{\max2} = 1,02$ és $e_{\max1}/e_{\min} = 1,41$ -szer több fényenergiát nyel el, mint egy északnyugat és dél felé néző virágzatú fej háta (2. táblázat). Továbbá, azon napraforgófej háta, aminek

által a fej napkövetésének leállításától a magérés végéig elnyelt teljes fényenergiát:

$$e_{\text{virág}} = \sum_{i=1}^m \left[e_{\text{Nap, virág}, i}(\theta_n, \alpha_n) + e_{\text{diffúz, virág}, i}(\theta_n, \alpha_n) \right],$$

$$e_{\text{Nap, virág}, i}(\theta_n, \alpha_n) = \sum_{k=1}^{k=24} \cos \gamma(k, \theta_n, \alpha_n) \frac{W_{\text{Nap}}(k) \Delta t}{\sin \theta_s^i(k)}, \quad (24)$$

$$e_{\text{diffúz, virág}, i}(\theta_n, \alpha_n) = \frac{2\theta_n + \pi}{2\pi} \sum_{k=1}^{k=24} W_{\text{diffúz}}(k) \Delta t,$$

ahol $i = 1$ a virágzat napkövetésének leállta utáni 1. napot jelöli, míg $i = m$ a magérés utolsó napjának felel meg, k ($1 \leq k \leq 24$) a k -adik $\Delta t = 1$ órás időtartam egy napon belül, $\cos \gamma$ kifejezését (11) adja, és

$$\frac{2\theta_n + \pi}{2\pi}$$

az égbolt azon hányada, ahonnan a virágzat diffúz égfényt kap (2. ábra). Hasonlóan adódik a napraforgófejhát egységnyi felülete által ugyanezen időszakban elnyelt teljes fényenergia:

$$e_{\text{hát}} = \sum_{i=1}^m \left[e_{\text{Nap, hát}, i}(\theta_n, \alpha_n) + e_{\text{diffúz, hát}, i}(\theta_n, \alpha_n) \right],$$

$$e_{\text{Nap, hát}, i}(\theta_n, \alpha_n) = \sum_{k=1}^{k=24} -\cos \gamma(k, \theta_n, \alpha_n) \frac{W_{\text{Nap}}(k) \Delta t}{\sin \theta_s^i(k)}, \quad (25)$$

$$e_{\text{diffúz, hát}, i}(\theta_n, \alpha_n) = \frac{\pi - 2\theta_n}{2\pi} \sum_{k=1}^{k=24} W_{\text{diffúz}}(k) \Delta t,$$

ahol

$$\frac{\pi - 2\theta_n}{2\pi}$$

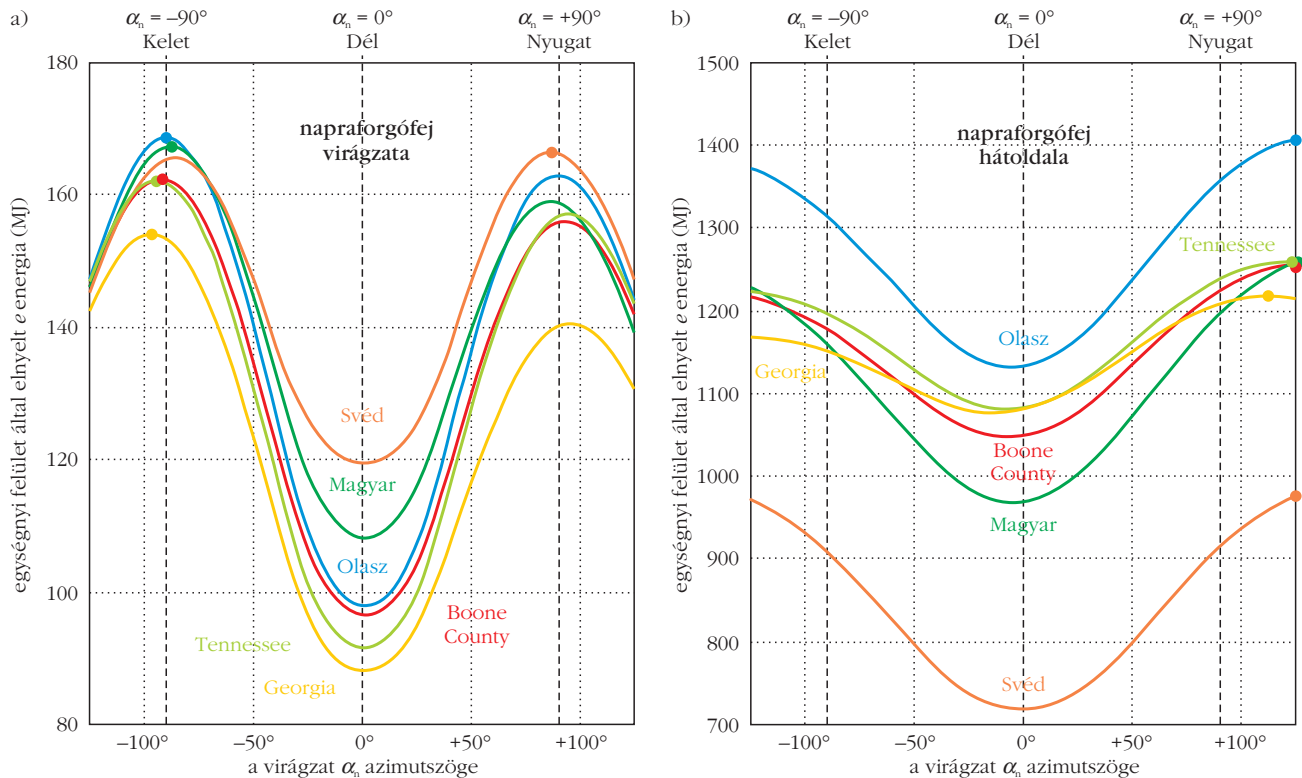
az égbolt azon hányada, ahonnan a fejhát diffúz égfényt kap (2. ábra). A számítógépes integráláskor a (25) szerinti $e_{\text{Nap, hát}, i}(\theta_n, \alpha_n)$ komponens csak akkor növekszik, amikor a fejhát közvetlen napfényt kap, vagyis amikor a $-1 < \cos \gamma(k) < 0$ feltétel teljesül. Mivel ekkor $\cos \gamma < 0$, ezért a (25)-beli $\cos \gamma$ előtt negatív előjel szükséges.

A fenti számítások eredményeit a 9. ábra és a 3. táblázat foglalja össze Boone County, Tennessee, Georgia (ahonnan a háziasított napraforgó származik), Közép-Olaszország, Közép-Magyarország és Dél-Svédország esetén. Mind a hat régióra az $e_{\text{virág}}(\alpha_n)$ és $e_{\text{hát}}(\alpha_n)$ görbék minimuma közel délen van ($\alpha_{\min} \approx \alpha_{\text{dél}} = 0^\circ$), továbbá a napraforgófejhát 6-8-szor több fényenergiát kap, mint a virágzat. Az első öt régióban a virágzat rendre $\alpha_{\max 1} = -92^\circ, -94^\circ, -96^\circ, -90^\circ$ és -87° azimutszögeknél részesül a legtöbb fényenergiában, ami lényegében keletnek ($\alpha_{\text{kelet}} = -90^\circ$) felel meg. Az $e_{\text{virág}}(\alpha_n)$ görbék másodlagos maximuma $\alpha_{\max 2} = +93^\circ, +95^\circ, +97^\circ, +90^\circ, +87^\circ$ azimutszögeknél van, azaz gyakorlatilag nyugaton ($\alpha_{\text{nyugat}} = +90^\circ$). Egy keletre néző virágzat $e_{\max 1}/e_{\max 2} = 1,04, 1,03, 1,10, 1,03, 1,05$ -szor, illetve $e_{\max 1}/e_{\min} = 1,68, 1,77, 1,75, 1,72, 1,54$ -szor több energiát kap, mint egy nyugatra, illetve délre néző. Másrésről, egy dél helyett nyugatra néző virágzat $e_{\max 2}/e_{\min} = 1,61, 1,71, 1,59, 1,66, 1,47$ -szor több energiában részesül.

A szóban forgó első öt régióban a napraforgó fejhát $\alpha_{\max 1} = +125^\circ, +121^\circ, +112^\circ, +125^\circ$ és $+125^\circ$ északnyugati azimutoknál kap legtöbb fényenergiát (9. ábra, 3. táblázat). Az $e_{\text{hát}}(\alpha_n)$ görbék másodlagos maximuma $\alpha_{\max 2} = -125^\circ$ északkeleti azimutszögnél van. Egy napraforgófejhát, aminek virágzata északnyugatra néz $e_{\max 1}/e_{\max 2} = 1,03, 1,03, 1,04, 1,03, 1,02$ -szor, illetve $e_{\max 1}/e_{\min} = 1,20, 1,16, 1,13, 1,24, 1,30$ -szor több fényenergiában részesül, mint egy olyan fejhát, aminek virágzata északkeletre, illetve délre néz. Egy napraforgófejhát, aminek virágzata dél helyett északkeletre néz, $e_{\max 2}/e_{\min} = 1,16, 1,13, 1,09, 1,21, 1,27$ -szor több energiát kap.

A fentiekből következik, hogy ha a napraforgók számára a virágzatukat érő fényenergia maximalizálása a legfontosabb, akkor a szóban forgó első öt régióban kelet a virágzat ideális azimutiránya, mert a keletre néző virágzatok 3–10%-kal, illetve 54–77%-kal több energiát kapnak, mint a nyugatra, illetve délre nézők. Ennek oka, hogy a régiókban a délutánok felhősebbek a délelőttiéknél a napraforgók tenyészidejében.

Dél-Svédországban más a helyzet, mivel ott nyáron a délelőtti felhősebbek a délutánoknál, aminek következménye, hogy a svéd napraforgó-virágzatok $\alpha_{\max 1} = +87^\circ$ azimutszögnél kapják a legtöbb fényenergiát, ami gyakorlatilag nyugatnak ($\alpha_{\text{nyugat}} = +90^\circ$) felel meg (3. táblázat). Az $e_{\text{virág}}(\alpha_n)$ görbe másodlagos maximuma $\alpha_{\max 2} = -85^\circ$ azimutszögnél van (9. ábra), ami lényegében kelet ($\alpha_{\text{kelet}} = -90^\circ$). Egy nyugatra néző svéd napraforgó-virágzat 1%-kal, illetve 39%-kal több fényenergiában részesül, mint egy keletre, illetve délre néző, míg egy dél helyett keletre néző virágzat 39%-kal több energiát kap. Dél-Svédországban a napraforgófejhátak $\alpha_{\max 1} = +125^\circ$ azimutszögnél kapják a legtöbb fényenergiát. Az $e_{\text{hát}}(\alpha_n)$ görbe $\alpha_{\max 2} = -125^\circ$ azimutszögnél rendelkezik másodlagos maximummal. Egy északnyugatra ($\alpha_n = +125^\circ$) néző virágzatú napraforgófejhát $e_{\max 1}/e_{\max 2} = 1,01$ -szor, illetve $e_{\max 1}/e_{\min} = 1,36$ -szor több fényenergiát kap, mint egy olyan fejhát, aminek virágzata északkeletre



9. ábra. Egy napraforgófej virágzata (a) és hátoldala (b) egységnyi felülete által elnyelt e teljes fényszerke (július 1.) és öregedés (szeptember 7.) között a virágzat normálvektorának α_n azimuttszöge függvényében Boone County, Tennessee, Georgia, Közép-Magyarország és Dél-Svédország régiókban. A görbék elsődleges maximumait pontok jelzik.

($\alpha_n = -125^\circ$), illetve délre ($\alpha_n = 0^\circ$) néz (9. ábra, 3. táblázat). Egy dél ($\alpha_n = 0^\circ$) helyett északkeletre ($\alpha_n = -125^\circ$) néző virágzattal bíró napraforgófej háta $e_{\max 2}/e_{\min} = 1,35$ -szor több energiában részesül. Mindezek szerint, ha a napraforgók számára a virágzatukat érő fényszerke maximalizálása a legfontosabb, akkor Dél-Svédországban az $\alpha_n = +87^\circ$ nyugati azimuttszög lenne a virágzat ideális iránya. Ugyanakkor, ha a napraforgók számára a fejhátukat érő fényszerke maxi-

malizálása lenne a legfontosabb, akkor Dél-Svédországban az $\alpha_n = +125^\circ$ északnyugati azimuttszög lenne a virágzat ideális iránya.

Vegyük észre, hogy a meteorológiai direkt és diffúz sugárzásméréseken alapuló eredmények kvalitatíven azonosak a légköri sugárzási modellszámításainkból kapottakkal [2], miáltal ugyanarra a végkövetkeztetésre vezetnek. Mindez e kissé eltérő két számítási módszer helyességét tükrözi.

3. táblázat

A virágképzés (július 1.) és öregedés (szeptember 7.) között egy napraforgófej virágzata és hátoldala egységnyi felülete által elnyelt teljes fényszergeik, azok arányai és maximumhelyei Boone County, Tennessee, Georgia, Közép-Magyarország és Dél-Svédország régiókban.

	Boone County		Tennessee		Georgia		Közép-Magyarország		Közép-Magyarország		Dél-Svédország	
	virág	hát	virág	hát	virág	hát	virág	hát	virág	hát	virág	hát
$e_{\max 1}$ (MJ)	162,4	1256,0	162,2	1258,8	154,1	1217,3	168,6	1407,8	167,2	1258,5	166,4	977,0
$e_{\max 2}$ (MJ)	156,0	1217,2	157,2	1223,5	140,5	1168,7	163,0	1372,9	158,9	1229,5	165,5	972,0
$e_{\min}$ (MJ)	96,7	1048,4	91,7	1082,8	88,2	1077,3	98,0	1133,8	108,3	970,2	119,4	719,2
$e_{\max 1}/e_{\max 2}$	1,04	1,03	1,03	1,03	1,10	1,04	1,03	1,03	1,05	1,02	1,01	1,01
$e_{\max 1}/e_{\min}$	1,68	1,20	1,77	1,16	1,75	1,13	1,72	1,24	1,54	1,30	1,39	1,36
$e_{\max 2}/e_{\min}$	1,61	1,16	1,71	1,13	1,59	1,09	1,66	1,21	1,47	1,27	1,39	1,35
$\alpha_{\max 1}$	-92°	$+125^\circ$	-94°	$+121^\circ$	-96°	$+112^\circ$	-90°	$+125^\circ$	-87°	$+125^\circ$	$+87^\circ$	$+125^\circ$
$\alpha_{\max 2}$	$+93^\circ$	-125°	$+95^\circ$	-125°	$+97^\circ$	-125°	$+90^\circ$	-125°	$+87^\circ$	-125°	-85°	-125°
$\alpha_{\min}$	$+3^\circ$	-8°	$+2^\circ$	-8°	$+1^\circ$	-16°	$+1^\circ$	-5°	$+2^\circ$	-2°	$+2^\circ$	0°

Az eredmények értelmezése és elemzése

A napraforgóban (*Helianthus annuus*) a fény nagy részét a levelek gyűjtik össze, a szár és a levélnyelek csak kevesebb, mint 5%-kal járulnak hozzá a teljes fényelnyeléshez. A napraforgófej által elnyelt nagy fényenergia növeli a szerv hőmérsékletét, miáltal felgyorsítja fejlődését, különösen a magok növekedését. Az érett napraforgó-virágzatok állandó keleti irányultságának Bevezetésben említett hat magyarázata egyelőre csak hipotetikus, mert kísérletekkel nincs alátámasztva. A napraforgó-virágzat keletre nézésének magyarázata céljából meghatároztuk a fej által elnyelt összes fényenergiát a virágképzés (amikor leáll a napkövetés) és a teljes öregedés közti időszakban a virágzat azimutiránya függvényében, különböző felhővalószínűségek mellett [2]. Megállapítottuk, hogy a virágzat által elnyelt fényenergia maximumát biztosító ideális azimut a keleti irány, ha a délelőttök átlagban kevésbé felhősek a délutánoknál (8., 9. ábra).

Az erősen lefelé hajló, idősebb napraforgófejeknek kifelé domborodó felülete lehet a számításainkban feltételezett sík helyett. Alacsonyabb napmagasságok esetén az ilyen domború felületek több közvetlen napfényt kapnak, mint sík társaik. Így a sík napraforgó-virágzatot feltételező számítások kissé alulbecsülik az elnyelt teljes fényenergiát, de végkövetkeztetéseinket nem módosítják.

Mivel a különböző földrajzi régiókban eltérő a felhőzottság napi menete és délelőtti-délutáni aszimmetriája, fölmerül a kérdés: miért néznek az érett napraforgó-virágzatok mindig keletre, függetlenül a földrajzi fekvéstől? Ennek oka az a tény, hogy a háziasított napraforgó Észak-Amerika keleti részéről származik [11], aminek felhőviszonyai Boone County-éhoz, Georgia-éhoz és Tennessee-éhez hasonlóak. Ezért először Boone County, Georgia és Tennessee földrajzi helyére és felhővalószínűségére végeztük számításainkat (majd Olaszországra és Magyarországra), ahol a délutánok felhősebbek a délelőttöknél, s aminek következménye, hogy a napraforgó-virágzatok akkor nyelnek el maximális fényenergiát, ha keletre néznek. Ezen ideális keleti orientáció genetikailag kódolva rögzült a háziasított napraforgóban, ami aztán később elterjedt az egész Földön. Ellenpróbaként szemléltettük, hogy ha a délelőttök felhősebbek a délutánoknál – mint például Dél-Svédországban –, akkor az érett napraforgó-virágzatok abban az esetben nyelnek el maximális fényenergiát, ha nyugatra néznek. Ennek ellenére a svéd napraforgók virágzatai is kelet felé néznek (amint azt svéd biológus kollégáinktól is tudjuk), mert a faj háziasítása óta eltelt viszonylag rövid idő (néhány száz év) során még nem tudtak alkalmazkodni a helyi felhőviszonyokhoz. Úgy gondoljuk, hogy a szóban forgó genetikai kódolás lehet annak az oka, hogy a napraforgó-virágzatok keleti orientációja független a regionális felhőviszonyoktól.

Amint a 2. és 3. táblázat mutatja, az érett napraforgófej háta 4-5-ször, illetve 6-8-szor több fényenergiát

nyel el, mint virágzata. Ennek fő oka, hogy a virágzat vízszintestől mért normálvektorának θ_n elevációs szöge meredeken csökken a virágképzéskori $+10^\circ$ -ról a minimális -75° -ra a virágképzést követő 42. napon (6. ábra). Így a virágképzés utáni 2.–3. héten a virágzat jelentősen lecsökkent fényintenzitást kap. A fejhát kezdetben zöld, később sárgászöld a fotoszintézis végző klorofill miatt (a zöld növények főként a spektrum kék és vörös összetevőit igénylik a fotoszintézisükhöz). Ha a napraforgófejek a fotoszintetikus aktivitásuk maximalizálására törekednének, akkor a hátoldaluk által elnyelt fényenergiát kellene maximalizálniuk, amihez a virágzatuk északnyugati $\alpha_n = +112^\circ - +125^\circ$ azimutszögek lennének ideálisak. Azonban a feltételezést nem támasztja alá az a tény, hogy az érett napraforgó-virágzatok kelet ($\alpha_{\text{kelet}} = -90^\circ$) felé néznek. Következésképpen, a zöld fejhát funkciója inkább a zöld levelekéhez hasonlít: részt venni a fotoszintézisben, függetlenül a virágzat azimutszögétől és elevációjától. A virágzaton kívül, a napraforgó minden föld fölötti része hozzájárul a fotoszintézishez a zöld klorofilltartalmának köszönhetően.

Azt találtuk, hogy ha a délutánok felhősebbek a délelőttöknél, akkor a virágzat által elnyelt teljes fényenergia $\alpha_{\text{max}} = -87^\circ - -96^\circ$ azimutszögeknél maximális, ami gyakorlatilag a keleti iránnyal ($\alpha_{\text{kelet}} = -90^\circ$) esik egybe. Ez magyarázhatja a Boone County, Georgia és Tennessee régióiból származó napraforgók (valamint Olaszország és Magyarország) érett virágzatainak keletre nézését, ahol a vegetációs időszakban a délutánok valóban felhősebbek, mint a délelőttök.

Röviden elemezzük a napraforgó-virágzatok keleti irányultságának lehetséges előnyeit magyarázó hat korábbi hipotézist:

1. Seiler [8] szerint, ha az érett napraforgófejek virágzata nem az ég felé irányul, akkor csökkenhet a magevő madarak miatti magveszteség. E hipotézist támogatja azon kvalitatív megfigyelésünk, miszerint a vízszinteshez képest meredekebb síkú napraforgófejek szélén megkapaszkodó madarak könnyebben tudják a magokat kicsipegetni, mint a kevésbé meredek, jobban lefelé néző fejek. A madarak általában a napraforgófej legfelső szélére szállnak le, mert legkönnyebben a legfelső magokat képesek kicsipegetni (10.a–d ábra a következő oldalon). Ha a fej kevésbé meredek, akkor a madarak nehezebben férnek hozzá a lefelé néző magokhoz (10.e–f ábra). Mindez azonban független a fej azimutszögétől, így Seiler [8] hipotézise képtelen megmagyarázni a napraforgó-virágzatok keletre nézését.

2. Leshem [5], valamint Lang és Begg [4] hipotézise szerint, az érett napraforgó-virágzat keleti irányultságának az lehet az előnye, hogy csökkenti a hőterhelést a déli órákban. Azonban a nyugatra néző virágzatoknak ugyanez lenne az előnyük, továbbá megmutattuk, hogy a délre néző virágzatok nyelik el a legkevesebb fényenergiát (8., 9. ábra), amely effektus jelentősen csökkenti a dél környéki hőterhelést [2]. Ezért a napraforgó-virágzat keleti orientációjának a magyarázatát nem támogatják az eredményeink.

3. Lang és Begg [4] azt is feltételezte, hogy a Napot már nem követő napraforgó-virágzatok keleti irányultsága kora délelőtt erősebb napfénybesugárzást tesz lehetővé, ami felgyorsíthatja a virágzaton kicsapódott harmat elpárolgását, miáltal csökkentheti a gombásodás veszélyét. Ezt az elképzelést támasztja alá azon eredményünk [2], hogy a keletre néző virágzatok nyelnek el maximális fényenergiát (8., 9. ábra). Ugyanakkor, a természetesen keletre néző napraforgó-virágzatoknak a mesterségesen nyugat vagy dél felé irányított virágzatokhoz képest feltételezett csökkent gombásodását jövőbeli terep-kísérletekben még ellenőrizni szükséges.

4. Lamprecht és társai [9] szerint, az érett napraforgó-virágzatok keleti irányultsága miatti erősebb délelőtti beeső napsugárzás vonzóbbá teheti őket a beporzó rovarok számára, amely időszak egybeesik a virágpor portokbeli megjelenésével. E hipotézissel is összhangban vannak az eredményeink (8., 9. ábra). Mindazonáltal, terep-kísérletekben még ellenőrizni kell, hogy a maguktól keletre néző napraforgó-virágzatok valóban vonzóbbak-e a beporzók számára, mint a mesterségesen nyugatra vagy délre irányított virágzatok.

5. Seiler [8] azt is feltételezte, hogy az érett napraforgó-virágzatok keletre nézése csökkentheti a hőterhelést, főleg a délutáni nagy besugárzású időszakban. Azonban megmutattuk [2], hogy a keletre néző napraforgó-virágzatok által elnyelt fényenergia nagyobb, mint a nyugat vagy dél felé nézőké (8., 9. ábra), amely eredmény nem támasztja alá e hipotézist.

6. Ploschuk és Hall [10] a Napot nem követő napraforgó-virágzatok keletre nézését az alacsonyabb fejhőmérséklettel próbálta magyarázni, ami előnyös lehet a magok éréséhez és növekedéséhez. A napraforgófej hőmérsékletét főleg a virágzat és a fejhát által elnyelt összenergia határozza meg. A 2. és 3. táblázat szerint, Boone County-ban, Georgia-ban, Tennessee-ben, Közép-Olaszországban, Közép-Magyarországon és Dél-Svédországban a virágzat és a fejhát által elnyelt fényenergia minimuma a délihez ($\alpha_{\text{del}} = 0^\circ$) közeli $\alpha_{\text{min}} \approx 0^\circ$ azimutszögnél van [2]. Következésképpen, e magyarázat is megalapozatlannak tűnik.



10. ábra. (a, b, c) A vízszinteshez képest meredekebb síkú napraforgófejek magjait a fejszélén megkapaszkodó madarak (piros) könnyebben ki tudják csipkedni. (d) Egy magevő madár sötét ürüléke egy napraforgófej hátoldalán. (e, f) A lefelé néző napraforgófejek magjait nehezebben csipkedik ki a madarak. A kicsipkedett sötétszürke magvak után maradt lyukak jól láthatók az a–c képeken (Horváth Gábor fényképei).

A keletre néző napraforgó-virágzat nyugat, illetve dél felé néző virágzathoz képesti 3–10%, illetve 50–77% energiátöbblete előnyös lehet a mag fejlődéséhez és éréséhez. Továbbá, e többletenergia felgyorsíthatja a virágzatra lecsapódott hajnali harmat elpárolgását, ami csökkentheti a gombásodás veszélyét, amint azt Lang és Begg [4] feltételezte. E többletenergia egy másik előnye az lehet, hogy a délelőtt aktív beporzók erősebben vonzódnak a keletre néző virágzatokhoz, amint azt Lamprecht és társai [9], valamint Atamian és társai [7] feltételezték. Ennélfogva, a napraforgó-virágzat keleti orientációjának előnyére általunk adott környezetoptikai magyarázat [2] összhangban áll e két korábbi hipotézissel.

A napraforgó-virágzatok ideális keleti azimutiránya meglepő lehet, mert a déli irányt gondolhatnánk ideálisnak, tekintve, hogy délben a legerősebb a földfelszínre érő napsugárzás. Noha a közvetlen napsugarak délben a legintenzívebbek, egy délre néző ferde síkú ($\theta_n < +40^\circ$, 6. ábra) napraforgó-virágzatot mégis olyan nagy γ beesési szögek alatt érik (ahol γ a virág-

zat $\mathbf{n}$ normálvektora és a Nap felé mutató $\mathbf{s}$ egységvektor közti szög, 1. ábra), hogy a virágzat által elnyelt, $\cos\gamma$ -val arányos fényenergia kisebb lesz ahhoz képest, mint amikor keletre néz a virágzat. Habár a délelőtti és délutáni közvetlen napsugarak a délinél kisebb intenzitásúak, a keletre vagy nyugatra néző ferde ($\theta_n < +40^\circ$) napraforgó-virágzatot kisebb γ beesési szögek alatt érik, így az elnyelt fényenergia nagyobb lesz a délre néző virágzathoz képest. Állandóan tiszta égbolt alatt, a napraforgó-virágzat ideális keleti és nyugati azimutiszögei (amelyeknél maximális egy adott dőlésszögű virágzat által elnyelt fényenergia) tükörszimmetrikusak lennének a déli irányra. Azonban e szimmetria sérül, ha a délutáni felhővalószínűség nagyobb a délelőttinél, amint ez így van a háziasított napraforgó származási helyén (4.a ábra).

Ilyen aszimmetrikus felhőviszonyok közepette a napraforgó-virágzatok fényenergetikailag ideális azimut-iránya a kelet (8., 9. ábra).

Irodalom

- Horváth G., Slíz-Balogh J., Horváth Á., Egri Á., Virágh B., Horváth D., Jánosi I. M.: Sunflower inflorescences absorb maximum light energy if they face east and afternoons are cloudier than mornings. *Scientific Reports* 10 (2020) 21597. (doi: 10.1038/s41598-020-78243-z)
- Hersbach H., Bell B., Berrisford P., Hirahara S., Horanyi A., Muñoz-Sabater J., Nicolas J., Peubey C., Radu R., Schepers D., Simmons A., Soci C., Abdalla S., Abellan X., Balsamo G., Bechtold P., Biavati G., Bidlot J., Bonavita M., De Chiara G., Dahlgren P., Dee D., Diamantakis M., Dragani R., Flemming J., Forbes R., Fuentes M., Geer A., Haimberger L., Healy S., Hogan R. J., Holm E., Janiskova M., Keeley S., Laloyaux P., Lopez P., Lupu C., Radnoti G., Rosnay P., Rozum I., Vamborg F., Villaume S., Thépaut J. N.: The ERA5 global reanalysis. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 146 (2020) 1999.

A GREEN-FÉLE RECIPROCITÁSI TÉTEL ÉS NÉHÁNY FOLYOMÁNYA – 2. RÉSZ

Pálfalvi László, Kovács Vivien
Pécsi Tudományegyetem, Fizikai Intézet

A Green-féle reciprocitási tétel kimondja, hogy ha egy $\rho(\mathbf{r})$ töltéssűrűséggel leírható töltéseloszlás $\varphi(\mathbf{r})$ potenciált kelt, egy *tőle független* $\rho^*(\mathbf{r})$ töltéssűrűséggel jellemezhető töltéseloszlás pedig $\varphi^*(\mathbf{r})$ -t, akkor teljesülnie kell az

$$\int \varphi(\mathbf{r}) \rho^*(\mathbf{r}) d^3r = \int \varphi^*(\mathbf{r}) \rho(\mathbf{r}) d^3r \quad (20)$$

összefüggésnek, ahol az integrálás a teljes térre terjed ki. A tétel szemléletes fizikai jelentése az, hogy a kezdetben egymástól végtelen távol szeparált $\rho(\mathbf{r})$ és $\rho^*(\mathbf{r})$ töltéseloszlások egyesítésekor az elektrosztatikus tér ellenében végzett munka független attól, hogy melyik töltésrendszert tekintjük nyugvónak és melyiket mozditjuk el.

Cikkünk 1. részében egy elektrosztatikus térbeli átlagolással kapcsolatos problémakörön keresztül

mutattuk be a tétel alkalmazhatóságát. Jelen cikkben további következményeket, példákat láthatunk.

A kapacitásról

Tudjuk, hogy a vezetők töltése azok felületén oszlik el, a felület pedig ekvipotenciális. Egy magányos vezető kapacitása (C) alatt definíció szerint a vezető töltésének (Q) és potenciáljának (V) hányadosát értjük, azaz

$$C = \frac{Q}{V}. \quad (21)$$

Kondenzátor esetén pedig a (21) egyenlet nevezőjébe V helyére a fegyverzetek közti U feszültség írandó.

Az ismert kondenzátortípusok (sík, gömb, henger), illetve a magányos vezető gömb kapacitásképletei könnyen hozzáférhetők. A nagy fokú szimmetriának köszönhetően (végtelen kiterjedésű síkok, végtelen

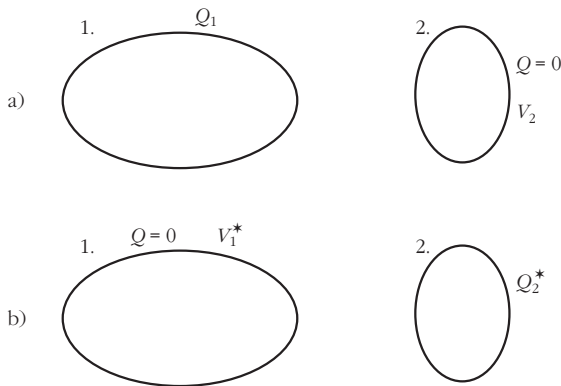
Szerzők köszönetet mondanak *Mechler Mátyásnak* a szerkesztés során nyújtott segítségéért.



Pálfalvi László az MTA doktora, a Pécsi Tudományegyetem Kísérleti Fizika Tanszékének tanszékvezető egyetemi tanára. Legjelentősebb tudományos eredményei a nagyenergiájú távoli infravörös (THz-es) impulzusforrások elvi fejlesztéséhez, illetve a THz-es impulzusokkal történő részecskegyorsítási módszerek kidolgozásához kapcsolódnak. Rendszeresen ír tudományos ismeretterjesztő cikkeket is.



Kovács Vivien jelenleg harmadéves fizikus-hallgató a Pécsi Tudományegyetemen. Egyik érdeklődési területe a terahertzes spektroszkópia, azon belül szilárd és folyadékminták optikai tulajdonságainak vizsgálata időtartománybeli terahertzes spektrométerrel. Mindezek mellett számos klasszikus fizikai probléma is foglalkoztatja, mint például jelen cikk tárgya.



2. ábra. Illusztráció a kölcsönös kapacitás szimmetriájának igazolásához.

hosszú hengerek) használható a Gauss-törvény biztosítása a töltés és a feszültség (potenciál) arányosságát.

Noha a tankönyvek evidenciaként kezelik, mégsem magától értetődő, hogy tetszőleges alakú (az egyszerűség kedvéért például magányos) vezető esetén a vezetőre vitt töltés és a potenciál között egyenes arányosság áll fenn. A Green-féle reciprocitási tétellel viszont könnyen beláthatjuk, hogy ez így van.

Vigyünk egy tetszőleges alakú vezető felületére Q töltést. A töltés olyan σ felületi töltésszűrűség formájában oszlik el, hogy a potenciál a felület minden pontjában azonos, amit jelölünk V -vel. Egy másik esetben ugyanerre a vezetőre vigyünk Q^* töltést, a töltéssűrűség legyen σ^* , az ekvipotenciális felület potenciálja pedig V^* . A Green-féle reciprocitási tétel azért kínálkozik ígéretes módszernek, mert a felületen, ahol a töltések vannak, a potenciál konstans. Felületi töltésszűrűség esetén a tétel az

$$\oint \phi(\mathbf{r}) \sigma^*(\mathbf{r}) dA = \oint \phi^*(\mathbf{r}) \sigma(\mathbf{r}) dA \quad (22)$$

alakot ölti, ami magányos vezetőnk esetén

$$\oint V \sigma^*(\mathbf{r}) dA = \oint V^* \sigma(\mathbf{r}) dA. \quad (23)$$

Kiemelve a V , illetve V^* konstansokat felismerhetjük, hogy a felületi integrálok a vezető felületén lévő Q^* , illetve Q töltések. Átrendezés után

$$\frac{Q}{V} = \frac{Q^*}{V^*} (= C) \quad (24)$$

adódik, igazolva a töltés és a potenciál hányadosának állandóságát, ezáltal létjogosultságot szerezve a kapacitás definíciójának.

Tekintsük most a 2. ábra szerinti, két különálló vezetőből álló elrendezést. Vigyünk Q_1 töltést az 1. vezetőre a 2. vezető töltetlen állapota mellett (2.a ábra). A magányos vezető esetéhez teljesen hasonló gondolatmenettel beláthatjuk – amit Olvasóra bízunk –, hogy a 2. vezető potenciálja egyenesen arányos az 1. vezetőre vitt töltéssel

$$\frac{V_2}{Q_1} = \frac{1}{C_{21}} \quad (25)$$

szerint, ezzel definiálva C_{21} -et, mint a 2. vezető 1.-re vonatkoztatott kölcsönös kapacitását. Ezután járjunk el fordítva. Vigyünk Q_2^* töltést a 2. vezetőre az 1. vezető töltetlen állapot mellett, az 1. vezető potenciálját jelölje V_1^* (2.b ábra). Az 1. vezető 2.-ra vonatkoztatott kölcsönös kapacitását

$$\frac{V_1^*}{Q_2^*} = \frac{1}{C_{12}} \quad (26)$$

definiálja. E két esetre alkalmazva a reciprocitási tételt a (22) összefüggés szerint:

$$\oint V_2 \sigma_2^*(\mathbf{r}) dA = \oint V_1^* \sigma_1(\mathbf{r}) dA, \quad (27)$$

amelyből

$$(C_{21} =) \frac{Q_1}{V_2} = \frac{Q_2^*}{V_1^*} (= C_{12}) \quad (28)$$

adódik, azaz a (25) és a (26) összefüggések értelmében

$$C_{21} = C_{12}, \quad (29)$$

ezzel belátva a kölcsönös kapacitás szimmetriáját.

Általános esetben, ha tetszőleges N számú különálló vezető van jelen definiálhatjuk az i -edik vezető j -edikre vonatkoztatott kapacitását, mint a j -edik vezetőre vitt Q_j töltés (miközben a j -edikről különböző vezetők töltetlenek) és az i -edik vezetőn létrejövő V_i potenciál hányadosát

$$C_{ij} = \frac{Q_j}{V_i} \quad (30)$$

szerint. A fent használt, Green-féle reciprocitási tételen alapuló gondolatmenettel könnyen belátható, hogy

$$C_{ij} = C_{ji}. \quad (31)$$

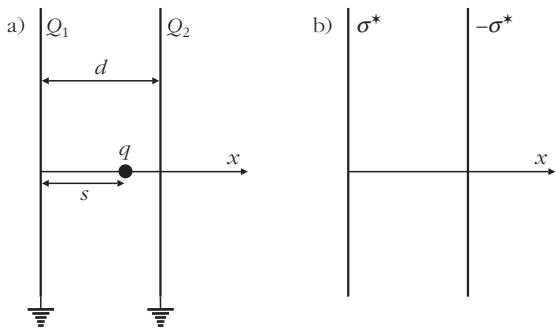
Megjegyezzük, hogy az $i = j$ esetben sajátkapacitásról beszélünk, továbbá fontos megemlíteni, hogy C_{ij} értékét nemcsak az i -edik és a j -edik vezető és azok kölcsönös helyzete, hanem a teljes vezetőkonfiguráció befolyásolja. C_{ij} illetve a vezetők Q_j töltéseinek ismeretében az i -edik vezető potenciálja

$$V_i = \sum_{j=1}^N \frac{Q_j}{C_{ij}} \quad (32)$$

alapján határozható meg.

Ponttöltés két párhuzamos, végtelen kiterjedésű, földelt vezető között

A végtelen kiterjedésű, földelt vezető közötti környezetben elhelyezett ponttöltés problémája jól ismert. A sík töltés felőli oldalán az elektromos tér a q ponttöltés és annak $-q$ tükörtöltése által keltett tér szuperpozíciója-



3. ábra. Nagy kiterjedésű, párhuzamos, zérus potenciálú vezetősíkok a közéjük helyezett ponttöltéssel (a) és a segédtöltés-eloszlás (b).

ként áll elő. Így nem túl nehéz meghatározni például a síkon indukálódott töltéssűrűséget, aminek felületi integrálja $-q$ -t ad, ahogy azt intuitíve várjuk.

Helyezzük a ponttöltést két, egymással párhuzamos, végtelen kiterjedésű, földelt vezető sík közé, ahogy azt a 3.a ábra illusztrálja. Hogyan tudjuk egyszerű módszerrel meghatározni a lemezeken indukálódott Q_1 , illetve Q_2 töltéseket? Célravezetőnek gondolnánk egymás utáni töltéstükrözések végrehajtását a következőképp. Tükrözzük a töltést először például a bal oldali síkon, majd a tükröttöltést a jobb oldalin, majd az így kapott tükröttöltést ismét a bal oldalin és így tovább a végtelenségig. Az így kapott töltésrendszerhez hozzáadjuk azt a szintén végtelen töltésből álló töltésrendszert, amelyhez úgy jutunk, hogy a jobb oldali síkon kezdjük a tükrözést. Mivel a töltésrendszer q és $-q$ töltésekből áll, a síkok külső terefelein lévő töltésmennyiség nem konvergál, ha a tükrözések számával a végtelenbe tartunk, így ezzel a módszerrel nem leszünk sikeresek, ha a lemezek töltéseinek meghatározása a cél.

Próbálkozzunk a Green-féle reciprocitási tétellel! Segédtöltés-eloszlás gyanánt adjunk a bal oldali lemeznek σ^* , a jobb oldalinak $-\sigma^*$ egyenletes felületi töltéssűrűséget, ahogy azt a 3.b ábra mutatja. A Gauss-tétel értelmében a síkok közt a térerősség nagysága σ^*/ϵ_0 , azokon kívül zérus, a potenciál pedig a lemezeken, illetve a lemezek közti térben a

$$\varphi^*(x) = \frac{\sigma^*}{\epsilon_0} (d - x) \quad (33)$$

függvénnyel írható le. A (20) egyenlet bal oldala zérus, ugyanis, ahol segédtöltés-eloszlásunk zérustól különböző, ott a vizsgált elrendezésünkben a potenciál zérus. A (33) összefüggés szerint a segédtöltés-eloszlás potenciálja, ahol a töltéseink zérustól különbözőek:

$$\varphi^* = \begin{cases} \frac{\sigma^*}{\epsilon_0} d & \text{a bal oldali lemezen,} \\ \frac{\sigma^*}{\epsilon_0} (d - s) & \text{a ponttöltés helyén,} \\ 0 & \text{a jobb oldali lemezen.} \end{cases} \quad (34)$$

Ezt figyelembe véve a (20) egyenlet jobb oldalán

$$0 = Q_1 \frac{\sigma^*}{\epsilon_0} d + q \frac{\sigma^*}{\epsilon_0} (d - s) \quad (35)$$

adódik, ahonnan a bal oldali lemez töltése

$$Q_1 = -q \frac{d - s}{d}. \quad (36)$$

A jobb oldali lemez töltését szimmetriamegfontolásból megkaphatjuk, ha $d - s$ helyére s -et írunk, így

$$Q_2 = -q \frac{s}{d} \quad (37)$$

adódik. Az elvárásoknak megfelelően teljesül, hogy $Q_1 + Q_2 = -q$, $s = d/2$ esetén $Q_1 = Q_2 = -q/2$, illetve $\lim_{s/d \rightarrow 0} Q_1 = -q$.

Ponttöltés két koncentrikus, földelt, vezető gömbhéj között

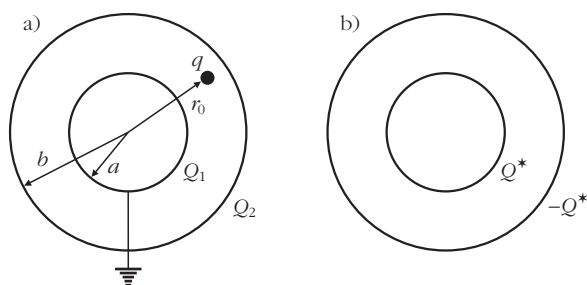
Központi kérdésünk, hogy az a és b sugarú ($a < b$), koncentrikus, földelt vezető gömbhéjakon mekkora töltések indukálódnak, ha a gömbhéjak középpontjától $a < r_0 < b$ távolságra q ponttöltést helyezünk (4.a ábra)? Ez a 2017. évi Eötvös-verseny 2. problémájának [5] is kulcskérdése volt. Több tanulságos megoldást is mutatunk, közülük egyik a Green-féle reciprocitási tételen alapszik. Felsőbb matematikai eszköztárral nem csak a gömbhéjak össztöltése, hanem a töltés-eloszlás is megadható. A teljesség kedvéért *apró betűs* részben erre is kitérünk elsősorban azok kedvéért, akik jártasak az elektrodinamika Green-függvényekre épülő számítási technikáiban.

A töltéstükrözés módszere

Egyszerű megfontolásokkal belátható [3], ha az a sugarú, földelt vezető gömbhéjon kívül (belül) a gömbhéj középpontjától r_0 távolságra q ponttöltést helyezünk el, a gömbhéjon kívül (belül) az elektromos tér a ponttöltésünk és a gömbhéjon belül (kívül) elhelyezkedő tükröttöltés keltette tér szuperpozíciójával adható meg. Mind a gömbhéjon kívüli, mind azon belüli ponttöltés tükröttöltése

$$q' = -q \frac{a}{r_0} \quad (38)$$

4. ábra. Koncentrikus, földelt vezető gömbhéj gömbhéjak a közéjük helyezett ponttöltéssel (a) és a segédtöltés-eloszlás (b).



szerint adható meg, annak helye pedig a gömbhéj középpontja és a q ponttöltés által kijelölt félegyenesen (amelynek kezdőpontja a gömbhéj középpontja) a gömbhéj középpontjától

$$r' = \frac{a^2}{r_0} \quad (39)$$

távolságra van. Az a és b sugarú, koncentrikus gömbhéjak közti térrészbe helyezett ponttöltés esetén úgy kell eljárni, hogy a töltést először például a belső gömbhéjon tükrözzük, majd a tükörtöltést a külsőn, majd az így kapott tükörtöltést ismét a belsőn és így tovább a végtelenségig [6]. Az így kapott töltésrendszerhez hozzáadjuk azt a szintén végtelen töltésből álló töltésrendszert, amelyhez úgy jutunk, hogy a külső gömbhéjon kezdjük a tükrözést. Járjuk ezt az utat. A (38) és a (39) összefüggések alapján könnyű belátni, ha a belső gömbhéjon kezdünk minden páratlan sorszámú tükrözés után a tükörtöltés

$$s_{2p+1} = -q \frac{a}{r_0} \left(\frac{a}{b} \right)^p, \quad (40)$$

annak középponttól való távolsága pedig

$$x_{2p+1} = \frac{a^2}{r_0} \left(\frac{a}{b} \right)^{2p}. \quad (41)$$

Páros sorszámú tükrözés után pedig a tükörtöltés

$$s_{2p+2} = q \left(\frac{b}{a} \right)^{p+1}, \quad (42)$$

annak középponttól való távolsága pedig

$$x_{2p+2} = r_0 \left(\frac{b}{a} \right)^{2p+2}, \quad (43)$$

ahol $p = 0, 1, 2, \dots$. Hasonló megfontolással élve, ha a külső gömbhéjon kezdünk minden páratlan sorszámú tükrözés után a tükörtöltés

$$t_{2p+1} = -q \frac{b}{r_0} \left(\frac{b}{a} \right)^p, \quad (44)$$

annak középponttól való távolsága pedig

$$y_{2p+1} = \frac{b^2}{r_0} \left(\frac{b}{a} \right)^{2p}. \quad (45)$$

Páros sorszámú tükrözés után pedig a tükörtöltés

$$t_{2p+2} = q \left(\frac{a}{b} \right)^{p+1}, \quad (46)$$

annak középponttól való távolsága pedig

$$y_{2p+2} = r_0 \left(\frac{a}{b} \right)^{2p+2}, \quad (47)$$

ahol $p = 0, 1, 2, \dots$. A (44) – (47) összefüggéseket egyszerűen megkapjuk a (40) – (43) összefüggésekből, ha a -t és b -t felcseréljük. Vegyük észre, hogy csak az x_{2p+1} , illetve az y_{2p+2} pontok vannak a belső gömbhéjon belül, így ezen töltéssorozatok töltésszege adja ki a belső gömb Q_1 töltését, azaz

$$\begin{aligned} Q_1 &= \sum_{p=0}^{\infty} (s_{2p+1} + t_{2p+2}) = \\ &= -q \left(\frac{a}{r_0} - \frac{a}{b} \right) \sum_{p=0}^{\infty} \left(\frac{a}{b} \right)^p = \\ &= -q \left(\frac{a}{r_0} - \frac{a}{b} \right) \frac{b}{b-a}. \end{aligned} \quad (48)$$

A Green-féle reciprocitási tétel alkalmazása

Segéd-töltés-eloszlásként a belső gömbhéjon oszlasunk el Q^* , a külsőn $-Q^*$ töltést egyenletesen (4.b ábra). Ez azért előnyös, mert ahol a segéd-töltések zérustól különböznek, ott a vizsgált elrendezésünkben a potenciál zérus, így a (20) egyenlet bal oldala zérus. A gömbszimmetrikus segéd-térhez tartozó potenciál a gömbhéjakon, illetve a köztük lévő térben a középponttól mért r távolság függvényében a

$$\varphi^*(r) = \frac{Q^*}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{b} \right) \quad (49)$$

függvénnyel adható meg. Azon helyeken, ahol eredeti konfigurációinkban a töltés zérustól különböző a (49) összefüggés alapján a potenciál

$$\varphi^* = \frac{Q^*}{4\pi\epsilon_0} \cdot \begin{cases} \frac{1}{a} - \frac{1}{b} & \text{a belső gömbhéjon,} \\ \frac{1}{r_0} - \frac{1}{b} & \text{a ponttöltés helyén,} \\ 0 & \text{a külső gömbhéjon.} \end{cases} \quad (50)$$

Mindezt figyelembe véve a (20) egyenletben

$$0 = Q_1 \frac{Q^*}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right) + q \frac{Q^*}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{b} \right) \quad (51)$$

adódik, amelyből

$$Q_1 = -q \left(\frac{a}{r_0} - \frac{a}{b} \right) \frac{b}{b-a}, \quad (52)$$

összhangban (48) egyenletbeli eredménnyel.

A gömbhéjakon kívüli potenciálviszonyok kibasznlásával

Elemi megfontolásokkal a következőkre juthatunk. Mivel mindkét gömbhéj földelt (azaz zérus potenciálú), ezért mind a belsőn belüli, mind a külsőn kívüli töltésmentes térrészekben ugyancsak

zérus a potenciál, szintúgy a téreősség. A q töltésből induló erővonalak a gömbhéjakon végződnek, következésképp

$$Q_1 + Q_2 + q = 0, \quad (53)$$

ahol Q_2 a külső gömbhéj töltése. Mivel a potenciál a középpontban is zérus

$$\frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 a} + \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r_0} + \frac{Q_2}{4\pi\epsilon_0 b} = 0, \quad (54)$$

ahol figyelembe vettük, hogy a Q_1 -et alkotó valamennyi töltés a , a Q_2 -t alkotó töltések pedig b távolságra vannak a gömbhéjak középpontjától. Az (53) és (54) egyenletekből az előző pontokban kapottakkal azonos eredményt kapunk.

A Green-függvény segítségével

E Dirichlet-probléma $G(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0)$ Green-függvénye a gömbhéjak közti térrészben ki kell elégítse a

$$\Delta G(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0) = -4\pi\delta(\mathbf{r} - \mathbf{r}_0) \quad (55)$$

egyenletet továbbá a $G(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0) = 0$ peremfeltételt, amennyiben $\mathbf{r}$ vagy $\mathbf{r}_0$ valamelyik gömbfelületre esik. Induljunk ki a probléma Green-függvényének explicit alakjából, amelyet annak levezetésével együtt a [3] hivatkozásban megtalálhatunk. Az $\mathbf{r}$ és $\mathbf{r}_0$ vektorok gömbi koordinátaival kifejezett Green-függvény

$$G(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0) = 4\pi \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=-l}^l \frac{Y_{lm}^*(\theta_0, \phi_0) Y_{lm}(\theta, \phi)}{(2l+1) \left[1 - \left(\frac{a}{b} \right)^{2l+1} \right]} \cdot \left(r_{<}^l - \frac{a^{2l+1}}{r_{<}^{l+1}} \right) \left(\frac{1}{r_{>}^{l+1}} - \frac{r_{>}^l}{b^{2l+1}} \right), \quad (56)$$

ahol $r_{<}$ ($r_{>}$) r és r_0 közül a kisebbet (nagyobbat) jelöli, Y_{lm} a gömbi harmonikusok, $*$ a komplex konjugálást jelöli. $4\pi\epsilon_0$ konstans erejéig az (56) összefüggés nem más, mint az $\mathbf{r}_0$ -ba helyezett egységnyi ponttöltés potenciálja az $\mathbf{r}$ megfigyelési pontban. Az $\mathbf{r}_0$ -beli q ponttöltés potenciálja $\mathbf{r}$ -ben

$$\varphi(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} G(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0). \quad (57)$$

A gömbi harmonikusokra vonatkozó addíciós tétel értelmében

$$P_l(\cos\gamma) = \frac{4\pi}{2l+1} \sum_{m=-l}^l Y_{lm}^*(\theta_0, \phi_0) Y_{lm}(\theta, \phi), \quad (58)$$

ahol γ nem más, mint az $\mathbf{r}$ és az $\mathbf{r}_0$ által bezárt szög, $P_l(\cos\gamma)$ pedig az l -ed rendű Legendre-polinom. Felhasználva az (56), (57) és (58) egyenleteket a ponttöltés potenciáljára

$$\varphi(r, \gamma) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \sum_{l=0}^{\infty} \left[1 - \left(\frac{a}{b} \right)^{2l+1} \right]^{-1} \left(r^l - \frac{a^{2l+1}}{r^{l+1}} \right) \cdot \left(\frac{1}{r_0^{l+1}} - \frac{r_0^l}{b^{2l+1}} \right) P_l(\cos\gamma). \quad (59)$$

adódik, amelynek argumentumai a megfigyelési pont és a középpont r távolsága, illetve a megfigyelési ponthoz tartozó γ polárszög a q ponttöltést a középponttal összekötő egyenestől, mint tengelytől mérve. Feltettük továbbá, hogy $r < r_0$, mivel a töltéeloszlást az a

sugarú gömbhéjon kívánjuk meghatározni. A töltéssűrűség a potenciál r irányú iránymenti deriváltjának a felületen vett értékéből a következőképp határozható meg:

$$\sigma(\gamma) = -\epsilon_0 \frac{\partial \varphi(r, \gamma)}{\partial r} \Big|_{r=a}. \quad (60)$$

Az (59) és (60) egyenletekből

$$\sigma(\gamma) = \sigma(\cos\gamma) = -\frac{q}{4\pi} \sum_{l=0}^{\infty} (2l+1) a^{l-1} \left[1 - \left(\frac{a}{b} \right)^{2l+1} \right]^{-1} \cdot \left(\frac{1}{r_0^{l+1}} - \frac{r_0^l}{b^{2l+1}} \right) P_l(\cos\gamma). \quad (61)$$

adódik. A gömbhéjon indukálódott töltés

$$Q_1 = \int_0^\pi \sigma(\cos\gamma) 2\pi a^2 \sin\gamma d\gamma = -2\pi a^2 \int_0^\pi \sigma(\cos\gamma) d(\cos\gamma) = \\ = 2\pi a^2 \int_{-1}^1 \sigma(x) dx. \quad (62)$$

Felhasználva a

$$P_l = \frac{1}{2l+1} \left(\frac{dP_{l+1}}{dx} - \frac{dP_{l-1}}{dx} \right) \quad (63)$$

rekurziós formulát könnyű belátni, hogy

$$\int_{-1}^1 P_l(x) dx = 2\delta_{0l}. \quad (64)$$

A (64) összefüggésnek köszönhetően a (62) integrálban az összegnek csak az $l=0$ tagja ad járulékot. A (61), (62) és a (64) egyenleteket felhasználva a belső gömbhéj töltésére

$$Q_1 = -q \left(\frac{a}{r_0} - \frac{a}{b} \right) \frac{b}{b-a} \quad (65)$$

adódik összhangban a többi módszerrel kapott eredménnyel.

Diszkutáljuk a Q_1 -re kapott eredményt! $a \ll b$ esetén visszakapjuk a magányos földelt gömbhéjon indukálódott töltést összhangban a (38) összefüggéssel. Bevezetve a gömbhéjak d távolságát $b = a + d$, illetve a ponttöltés belső gömbhéjtól való s távolságát $r_0 = a + s$ szerint

$$Q_1 = -q \left(\frac{a}{a+s} - \frac{a}{a+d} \right) \frac{a+d}{d} \quad (66)$$

adódik. Ha a gömbhéjak távolsága sokkal kisebb, mint azok sugara, azaz $d \ll a$ határértékben visszakapjuk a síkkondenzátor esetén kapott (36) eredményt.

Konklúzió

Újabb példákön keresztül demonstráltuk a Green-féle reciprocitási tétel teljesítőképességét; láttuk, hogy számos esetben egyszerű, frappáns megoldást kínál. Megállapításokat tettünk vezető kapacitásával kapcsolatban; meghatároztuk, hogy párhuzamos, földelt vezetősíkok közé helyezett ponttöltés mekkora töltést indukál a lemezeken; koncentrikus vezető gömbhéjak esetén meghatároztuk, hogy a gömbhéjak közé helye-

zett ponttöltés mekkora töltést indukál a gömbhéjakon. E problémát mélyebben elemeztük, diszkutáltuk. Adja magát a feladat, hogy a hosszú, koaxiális, földelt vezető hengerpalástok problémáját is kielemezzük. Ezt azonban Olvasóra bízunk.

HÍREK – ESEMÉNYEK

CSOM GYULA, 1932–2021

Nagyszerű ember volt. Kiváló tanár. Egy igazi példakép. Mindig fess, mindig kiegyensúlyozott és higgadt. Jó értelemben vett grafomán: rengeteget írt, ráadásul gyöngybetűkkel, igényesen. Amikor egyszer erről kérdeztem, azt felelte, az ok egyszerű: így bárki könnyen el tudja olvasni. Logikus és szisztematikus volt, igazi mérnökember.

Rendszerben gondolkodott, az összefüggéseket kereste. A fenntartható energetika és a biztonságos atomenergia-felhasználás elkötelezett híve volt. Igazán maradandót alkotott nem csak a reaktorfizika, reaktortechnika, atomerőművek üzemtana területén, de az energiapolitikai gondolkodás és az energetikai társadalmi szemléletformálásban is. Akkori műegyetemi professzortársa, *Szlávik János* mondta róla, hogy ő a „legzöldebb atomenergetikus”.

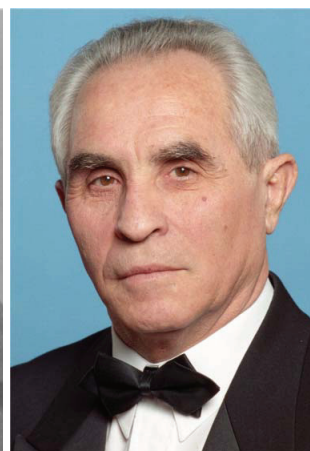
Csom Gyula 1932 novemberében született a Buda-csony melletti Szent György-hegy lábánál fekvő Kisapátiban. 1941-ben és 1942-ben a szülei sommás munkára kényszerültek Somogy megyei uradalmakban, ahol neki is helyt kellett állnia, így 9-10 évesen maga is megtapasztalta a mezőgazdasági munka keménységét. Ahogy mesélte, fél komencióért egy kétcsacsis fogattal hordta a fát az erdőről a konyhára, ahol a sommásoknak főztek, majd ő szállította az ételt a földekre a sommásoknak, szintén a csacsifogattal. A fizikai munka a mindennapjai része volt, az iskola mellett folyamatosan dolgozott a földeken. Édesanyja felismerte benne a tehetséget, ezért a család véleményével szembeszállva beíratta a tapolcai polgári iskolába, majd a sümegi gimnáziumba. Csak a gimnázium érettségi előtti utolsó évében, 1951-ben került be kollégiumba, ahol már volt villany, és este villanyfénynél tanulhatott, továbbá megszűnt a napi fizikai munka kényszere is. A jeles érettségi és a matematikaversenyeken elért kiváló eredmények miatt válogathatott az egyetemek között, ő a BME Gépészmérnöki szakát választotta, ahol 1958-ban szerzett gépészmérnöki oklevelet.

Pályája kezdetén két évig tervezőmérnökként dolgozott az ERŐTERV-ben, majd 1959-től tanított és alkotott a Budapesti Műszaki Egyetemen.

Elhangzott a búcsúztatáson 2021. július 29-én Budapesten, a Farkasréti Temetőben.

Irodalom

5. Gnädig Péter: A 2017. évi Eötvös-verseny 2. feladata. http://eik.bme.hu/~vanko/fizika/eotvos/Eotvos_2017.pdf
6. B. G. Dick: Image charge and the point charge capacitor problem. *Am. J. Phys.* 69 (2001) 1280–1282.



1960 tavaszán a *Lévai András* által vezetett Hőerőművek tanszéken kidolgozták és elindították a ma is működő reaktortechnikai szakmérnöki képzést, ami nagyon sok nukleáris ipari vezető szakmai képzését szolgálta az elmúlt 60 évben, és ami mai napig meghatározó tényező a magyar nukleáris iparban.

A BME Hőerőművek Tanszéken Izotóplaboratóriumot hozott létre 1966-ban, majd azt a feladatot kapta, hogy főmérnökként irányítsa a műegyetemi oktatóreaktor tervezését, építését és üzembe helyezését. Az Egyetemi Atomreaktor, majd később Tanreaktor, ahogy akkoriban nevezték, 1971-ben, idén éppen 50 éve kezdte meg működését Csom Gyula vezetése alatt. Határozott véleménye az volt, hogy a reaktor nem csak egy üzem, hanem önálló tanszéki jogokat kell kapnia, hogy az az atomenergetika és az izotóptechnika területén önállóan oktathasson és kutathasson. A reaktor működtetése mellett az általa felépített csapat széleskörű kutatási profilt dolgozott ki, amely azután nagyon sok új tudományos eredményre vezetett. Több mint 25 éves igazgatása alatt az oktatóreaktor, illetve az azt üzemeltető Nukleáris Technikai Intézet nemzetközi hírű és regionális jelentőségű oktatókutató bázissá fejlődött.

1977-ben a műszaki tudomány kandidátusa, majd 1990-ben a műszaki tudomány doktora fokozatot szerzett. 1990-től 8 éven át volt a BME Természet- és Társadalomtudományi Kar dékánja.



Csom Gyula Wigner Jenőt fogadja 1976. augusztus 10-én a Műegyetemen.

Az egykori Művelődési Minisztérium Atomenergetikai Szakbizottság elnökeként meghatározó szerepet játszott a magyar atomenergetikai oktatás koncepciójának kidolgozásában, megtervezésében és a tervek megvalósításában. A magyarországi nukleáris szakemberképzés megszervezése és megteremtése egyértelműen az ő nevéhez fűződik.

A szakemberképzés minden vertikumában marandót alkotott: mindig is kiválóan, logikus érveléssel és lebilincselően oktatott. Rendszeresen tartott reaktorfizikai és reaktortechnikai előadásokat középiskolai fizikatanároknak. Megszervezte, irányította nappali tagozatos egyetemi hallgatók nukleáris szakirányú képzését, ahol saját előadásokat is tartott. Dékánként és igazgatóként részt vett a műegyetemi mérnök-fizikus szak megteremtésében és felfuttatásában. Munkatársaival atomerőművi szimulátorokat fejlesztett, és azokhoz kapcsolódó gyakorlatokat vezetett. Szervezte és irányította a szakemberek továbbképzését szolgáló „Reaktortechnika” szakmérnöki tanfolyamokat.

Azon mérnökök, fizikusok többsége, akik ma Magyarországon a nukleáris alkalmazások területén dolgoznak, Csom professzor úrtól tanulták a szakmai ismeretek jelentős részét. Csom Gyula professzor iskolát teremtett, és a magyar nukleáris szakemberképzés egyik meghatározó vezéregyénisége volt.

Azt vallotta: „nukleáris biztonságot minden más követelmény előtt prioritásként kell kezelni, már csak azért is, mert ez jelenti egyben a gazdasági optimumot is”. Mindig határozottan kiállt a nukleáris biztonság és a fenntartható atomenergetika szempontjai mellett. Az elsők között ismerte fel az emberi tényező szerepét a nukleáris biztonságban.

Tudományos tevékenysége a nukleáris technika területére esik. Ezen belül több fontos területen alkotott marandót: több országban elfogadott szabadalmi az izotóptechnika ipari alkalmazása, valamint a sóolvadékos reaktorok területéhez kapcsolódnak. Az

atomenergia-rendszerek optimalizálása és a nukleáris üzemanyagciklus vizsgálatáról írt könyve 1992-ben a Magyar Tudományos Akadémia nívódíjában részesült.

Szerzőként, illetve társszerzőként 8 magyar és 1 angol nyelvű tudományos könyvet jegyzett. Több, mint 80 tudományos cikke és 65 dolgozata jelent meg.

Mindig határozott véleménye és világos koncepciója volt, amit kitarátóan és következetesen képviselt. A rendszerváltás után lett a BME Természet- és Társadalomtudományi Kar dékánja. Bár akkoriban a Műegyetemen sokan a társadalomtudomány oktatásának megszüntetése mellett érveltek, ő felismerte, hogy a piacgazdaságban a mérnökök munkájához még inkább szükség lesz gazdasági ismeretekre, mint annak

előtte. Így megvédte és továbbfejlesztette a társadalom- és gazdaságtudományi ismeretek oktatását a BME-n, ezzel megteremtve a későbbi Gazdaságtudományi Kar létrehozásának feltételeit.

Kiállt a műegyetemi nyelvvoktatás mellett. És kiállt amellett is, hogy a testnevelés az első egyetemi évek alatt maradjon a képzés része, hogy a hallgatók fizikai állóképessége tovább fejlődjön. Már akkor, a rendszerváltás utáni években azt vallotta, hogy a számítógépek fejlődésével nőni fog az ülőmunka és az otthoni munkavégzés szerepe, ezért fontos, hogy a fiatalok hozzászokjanak a sportos életmódhoz és a testedzéshez, a szellemi képességek fejlesztése mellett a fizikai képességek is fejlesztendők.

Dékánságához fűződik a mérnök-fizikus képzés elindítása és a TTTK Fizikai Intézet megerősítése.

Ő elérte azt, amibe annak idején több egyetemi vezetőnek is beletört a bicskája: összevonta a BME különböző karain található matematika tanszékeket, ezzel létrehozott egy nagy, a kritikus tömeget elérő méretű Matematikai Intézetet, amely ezáltal képessé vált arra, hogy hatékonyabban és magasabb színvonalon oktassa a matematika tárgyakat, a többi kar kiszolgálása mellett önálló matematikusképzéseket, majd matematika doktori iskolát hozzon létre a BME-n.

Csom Gyula professzornak a BME-n betöltött vezetői-tudományszervezői funkciói mellett jelentős tudományos közéleti tevékenysége is volt, többek között:

- titkára, majd elnöke volt a Magyar Tudományos Akadémia Energetikai Bizottságának,
- tagja volt a Tudományos Minősítő Bizottságnak, majd az MTA Doktori Tanács Energetikai Szakbizottságának,
- a BME Természettudományi Kar Fizika Doktori Tanács és Habilitációs Bizottság elnöke volt 8 éven keresztül,
- a Magyar Nukleáris Társaság elnökségi tagja, illetve egy cikluson keresztül elnöke volt.

Saját pályájáról, életéről így vallott a 2009-ben megjelent *Életpályák* című, Horn János által szerkesztett kötetben *A csacsifogattól a professzori szélig* című önéletírásában:

„Azt hiszem, nem panaszkodhatom a sorsra, mert lehetővé tette számomra, esetenként nem kevés nehézséggel, de sok örömet is adva, ennek az életútnak a bejárását. S minek köszönhetem mindenekelőtt ezt az életutat? Annak az első gondolatnak, ami édesanyámban fogalmazódott meg, amikor környezetével dacolva úgy döntött, hogy a fia továbblépve a családi és falusi hagyományokon, iratkozzon be a tapolcai polgári iskolába, majd utána a sümegi gimnáziumba.

Mindig az első gondolat a legmeghatározóbb, mert az a nulláról, vagy majdnem a nulláról elrugaszkodva fogalmazódik meg és egyetlen pontból kiindulva jelöli ki egyben az irányt. A folytatás – bármilyen nehézségekkel is jár – sok kisebb-nagyobb elrugaszkodások eredménye, ezeknek azonban egyike sem a nulláról,

hanem egy folyamat korábbi eredményeiről kiindulva történik. Az én eredményem csak ez a folytatás, amit igyekeztem tisztességgel végigvinni.”

Kedves Gyula!

Nagyon hálásak vagyunk a Teremtőnek, hogy ezen a pályán, az elrugaszkodások egy részében veled tarthatunk. Köszönjük mindazt, amit tettél, amivel számunkra is kijelölted az utat. Köszönjük a támogatásodat, az ötleteket, az építő beszélgetéseket. Köszönjük a nukleáris biztonságot központba állító mérnöki szemléletet, és a kemény munka iránti elkötelezettséget!

Nagyon fogsz hiányozni!

Emlékedet megőrizzük, hitvallásodat továbbviszszük.

Isten veled, nyugodj békében!

Aszódi Attila

BME Nukleáris Technikai Intézet

A FIZIKA TANÍTÁSA

A Mikola-verseny 40 éves jubileuma alkalmából megjelenő 3 cikk elé

Olyan korban élünk, amikor a tudományos eredmények jelentősen alakítják mindennapjainkat. A jelen problémáinak (energiaellátás, élelmiszer előállítás, környezetszennyezés, klímaváltozás, ...) megoldását is elsősorban a tudománytól várjuk. Ennek ellenére fiataljaink egyre kevésbé tartják vonzónak a műszaki, természettudományos pályákat. A tanulmányi versenyek a tárgy tanulására motiválják a diákokat, valamint alkalmasak a legtehetségesebbek kiválasztására is. 40 éve, az 1981/82-es tanévben indult útjára a Mikola-verseny. A jubileum alkalmából három cikk szól versenyről. Az első az elmúlt 40 esztendőt írja le, a másik kettő a gyöngyösi, illetve pécsi – ez utóbbit következő számunkban közöljük – döntők mérési feladataiból mutat be hármat-hármat.

S. P.

A MIKOLA-VERSENY ELSŐ NEGYVEN ÉVE

Simon Péter

Pécsi Leőwey Klára Gimnázium,
PTE TTK Fizikai Intézet

A Mikola Sándor Országos Középiskolai Tehetségkutató Fizikaversenyt a 2020/2021-es tanévben negyvenedik alkalommal rendeztük meg. Ez a jubileum alkalom a múlt felidézésére, a helyzetelemzésre és a jövő latolgatására.

A Mikola-verseny előtti időszak

Magyarországon a fizikaversenyek története a 19. század végén kezdődött. A bárói családból származó *Eötvös Loránd* eredményes diákból sikeres egyetemi oktatóvá, kutatóvá, a dualizmus jelentős szabadelvű gondolkodójává vált. Külföldi tanulmányi éve után a

hazai tudományos közélet aktív tagja lett. Hazatérése után rögtön egyetemi katedrát kapott Pesten. Megalapította a Matematikusok Asztaltársaságát, azaz a Matematikai és Fizikai Társulatot, ezt a mai Bolyai János Matematikai Társulat és a mai Eötvös Loránd Fizikai Társulat közös elődjének tekinthetjük. Útjára indította a *Mathematikai és Fizikai Lapokat*, amelyet ma *Középiskolai Matematikai Lapok (KöMaL)* néven ismerünk, és amit egyben a *Fizikai Szemle* is elődjének tekint. Fiatalon akadémikus, majd rektor lett. Eötvös Loránd 1894-ben 7 hónapig a második Wekerle-kormány kultuszminisztere volt. Több intézkedése támogatta a hazai közoktatást. Budapesten 32 tanár részvételével fizikatanári továbbképzést szervezett.

Hosszan lehetne még sorolni példákat a mai napig hatással bíró tevékenységére.

A Társulat vezetősége Eötvös távollétében úgy döntött, hogy elnökük miniszteri kinevezését egy tanulmányi verseny meghirdetésével ünneplik meg. Kimondták, hogy minden év őszen tanulóversenyt tartanak matematikából és fizikából az abban az évben érettségizett diákok számára. A versenyt egyfajta „tehetségfelmérőnek” szánták, hogy az egyetemi tanárok számára kiderüljön, kik is kerültek be az egyetemre. Az első és második helyezettek díjat és pénzjutalmat is kaptak. Az először 1894 őszen megrendezett tanulóversenyt tekinthetjük a mai Kürschák József Matematikai Tanulóverseny és az Eötvös Loránd Fizikaverseny közös elődjének [1].

Az 1930-as évektől kezdve többféle változatban járta be a világot a „marslakók legendája”. A *Leon Lederman* könyvében [2] olvasható változat a 2. világháború idején keletkezett Los Alamosban. A mesés történet végén olvashatjuk a következő két mondatot:

„... Dr. Watson a helyszínen nemsokára annak a személynek a nyomára is rábukkant, aki akkor a magyar oktatás legfőbb irányítójaként fedezte, sőt közvetítve maga szervezte meg a marsiak »gimnáziumnak« álcázott titkos hídfőállását. Ezt a személyt úgy hívták, hogy báró Eötvös Loránd.”¹

Az Országos Középiskolai Tanulmányi Verseny (OKTV) már a középiskolák 11–12. évfolyamának szülő megmérettetés. Elsőként matematikából hirdették meg 1923-ban, másodikként fizikából 1927-ben.

A Nemzetközi Fizikai Diákolimpiák (International Physics Olympiad, IPhO) megszületése három fizika professzor munkájának és összefogásának köszönhető [3]: *Czesław Scislowski* (Lengyelország), *Rostislav Kostial* (Csehszlovákia) és *Kunfalvi Rezső* (Magyarország). Az első diákolimpiát 1967-ben Varsóban tartották, a másodikat a következő évben Budapesten. Az első olimpián öt szocialista ország képviselte magát, a tizediken már tizenkét európai ország. Több olyan ország is van, amelyik először a Nemzetközi Diákolimpián indított csapatot, és csak ezek után szervezte meg saját országos tanulmányi versenyét, a „nemzeti olimpiát”. Az utóbbi években öt földrész több mint 80 nemzete küld résztvevőket a Nemzetközi Fizikai Diákolimpiára. A magyar csapat az első nyolc verse-

nyen három alkalommal első, két-két alkalommal második, illetve harmadik, egy alkalommal pedig negyedik helyen végzett a nemzetek sorrendjében. A 70-es évek végén viszont a 6–7. helyre szorult országunk csapata [3].

Ezt az eredményromlást nehezen élte meg a magyar fizikatanárok és az őket támogató egyetemi oktatók közössége. Nem sokkal korábban megalakultak az olimpiai szakkörök, amelyekbe elég esetlegesen kerültek be tanulók. Az akkori diákolimpiai csapat vezetőinek, *Tichy Gézának* és *Takács Lászlónak* támadt az az ötlete, hogy szükség lenne egy olyan versenyre, ami már jóval az OKTV-n való feltűnésük előtt kiválasztja azokat a tehetséges diákokat, akiket meg lehet hívni az olimpiai szakkörbe. Ezt a javaslatot előterjesztették az Oktatásügyi Minisztériumban. Kérésük az volt, hogy az első két évben ne a helyi tanárok és szakfelügyelők javítsák a dolgozatokat, hanem ez központilag, a diákolimpiai csapatvezetők irányításával történjen. Ily módon kialakulhatott egy átfogó kép a korosztály átlagos tudásáról is. *Kiss Lajos* tanár úr javasolta a verseny kilencedikeseknek való meghirdetését, hiszen az 1978-as tantervnek megfelelően a fizikatanítás már a középiskolák első évfolyamán megjelent. (Az Öveges általános iskolai verseny csak tizenegy évvel később indult útjára.) A tehetségkutató fizikaverseny egyik funkciója tehát az volt, hogy idejekorán biztosítsa a diákolimpiai szakkörök utánpótlását. A szakmai irányítást sokáig a diákolimpiai csapat vezetői (*Tichy Géza*, *Takács László*, *Szép Jenő*, *Gnádig Péter* és *Honyek Gyula*) végezték.

Marx György professzor úr szívügyének tartotta a fizikai diákolimpiákat. Amikor a magyar csapat vezetői felismerték, hogy fiatalabb korban kell felfedezni a tehetségeket, Marx professzor úr segítségével létrejött egy új verseny a 9–10. évfolyam diákjainak. Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat akkori vezetése felkérte *Nagy Márton* tanár urat e verseny megszervezésére. A tanár úr már 1966 óta egyre bővülő keretekben és sikerrel szervezett fizikaversenyt Sopron, Győr-Ménfőcsanak és Pozsony fizikát szerető diákjai számára [4].

Holics László tanár úr így emlékezik vissza: „A Mikola Sándor tehetségkutató fizikaversenyen már azelőtt bizottsági tag voltam, hogy sok évvel ezelőtt megalakult ezen a néven. A Mikola-versenybizottság leendő tagjaival, Marx Györggyel és *Tóth Eszterrel* először 1976-ban, »Természet Egysége« tábor alkalmával dolgoztunk együtt, majd az ebből létrejött »Értem a természetet« verseny bizottságában. Az Oktatási Minisztérium 1981-ben hivatalos fizikaversenyt hozott létre a 9. és 10. osztályosok részére Mikola Sándor Országos Tehetségkutató Fizikaverseny címen, amelynek munkájában a mai napig részt veszek. A Mikola-

¹Valójában *Eötvös József* (Loránd apja) foglalkozott a gimnáziumok fejlesztésével, mint vallás- és közoktatásügyi miniszter. Halála után egy évvel, 1872-ben, *Trefort Ágoston* minisztersége idején indult a tanárképzést szolgáló Mintagimnázium *Kármán Mór*, *Kármán Tódor* édesapja vezetésével, ez ma az ELTE Trefort Ágoston Gyakorlóiskola, ott végzett később *Teller Ede*.

(Honyek Gyula)

Az írás elkészítését a Mikola Versenybizottság több egykori és jelenlegi tagja segítette. Külön köszönetet mondok Csordás Andrásnak, Holics Lászlónak, Honyek Gyulának, Kiss Miklósnak, Kotek Lászlónak és Radnai Gyulának.



Simon Péter (1968) 1992-ben végzett az ELTE matematika–fizika tanári szakán. 1997 óta a Pécsi Leőwey Klára Gimnáziumban tanít. 2005-től a PTE TTK Fizikai Intézetében tanárszakos hallgatókat oktat. Tagja a Fizika OKTV-bizottságnak, vezeti a Mikola-versenybizottságot. Több tankönyv, példatár társszerzője. 2018-ban Rátz Tanár Úr Életműdíjat kapott.

versenyen az első feladatom 1982-ben jelent meg, a Gyöngyösön tartott 9. osztályosok versenyén, a legutóbbi feladatom 2021 márciusában jelent meg a 10. évfolyamosok kategóriájában. Eddig kereken 120 feladattal gyarapítottam a verseny feladatlapjait.”

Az első évek

Az első „kis-OKTV” az 1981/82-es tanévben *Országos fizikaverseny a középiskolák I. és II. évfolyama számára* címmel indult. Megyei és országos fordulóból állt. Iskolánként csak 2-2 első és második tanuló indulhatott a megyei fordulóban, közülük 40-40 tanuló jutott a döntőbe, amelynek helyszíne első évfolyamon a gyöngyösi Berze Nagy János Gimnázium, a második évfolyamon a soproni Berzsényi Dániel Gimnázium lett. Mindkét fordulóban és mindkét kategóriában 4-4 számítási feladat került kitűzésre mechanika, hőtan, egyenáram, valamint optika témakörökben. A 4. feladat három kisebb, különböző témakörhöz tartozó kérdést tartalmazott. Ma már furcsálljuk, hogy 15 éves gyerekeknek ilyen sok témából miként lehetett feladatokat kitűzni. A magyarázat abban rejlik, hogy akkor a diákok az általános iskola 6., 7. és 8. évfolyamán is heti 2-2 órában tanulták a fizikát. Azaz a középiskola akkoriban sokkal erősebb alapokra építhetett, mint manapság. A következő tanévben (1982/83) a Művelődési Minisztérium is elfogadta a versenyt, így olyan rangra emelkedett, mint a már hagyományos Arany Dániel Matematikai Verseny, amelynek története 1950-ig nyúlik vissza. A verseny neve ekkor *Országos Tehetségkutató Fizikaverseny* lett. A verseny egyes fordulójának feladatai a következő tanévben ismertetésre kerültek a *KöMaL*-ban, ahol egy-két hónap múlva a helyes megoldások is olvashatók voltak. A verseny szakmai felügyeletét az első két évben Szép Jenő és Takács László látta el, majd tíz éven keresztül Gnädig Péter és Honyek Gyula [5].

Az első évek szakmai stábjának legfiatalabb tagja Csordás András egyetemista volt. András néhány évvel korábban megnyerte az OKTV-t, második lett az Eötvös-versenyen, diákolimpikonként képviselte hazánkat Moszkvában. Csordás András ma az ELTE egyetemi tanára, 2013-tól 2021-ig a Fizika OKTV bizottságának elnöke. Így idézi fel a verseny kezdetét:

„Géza megkért, hogy segítsek a dolgozatok javításánál. Éppen kolesznapok voltak, így kicsit zűrös volt a helyzet, de szóltam néhány barátomnak a koleszban, hogy jöjjenek segíteni. Este nyolckor a Budaörsi úti kolesz ebédlőjébe vártunk mindenkit, akik tipikusan el is jöttek (akkor zömében OKTV-sek, *KöMaL*-osok voltak a felvettek között, akiknek természetes volt, hogy jönnek segíteni). Még a javítók zsíros kenyér + tea ellátmánya is meg volt szervezve (akkori barátnőmet, mostani feleségemet, kértem meg a háttér munkára). Körülbelül 25-en voltunk egyetemisták, amikor Tichy Gézaék beállítottak két kofferrel, amiben az első alkalommal 1200 dolgozat volt. Először jól átbeszéltük a feladatokat, pontszámokat. A tényleges

javítással 6 óra alatt végeztünk (még egyszer: 1200 dolgozat!). Négy fős csapatok voltak, mindenki csak egyféle feladatot javított. Az első öt után már könnyen ment. Ránézésre látszott, jó vagy rossz, illetve, hol volt hibázás. Utána pontszám szerint sorba raktuk, és Gézaék az első 200-300-at felüljavították. Meglepetésre, az iparszerű javítás sehol sem okozott durva eltérést, 1-2 pont elcsúszás pedig mindig van. Így derült ki, hogy kik jutottak a következő fordulóba, illetve így történt a legjobbak szakkörökbe való kiválasztása.”

A versenyekről értékelő cikkek jelentek meg *A fizika tanítása* című módszertani szakfolyóiratban Takács László tollából. A *KöMaL*-ban csak egy rövidebb beszámolót írt Lugosi Erzsébet. Az 1984/85-ös tanévben a verseny neve *Országos Középiskolai Tehetségkutató Tanulmányi Versenyre* (OKTTV) változott. A feladatok kitűzői között találjuk a következőket: Hegedüs Katalin, Holics László, Légrádi Imre, Major János, Nagy László, Radnai Gyula, Szép Jenő, Tichy Géza. Károlyházy Frigyes professzor úrnak 1985-ben jelent meg első alkalommal feladata, ezt követően pedig 2011-ig minden évben. A Károlyházy-feladat általában utolsónak szerepelt a döntő feladatlapján. Ez is mutatta, hogy a feladat megoldása a legnagyobb kihívás, ami a fizikai ismeretek kreatív alkalmazását igényli. Majd harminc éven át kíváncsian várták diákok és tanárok is a professzor úr legújabb feladatát [6].

Háromfordulósá vált a verseny

Az első években 1400-1600 diák indult a versenyen. Mivel csak 2-2 tanulót indíthatott minden iskola, sok helyen házi verseny keretében választották ki a legjobbakat. A verseny az 1985/86-os tanévtől háromfordulósá alakult, és eltörölték az iskolánkénti létszámkorlátot. Évfolyamonként külön értékelték a gimnazistákat és a szakközépiskolásokat. A szakközépiskolások „tündöklése” egészen a 90-es évek végéig tartott, ez idő alatt színvonalban egész közel voltak a gimnazistákhoz. Az országos döntőbe kerülő tanulók száma megváltozott, mindkét döntőbe 30-30 gimnazista és 20-20 szakközépiskolás került. Ezekben az években Gnädig Péter jelentetett meg részletes tájékoztatást a *KöMaL*-ban. Olvashattuk a 2. forduló és a döntő feladatait, a díjazott és megdicsért diákok névsorát, megnevezte a döntők szervezőit, lebonyolítóit, valamint a támogatókat. A verseny népszerűsége ezekben az években érthetően el a csúcst. Az első fordulóban induló több mint 20 ezer diák közül akár háromezer is bejutott a második fordulóba. Az igazi névadás az 1986/87-es tanévben történt, ettől kezdve a verseny Mikola Sándor Országos Középiskolai Tehetségkutató Fizika-verseny néven szerepel. (Mikola Sándor Neumann János és Wigner Jenő fizikatanára is volt.) 1987-től a verseny első forduló feladatait a gimnáziumi, illetve a szakközépiskolai feladatgyűjteményből jelölte ki a bizottság. A 80-as évek végén további tanárlegendák kapcsolódtak be a versenybizottság munkájába: Honyek Gyula, Kotek László, Kopcsa József, Suhajda János

nos, Tasnádi Péter, Varga István és Vermes Miklós. Vermes Miklós (1905–1990) csak néhány évig tudott részt venni a szakmai stábjában. Varga István (1952–2007) eleinte Nagyszalontáról küldött feladatjavaslatokat, Magyarországra való áttelepülése után pedig, részben az ő javaslatai alapján valósultak meg a mérési fordulók Sopronban. Kopcsa József (1931–2017) nem csak rengeteg feladattal támogatta a versenyeket, hanem a gyöngyösi zsűri visszatérő tagja is volt, ismeretést írt a *KöMaL*-ba, valamint előkészítette a versenyek anyagát a tördeléshez, kiadáshoz. Részben neki köszönhetően jött létre a verseny első három évtizedének feladatlapjait, azok megoldásait, és az eredménylistákat magába foglaló négy kötet [6–9].

Honyek Gyula így emlékezik vissza: „Harmincöt éves koromban lettem a Nemzetközi Fizikai Diákolimpiákra készülő magyar csapat egyik felkészítője 1986-ban. Ezzel a munkával együtt járt a Mikola-verseny szervezése is. Voltak évek, amikor a Zsigulim csomagtartója 3000 második forduló dolgozattal volt tele, melyeket Csordás András szervezésében az ELTE Budaörsi úti kollégiumában javítottunk egész éjszaka egyetemisták segítségével, akik egyike ma a feleségem.

Jól emlékszem Károlyházy Frigyes professzor úr egyik feladatára, ami azt kérdezte, hogy mikor nehezebb egy zárt konzerves doboz, ha hideg, vagy ha forró. Károlyházy tanár úrtól azt a felkérést kaptam, hogy analitikai mérlegen végezzem el a mérést, hogy teljesen biztos lehessen a helyes válaszban, illetve tudja a numerikus adatokat. Elárulom, hogy mire jutottam. Ha a konzerves doboz le van takarva például egy főzőpohárral, akkor nem mutatható ki különbség, azonban ha csak a konzerves dobozt helyezzük a mérleg tányérjára, akkor a forró doboz valamivel könnyebbnek tűnik, mint a hideg.”

A példatári feladatok mellett először 1990-ben szerepel a *KöMaL*-ból választott feladat az első forduló feladatlapján. A következő esztendőktől már nem az iskolai feladatgyűjteményből választották ki az első forduló feladatokat. A versenybizottság munkájába bekapcsolódott *Czeczei József, Dézsi Zoltánné, Moór Ágnes, Jurisits József, Szegedi Ervin, Wiedemann László és Zsúdel László*. A 12. versenyt követően fontos változás, hogy Lugosi Erzsébet és Szép Jenő után Gnädig Péter is befejezte a Mikola-verseny szakmai támogatását, felügyeletét. Ettől kezdve Kotek László (Pécs) és Szegedi Ervin (1956–2006, Debrecen) lettek a Mikola-verseny szakmai irányítói. Ők feleltek az első és második forduló feladatlapért, a második forduló versenydolgozatok javításáért, valamint a döntő elméleti és mérési feladatlapjának összeállításáért. Kotek László így emlékezik:

„Szép emlékekkel gondolok vissza a Mikola-versennyel kapcsolatos kezdeti lépéseimre, akkor nem gondoltam arra, hogy a továbbiakban ez a tanári munkámnak milyen fontos része lesz. Feladatkitűzőként 1988-ban kapcsolódtam be a versenybe, ebben az évben a soproni döntőben került kitűzésre az első feladatom. Gnädig Péter egyetemi docens úr 1991-ben meghívott a soproni döntő Versenybizottságába. Nagy

élmény volt számomra ez a verseny. Most is emlékszem a kísérleti feladatra, amikor a diákok feltörhették az üreges fahengert, hogy megismerhessék a falvastagságot, amit a mérések alapján kellett meghatározni.

A tizenkettedik verseny után Gnädig Péter, a Versenybizottság elnöke, a továbbiakban nem tudta vállalni ezt a munkát, és felkért az elnöki munka folytatására. Kis gondolkodás után igent mondtam. Így 1994 óta vezetem a 10. osztályos középiskolások számára kiírt Országos Mikola Sándor Tehetségkutató Fizikaverseny Versenybizottságát. Ez nagyon hosszú idő, és sok munka van a hátterében. Szerencsére a munkahelyi vezetőim a PTE Fizikai Intézetében mindvégig támogatták és értékelték az ilyen irányú munkámat. Jelzi ezt az is, hogy több alkalommal az Intézetben javítottuk a második forduló feladatait.

Jó visszaemlékezni a »soproni évekre«, az őszi konferenciákra, a kirándulásokra, a második forduló javításaira, a döntőkre, a Marci Bácsival való közös munkákra. Az évek során az ország kiváló fizikatanáiraival találkozhattam, dolgozhattam együtt, tanulhattam tőlük. A döntőkön a legtehetségesebb diákoknak gratulálhattam, adhattam át díjakat. A 30. verseny után a verseny szervezése Sopronból Pécsre került, azóta *Simon Péter* tanár úr irányításával folytatódik tovább magas szinten, mindenki meglegedésére. A verseny Pécsre kerülésében talán az én folytonos, soproni kitaró munkámnak is van kis szerepe.”

Az új csapatot erősítette feladatjavaslataival *Csajági Sándor, Kiss Miklós, Légrádi Imre, Szkladányi András és Takács Gábor*. Hosszú ideig a verseny teljesen ingyenes volt az állami és magáncégek támogatásának köszönhetően. Azonban 1996-tól »fizetősé« vált, ami azt jelentette, hogy a döntőbe jutott diákoknak és kísérőtanáiraiknak az útiköltségen kívül fizetniük kellett a szállásért és az étkezésért. 1996-ban az ország 687 középiskolájából 11315 tanuló jelentkezett az első fordulóba, és közülük 782 jutott a második fordulóba [6].

A gyöngyösi döntők

A kilencedikesek döntője Kiss Lajos tanár úr szakmai munkájának elismeréseként a kezdetektől a gyöngyösi Berze Nagy János Gimnáziumban van. A Mátra közelében fekvő Gyöngyös nagyon szerethető város, a Berze majd négyszáz éves múlttal rendelkező gimnázium, Heves megye legjobb középiskolája.

Kiss Lajos, a verseny gyöngyösi alapítója 1995-ben hosszas betegség után elhunyt. Tizenhárom versenyen jelentek meg feladatjavaslatai, szervezte a kilencedikesek döntőjét, kidolgozta a mérési fordulót. Feladatait *Farkas Béláné* és Kiss Miklós vette át. A gyöngyösi döntőn való részvétel a végeredménytől függetlenül ünnep diáknak, kísérőtanárnak, zsűritagnak egyaránt. A házigazdák szakmaisága, szeretete minden versenyen érezhető. Jólesnek a diákoknak a verseny feszültsége után szervezett programok: várostörténeti előadás, táncbáz. A kísérőtanároknak a zsűrivel történő szakmai beszélgetést követően lehetősége van belvá-

rosi sétára, a Mátra Múzeum, valamint a Szent Bertalan-templom Kincstárának megtekintésére. Amíg egy nappal tovább tartott a verseny, állandó program volt a mátrai kirándulás, amelynek fontos kísérő eseménye volt a víz forráspontjának mérése a kollégium előtt (150 méter tengerszint feletti magasság), illetve a Kékes-tetőn. 2008-tól egy nappal rövidebb a verseny, azóta Kiss Miklós mutatja be az általa tervezett és az iskola falán elhelyezett napórát. Farkas Béláné 2007-ben nyugdíjba ment, azóta a zsűri munkájában vesz részt. Szervezési feladatait *Kissné Császár Erzsébet* vette át. A verseny megnyitója mindig a gimnázium patinás könyvtárában van. A zsűri elnökei voltak az elmúlt évtizedekben: Szép Jenő, Gnädig Péter, Szegedi Ervin, Kopcsa József, Holics László, Honyek Gyula, Suhajda János. A díjkiosztó ünnepségre *Szamosvári György* és Kiss Lajos barátságának (újabban *Mérai Annamáriának*) köszönhetően a Mátra Művelődési Központban kerül sor, ahol az eredmények ismertetése előtt tudományos előadást hallhatunk. Most csak néhány előadót említünk meg: *Lovas István, Tél Tamás, Csörgő Tamás, Sükösd Csaba, Várkonyi Péter*. A verseny első honlapja 1998-ban a gyöngyösi döntőhöz készült el. Kiss Miklós, aki eddig közel 20 mérést dolgozott ki a gyöngyösi döntőre, így emlékezik vissza:

„Első emlékem a 2. döntőhöz kötődik. Pályakezdő tanárként felügyeltem a döntő írásbeli fordulóján. Úgy éreztem, hogy valami nagy ügy részese lehetek. A második, grafitos feladatra, és a fekete dobozos mérésre azóta is emlékszem. Lenyűgöző volt Kiss Lajos lelkesedése, lendülete. Nagy tisztelet övezte.

A második emlék Lajos betegségéhez kötődik. 1994 augusztusában érte a szívinfarktus. Elsőként a Bugát Pál Természetismereti Vetélkedő döntőjét kellett levezényelnünk Farkas Béláné kolléganőmmel, azután a Mikolát, 1995-től. Lajossal mindent megbeszéltünk lépésről lépésre, '95-ben a 14-ik döntőt még Ő is meglátogatta. Honyek Gyulának hozták a szívószálas-gémpontos mérést.

Lajos halála után természetes módon vittük tovább a Mikolához kötődő feladatokat. Innentől a feladatki-tűző bizottság munkájában is részt vettem. Elsőként 1997-ben voltam elég bátor, hogy magam is feladatokat javasoljak. A döntők méréseit főleg Varga István javasolta, többször hozott mérést Kopcsa József is. A mérés feltételeinek, a mérőeszközöknek biztosítása már az én feladatom volt. Az első saját mérésem 2001-ben szerepelt a gyöngyösi döntőn, azután 2003-tól folyamatosan.

1996-ban váratlanul elkísérhettem a Mikola-döntős diákokat Suhajda Jánossal, *Plósz Katalin* szervezésével a CERN-be, a LEP-be (*Fizikai Szemle* 1997/1). Nagy élmény volt látni és hallani a CERN akkori főigazgatóját, *Sir Christopher Hubert Llewellyn Smith*-t amikor köszöntötte a diákokat, és örömét fejezte ki, hogy nálunk ilyen sok diák érdeklődik a fizika iránt. Itt találkoztunk *Robert Cailliau*-vel, aki *Tim Berners-Lee*-vel együtt kifejlesztette a World Wide Webet. Ekkor döntöttem el, hogy honlapot készítek a Mikola-versenyhez.”

A soproni döntők

A tizedikesek döntője Nagy Márton tanár úr (Marci bácsi) iskolájában, a soproni Berzsényi Dániel Evangélikus Gimnáziumban volt 30 éven keresztül. Sopron egyike a legszebb városainknak, a Berzsényi több mint 450 éves múltra tekint vissza. A Líceum növendéke volt *Renner János, Rácz László, Mikola Sándor* és *Vermes Miklós* is.

A soproni döntőre nagyon sok diák abban a reményben utazik, hogy ismét találkozni fog az előző évben Gyöngyösön szerzett barátokkal. A tanulmányi versenyeken szövődő barátságok gyakran egész életre szólnak. A döntő elméleti és kísérleti fordulói után a résztvevőknek itt is lehetőségük van megismerni a várost és annak környezetét a kirándulások alkalmával. Az ezredforduló előtt néhány évvel a verseny helyszíne átkerült a „vasvillába” (Vas- és Villamosipari Szakközépiskola). Nagy Márton tanár úr mellett a soproni döntők legfontosabb személye *Pápai Gyula* tanár úr volt, aki nemcsak feladatjavaslataival, mérési feladataival, a mérési eszközök megfelelő számban való elkészítésével, a soproni honlap üzemeltetésével, hanem a kiadványok szerkesztésével is foglalkozott. Gyöngyöshöz hasonlóan az eredményhirdetés előtt itt is tudományos előadások szoktak lenni a résztvevők számára. Csak néhány név az előadók közül: Gnädig Péter, Károlyházy Frigyes, *Kovács László* és *Wiedemann László*.

Marci bácsi tehetségtámogatói tevékenysége példátlan. Amellett, hogy 30 évig működtette a Mikola-versenyt, 16 évig megszervezte Fényes Imre Olimpiai Válogatóversenyt, támogatta a 11 éven keresztül működő Békésy György Fizikaversenyt, kiépítette a Vermes Miklós „Nemzetközi” Fizikaversenyt.

1992-ben jött létre a Vermes Miklós Országos Tehetségkutató és Tehetségápoló Alapítvány, amely céljaul tűzte ki megtalálni, oktatni és további tanulásra biztatni a fizika iránt érdeklődő és tehetséges középiskolás diákokat.

A Vermes Alapítvány működtette a tanulmányi versenyek rendszerét. *Horváthné Hatos Éva* kuratóriumi tag segített a pályázatok írásában. Marci bácsi ismerte a fizikatanári közösség legjobbjait, jó kapcsolatot alakított ki a minisztérium döntéshozóival, Sopron város vezetésével, támogató cégvezetőkkel (MOL, Matáv, Soproni Sörgyár, Atomerőmű, nyomdák), iskolaigazgatókkal. Számos alkalommal megszervezte több mint száz résztvevővel az őszi tehetséggondozó konferenciát Sopronban, ahol találkozhattak a versenybizottság tagjai, a megyei szaktanácsadók és a meghívott vendégek. Az Alapítvány díjakat alapított azok számára, akik a legtöbbet tettek az Alapítvány céljainak megvalósulásáért: Fényes Imre-díj, Vermes Miklós-díj, Muki Bácsi emlékérem, Varga István-díj.

Marx György gondolata [4]: „Nagy Márton fő érdeme az, hogy Európában is példa nélküli fizikus tehetségápoló és tehetségkutató fizikaverseny-rendszert alakított ki. Munkájával Sopront tette a hazai fizikus tehetséggondozás fellegvárává, hiszen az általa elindított fizikaversenyek képezik a hazai tehetséggondozás gerincét.”

2012-ben Marci bácsi a *Soproni Témának* adott interjút. A „mit jelent soproninak lenni” kérdésre többek közt a következőt válaszolta:

„Sopronban teljesedett ki a tanári pályám, megvalósíthattam mindazt, amire egykoron elhívatottan készültem. Sorolhatnám a példákat, hogy elindíthattam több tehetségápoló fizikaversenyt, ami mögött jól tudom, hogy ott van a névadók, Mikola Sándor és Vermes Miklós szellemisége, akik itt tanultak, ennek a városnak a levegőjét szívták magukba.”

Az ezredfordulón

A '90-es évek utolsó harmadára gyakorlattá vált, hogy a gyöngyösi döntő zsűrijében a Kiss Miklós, Kopcsa József, Suhajda János, Szegedi Ervin, *Vankó Péter* és Zsúdel László alkotta csoport, a soproni döntőében pedig a Holics László, Jurisits József, Kotek László, Nagy Márton, Szkladányi András és Varga István alkotta csoport 4-5 tagja dolgozik.

A fizika művelésének nem kedveztek az oktatáspolitikusok döntései: csökkent a fizikaórák száma, növekedett a tanárok óraszám, a fizika többé nem „pontvivő tantárgy” a továbbtanulásnál, az orvosi egyetemekre fizika helyett kémiával is be lehet jutni, az egyetemek „egymás alá licitálva” fizikából elfogadták a középszintű érettségit az emelt helyett. A versenyre való jelentkezők száma egyre csökkent. Míg az ezredforduló előtt stabilan 8 ezer feletti volt az első fordulóban versenyző diákok száma, a 2000-es években ez a szám nem érte el a 8 ezret. A szakközépiskolákban drasztikusan esni kezdett a színvonal. A '80-as évek közepén még évi 20-20 szakközépiskolai diák került a döntőbe. Az ezredfordulóra Gyöngyösön és Sopronban is 10 alá csökkent a harmadik fordulóba jutott szakközépiskolai diákok száma. A Versenybizottság ezekben az években a budapesti Csík Ferenc Gimnáziumban tartotta azokat az értekezleteit, amelyek során megalkották az egyes fordulók feladatlapjait. *Varga Gáborné* fizikatanár jó házigazdaként kiváló körülményeket biztosított a munkához. (Korábban az MTESZ székházában, később a Puskás Technikumban folytak a megbeszélések.) A verseny fordulóiról részletes beszámolókat olvashatunk az Alapítvány által évente kiadott *Vermes Évkönyvben* [8].

2004-től kapcsolódott be a versenybizottság munkájába *Koncz Károly*, *Pálfalvi László* és Simon Péter; 2005-től *Horváth Gábor* és *Mező Tamás*; 2006-tól *Pálovics Róbert* és *Pántyáné Kuzder Mária*; 2008-tól *Ábrám László*, *Dudics Pál* és *Kirsch Éva*.

2012-től

2011-ben Nagy Márton tanár úr a Vermes Miklós Országos Fizikus Tehetségápoló Alapítvány képviselőjeként úgy döntött, hogy a Mikola-versenyt a továbbiakban a pécsi székhelyű Leőweyért Alapítvány szervezze, a tizedikes döntőnek pedig a pécsi Leőwey Klára

Gimnázium adjon otthont. Egész biztosan nehéz volt a döntést meghoznia az akkor nyolcvan esztendőes Marci bácsinak. Elhatározását talán az alapozhatta meg, hogy a „pécsiek” több éve igen aktívan részt vettek a verseny működtetésében.

Pécsről szervezzük gyakorlatilag az egész versenyt. A verseny egyediségét az adja, hogy a feladatlapok a körülbelül húsz fős versenybizottság feladatjavaslatai alapján születnek meg. A beérkezett javaslatok felhasználásával Szkladányi András szerkeszti meg az első, Koncz Károly és Simon Péter a második forduló feladatlapot. Mindkettőt Honyek Gyula lektorálja. Az első forduló mindig február második keddjén van. Az indulók száma az utóbbi 10 évben nem változott, körülbelül 3000-3400 fő. A második fordulóba az a diák jut, aki az első legalább 50%-osan oldotta meg. Ennek időpontja március közepe. Több mint 30 éven keresztül a megyei Pedagógiai Intézetek látták el ennek megszervezését, majd azok megszűnése után az OH POK-ok. 2020-tól ez a segítség megszűnt. Ezt a problémát úgy oldottuk meg, hogy megyénként egy, Budapestről hét középiskolával alakítottunk ki partneri viszonyt. Ezek az intézmények a továbbiakban vállalják a második (megyei) fordulók megrendezését. A beérkező 500-700 versenyzőt négy pécsi kolléga javítja.

Nagy örömünkre 2018-tól ismét térítésmentes a döntőn résztvevőknek a szállás és az étkezés. Mindez a Nemzeti Tehetség Programnak és az EMMI támogatásának köszönhető. Igyekszünk megfelelni az elvárásoknak, Pécsen is megvalósítani azt a szakmaiságot és vendégszeretetet, amit korábban kísérőtanárként, zsűritagként Gyöngyösön és Sopronban tapasztaltunk. A verseny zsűrijének elnöke Kotek László, tagok: Honyek Gyula, Koncz Károly, Pálfalvi László, Szkladányi András. A főszervező és a mérési feladatlap felelőse Simon Péter. A kilencedikesek döntőjét – természetesen – továbbra is Gyöngyösön tartjuk. Az elméleti feladatlapot Holics László állítja össze, a mérési feladatlapot Kiss Miklós. A zsűri elnöke Suhajda János, tagok: Holics László, *Horváth Ferenc* és Pántyáné Kuzder Mária. 2012-től a verseny feladatai megoldásokkal együtt megtalálhatók a verseny pécsi honlapján. Ebben az időszakban kapcsolódott be a versenybizottság munkájába *Csányi Sándor*, *Zsigri Ferenc*, *Vígh Máté* és *Elblinger Ferenc*. Szabadidejükben a résztvevők tudományos előadást hallgathatnak meg a PTE Fizikai Intézetében, belvárosi sétát tehetnek, amelynek része a Zsolnay Negyedben lévő Csodák Pécsi Palotájának megtekintése, vagy autóbuszos kiránduláson eljuthatnak Bábaapátiba, ahol a rakioaktív hulladék-tároló bejárása a program. A program megvalósulását a gimnázium tanárai segítik. A díjkiosztó előtt Pécsen is vannak tudományos előadások. Két előadót emelnék ki, mindkettő a Leőweyben tanult. *Raffai Péter* (ELTE) a gravitációs hullámokról tartott előadást. *Szabó Attila* 2013-ban végzős gimnazistaként a diákolimpiákon szerzett élményeiről mesélt. Attila a világ legsikeresebb diákolimpikonja, 2012-ben és 2013-ban is abszolút első lett. 2021-ben PhD-fokozatot szerzett Cambridge-ben.

A verseny győztesei

Minden tanulmányi verseny legfontosabb feladata a diákok motiválása, a tantárgy felé irányítása. Az elmúlt négy évtizedben közel 100 ezer diák indult a Mikola-verseny első fordulójában. Közülük több mint tízezer készülhetett a második fordulóra. Több mint kétezer fiatal vett részt a döntőn. A verseny célja ad a fizika tanulásának. Sok iskolában a szakköri munka ütemezésének alapja a meghirdetett tanulmányi versenyek időpontja. A diák számára sikert jelent továbbjutni a második fordulóra, részt venni a döntőn. A felkészítő tanárnak fontos visszajelzés tanítványának sikere. Ünnepe, ha elkísérhetünk egy tanulót a verseny fináléjába. A döntő két-három napjának élményei egy évre elegendő erő adnak a további munkához. A Mikola-versenyeken eredményesen szereplő diákok később sikereket érnek el az OKTV-n, a legjobbak olimpiikonok lesznek. Sokan választják a tudományos kutatást. Van közöttük olyan, aki már egyetemi tanárként fizikatanácskét vezet, sőt akadémikus is. A legsikeresebb diákok mindkét évfolyamon győztek: *Pozsgay Balázs*, Magyar–német Nyelvű Iskolaközpont Pécs, 1998, 1999; *Siroki László*, Fazekas Mihály Gimnázium, Debrecen, 1999, 2000; *Halász Gábor*, ELTE Radnóti Miklós Gyakorlóiskola, Budapest, 2003, 2004; *Sziűcs Gergely*, Radnóti Miklós Kísérleti Gimnázium, Szeged, 2006, 2007; *Varga Ádám*, SZTE Ságvári Endre Gyakorló Gimnázium, Szeged, 2008, 2009; Szabó Attila, Leőwey Klára Gimnázium, Pécs, 2010, 2011; *Papp Roland*, Fazekas Mihály Gimnázium, Budapest, 2011, 2012; *Janzer Barnabás*, Fazekas Mihály Gimnázium, Budapest 2012, 2013; *Kovács Csaba Balázs*, Hatvani Bajza József Gimnázium, Hatvan, 2019, 2020.

Végül érdemes megjegyezni, hogy a verseny egyes fordulóira készült feladatok gazdagítják a hazai fizika tehetséggondozás eszköztárát, kultúráját.

A jövő

A verseny teljes történetének részletes leírása, valamint az összes szereplő megemlézése lehetetlen vállalkozás lenne. Ez az írás csak egy gyors áttekintésre vállalkozott. Talán ebből is kitűnik, hogy a Mikola-verseny beváltotta a hozzá fűzött reményeket, tartósan Magyarország legnépszerűbb fizikaversenye. A fizikában tehetséges diákok felkutatásában és gondozásában fontos szerepet lát el a Mikola-verseny. A jövőt természetesen senki nem tudja. A Mikola-verseny elmúlt negyven éve arra tanít minket, hogy az igazán jó verseny él és változik. Soha nem mondhatjuk azt, hogy megtaláltuk a verseny végső formáját. Évről évre alkalmazkodnunk kell az új kihívásokhoz és mindig meg kell találnunk az éppen optimális működést.

Egy dolog viszont nem változik: mindannyian hiszszük, hogy a társadalom jövője nem képzelhető el magasszintű fizikaoktatás nélkül.

Irodalom

1. Radnai Gyula: Az Eötvös verseny centenáriuma. *Fizikai Szemle* 44/11 (1994) 421, <http://epa.oszk.hu/00300/00342/00060/rgy9411.html>
2. Leon Lederman: *Az isteni a-tom*. Typotex, Budapest, 1997.
3. https://hu.wikipedia.org/wiki/Nemzetközi_Fizikai_Diák_olimpiák_listája
4. *Nagy elődök fényében, nyomában*. Vermes Miklós Tehetségápoló Alapítvány, Sopron, 2019.
5. www.mikolaverseny.hu
6. *Mikola Sándor Fizikaverseny 1981–1996*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1997.
7. *Mikola Verseny 1997–2001*. Vermes Miklós Fizikus Tehetségápoló Alapítvány, Sopron, 2003.
8. *Mikola Verseny 2002–2007*. Vermes Miklós Fizikus Tehetségápoló Alapítvány, Sopron, 2007.
9. *Mikola Verseny 2007–2011*. Vermes Miklós Fizikus Tehetségápoló Alapítvány, Sopron, 2011.

A MIKOLA-VERSENY GYÖNGYÖSI DÖNTŐJÉNEK MÉRÉSI FELADATAIRÓL

Kiss Miklós

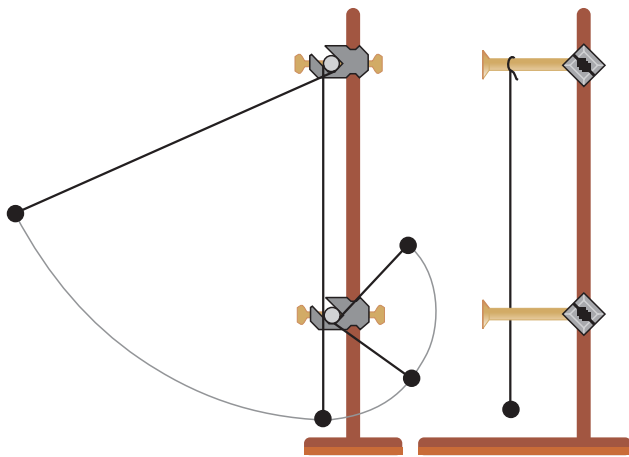
Gyöngyösi Berze Nagy János Gimnázium

Az 1980-as új tantervben már kilencedikben megkezdődött a középiskolai fizika. Igen célszerű volt a tehetségek korai felismerése céljából fizikaversenyt rendezni ennek az évfolyamnak is. A Mikola Sándor Országos Középiskolai Tehetségkutató Fizikaverseny először az 1981/82-es tanévben került megrendezésre. A verseny az 1985/86-os tanévtől háromfordulós. Az első két forduló írásbeli feladatokat tartalmaz, a

döntőben már mérni is kell annak az ötven diáknak, aki az első két forduló alapján eljut idáig. A kilencedikesek döntőjének helyszíne a Gyöngyösi Berze Nagy János Gimnázium, a tizedikeseké a Pécsi Leőwey Klára Gimnázium. Az első nap négy számításos feladatot kell megoldani az írásbelin, másnap egy mérést kell elvégezni és erről jegyzőkönyvet készíteni. A fordulók pontértékének az aránya kettő az egyhez.

1995 óta veszek részt a feladatkitűző bizottság munkájában és szervezem a gyöngyösi döntőt. A méréseket akkoriban *Varga István* hozta. Korai távozása után első mérésem 2001-ben szerepelt a gyöngyösi

Köszönettel tartozom *Holics Lászlónak*, aki a mérési feladatlapokat szakmailag ellenőrizte és *Kissné Császár Erzsébetnek*, aki gondosan átnézte és stilsztikailag is ellenőrizte azokat.



1. ábra. A mérési összeállítás.

döntőben. Azóta a 2002. év és a 2020-ban elmaradt verseny kivételével minden évben az én mérésemet kell megoldaniuk a versenyző diákoknak. Felsorolva: Sűrűségmérés vonalzóval; A kötelsúrlódás vizsgálata; Érmék nem centrális ütközésének vizsgálata; Sűrűségmérés; Vizsgálatok érmék centrális ütköztetésének segítségével; Koppantási magasság vizsgálata; Csúszási súrlódás vizsgálata; A súrlódás vizsgálata lejtős ingával; Kémcsőinga lengésidejének vizsgálata; Vizsgálatok gémkapocslánccal; Acélgolyó mozgása körív alakú csőben; Fonálinga vizsgálata; Ütközés vizsgálata érmék nem centrális ütközése alapján; Három-dobókockás mérés; Gémkapocsinga vizsgálata; Pingponglabda ütközésének vizsgálata; A kifeszített lánc vizsgálata; A tapadási súrlódás vizsgálata.

A felsorolt tizenhét döntő méréséből emeltem ki hármat részletes bemutatásra. Ezek: Koppantási magasság vizsgálata (M26); Ütközés vizsgálata érmék nem centrális ütközése alapján (M33); A tapadási súrlódás vizsgálata (M38).

A koppantási magasság vizsgálata

A mérés a közismert feladat alapján adódott: hol helyezzünk el egy ütközőt, hogy a kitérített inga végén lévő kisméretű test körpályán haladjon tovább a fonál ütközése után. Egyszerűnek tűnik a feladat és valóban: számolni egyszerű. A mérés során, ha elérünk egy indítási magasságot, a test a fonál ütközése után tovalendül, és a fonál feltekeredik a szögre akkor is,



Kiss Miklós a Gyöngyösi Berze Nagy János Gimnázium matematika-fizika és számítástechnika tanára, a gimnázium napórájának tervezője, készítője. PhD fokozatát fizikából szerezte, kutatótanár. 1995-től szervezi a Mikola-verseny gyöngyösi döntőjét, a feladatkitűző bizottság tagja, a döntő mérésének készítője. 2015-től a Bugát Pál Természismereti Vetélkedő zsűrijének tagja. Ericsson-, Mikola- és MTA Pedagógus Kutatói Pályadíjas.

ha a test még nem körpályán halad. A fonál feszessége gyakorlatilag nyomkövethetetlen. Az előzetes vizsgálódások, mérések alapján azonban egy sokkal látványosabb („hallványosabb”) lehetőség adódott: az adott magasságból indított test a fonál ütközése után körpályán halad, majd a fonál ellazulása után ferde hajításnak megfelelő parabolapályán halad. Megfelelő indítási magasság esetén éppen eltalálja az ütközőnek használt szeget és koppan.

A feladat ezek alapján a következő volt: „Az alsó szorítódíóba fogott szegnek ütköző fonál megáll, a fagyöngy a maradék fonállal tovább lendül. Ha a gyöngyöt kellő magasról indítjuk (y), ütközés után a feszes fonál az alsó szeg körül körbe megy, és rátekeredik. Valamivel alacsonyabbról indítva a fonál nem tekeredik fel, menetközben lazává válik, és a gyöngy nekikoppan a szegnek – (ez a) koppantási magasság. Az alsó szög magasságát a gyöngy alsó helyzetéhez képest (x) változtatva változik a szükséges indítási magasság. Az indítási magasság mérésében segít a talpas mérőpálca, az alsó szeg magasságának mérésére használd a vonalzót (1. ábra)!”

Adott volt a fagyöngy és az ütközőnek használt szög átmérője.

A várható eredményről számításokat végezhetünk. Ezt nem vártuk el a versenyzőktől, hiszen a szükséges matematika még nem adott kilencedik osztályban. Éppen ezért remélhető volt, hogy valóban mérnek a döntősök.

A 2. ábrán látható jelöléseket alkalmazva (a mérésnél használt y itt h , az x itt r) elsőként meghatározzuk, mekkora szögnél lazul el a fonál.

Az energiamegmaradás alapján:

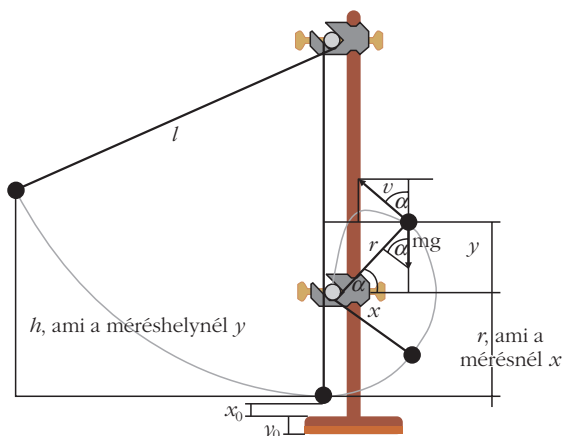
$$m g h = m g r (1 + \sin \alpha) + \frac{1}{2} m v^2.$$

Dinamikai megfontolás, amíg a test körpályán halad:

$$K + m g \sin \alpha = m \frac{v^2}{r},$$

ahol K a kötélerő. Amikor a kötel éppen nem feszül tovább, akkor $K = 0$. Ebből

2. ábra. A számításnál és mérésnél használt jelölések.



$$g r \sin \alpha = v^2$$

adódik. Ebből és az energetikai feltételből:

$$g h = g r(1 + \sin \alpha) + \frac{g r}{2} \sin \alpha.$$

Végül a

$$\sin \alpha = \frac{2}{3} \frac{h-r}{r}$$

összefüggés kapjuk. Ezzel már leírhatjuk a ferde hajlítással induló test mozgását. A sebességkomponensek:

$$v_x = v \sin \alpha \text{ és } v_y = v \cos \alpha - g t.$$

Akkor koppan a gyöngy a tengelynek, ha

$$x = r \cos \alpha = v t \sin \alpha \Rightarrow t = \frac{r \cos \alpha}{v \sin \alpha} \text{ és}$$

$$y = -r \sin \alpha = v t \cos \alpha - \frac{g}{2} t^2.$$

Ebbe az időt, és az energiából a sebesség négyzetére kapott összefüggést behelyettesítve:

$$-r \sin \alpha = v \cos \alpha \frac{r \cos \alpha}{v \sin \alpha} - \frac{g}{2} \frac{r^2 \cos^2 \alpha}{v^2 \sin^2 \alpha},$$

illetve:

$$0 = r \sin \alpha + r \frac{\cos^2 \alpha}{\sin^2 \alpha} - \frac{g}{2} \frac{r^2 \cos^2 \alpha}{g r \sin \alpha \sin \alpha}.$$

Ezt rendezve, a koszinuszokat szinuszokkal kiváltva a

$$0 = 3 \sin^2 \alpha - 1,$$

amiből

$$\sin^2 \alpha = \frac{1}{3}.$$

Ezt és a korábban a szög szinuszára kapott összefüggést egybevetve:

$$\left(\frac{2}{3} \frac{h-r}{r} \right)^2 = \frac{1}{3},$$

amiből a

$$h = \left(1 + \frac{\sqrt{3}}{2} \right) r \approx 1,866 r$$

összefüggés adódik. Ha figyelembe vesszük, hogy $h \leq l$, akkor az alsó tengely magasságára a

$$r \leq \frac{l}{1 + \frac{\sqrt{3}}{2}} \approx 0,5359 l$$

feltételt kapjuk.

1. táblázat

Az y indítási magasság függése az alsó ütköző szög x helyzetétől (4 mérés eredményei)

x_k (mm)	y_k (mm)	x_k (mm)	y_k (mm)	x_k (mm)	y_k (mm)
53,5	103	92	178	144	288
66,5	133	102	203	151	308
76,5	153	113	223	162	333
88,5	183	128	258	60	113
103	203	139	278	72	138
118	243	149	308	85	163
133	273	162	338	103	203
144	298	60	113	122	233
154	308	71	138	136	273
162	338	82	158	152	308
59,5	123	89	173	168	348
60	113	100	198	185	378
67	128	112	218	200	413
81	158	128	258		

A fagyöngy és a tengely mérete miatt a koppanás egy valójában Δy_k szélességű intervallumon belül valósul meg.

Méréskor sem a tengely, sem a fagyöngy átmérője nem nulla. Gyakorlati okokból nem a h -t (y) és az r -t (x) mérjük, hanem a golyó aljának a magasságát az asztal, illetve a Bunsen-állvány síkja felett. Ezekből számolhatjuk ki a keresett mennyiségeket:

$$x_k = x - x_0 - R + r,$$

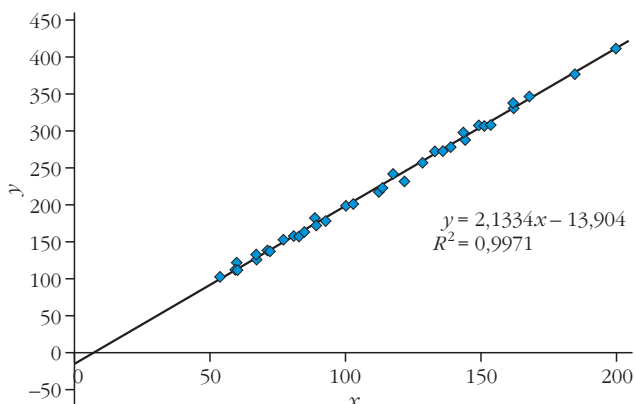
$$y_k = y - y_0 - x_0 + R - R = y - y_0 - x_0,$$

ahol R a fagyöngy, r az ütköző szeg sugara.

Az első feladat a mérés elvégzése volt, vagyis megmérni, hogy az alsó ütköző szög helyzetének változtatása miként befolyásolja a szükséges indítási magasságot, azaz y x -től való függését. Az adatokat táblázatba kellett rendezni (1. táblázat).

A mérési eredményeket grafikonon is kellett ábrázolni, azaz y -t az x függvényében (3. ábra).

3. ábra. A koppanási magassághoz tartozó indítási magasság a körpályára kényszerítő szög helyzete szerint.



A pontok jól illeszkednek egy egyenesre, amelynek egyenlete a mérések alapján: $y = 2,13x - 13,9$. Mivel $y \leq 1$, az előző alapján $x_{\max} \approx 1/2,13 = 0,47 \cdot l$. Ez az érték 45 cm-es ingánál 21,15 cm.

Lehetséges másik megoldás: az ingát vízszintesig kitérítve kell elengedni, és a körpályára kényszerítő szöget emelni a koppanáshoz tartozó helyzetig.

A feszes fonállal való körülfordulás nehezen mérhető, mert a fonál feszülése nehezen állapítható meg, nem különül el, a koppantási magasságot meghaladva feltekeredik a fonál.

A mérés pontosságát befolyásoló tényezőknél szerepet játszik a „hatáskeresztmetszet”. Az eltérítő szög vastagsága, a fagyöngy kiterjedése miatt az indítási magasság mindig egy intervallum (10–15 mm). A papírmérőszalag leolvasása is körülbelül öt milliméter pontosságú. A közegellenállás miatti veszteségek miatt a könnyű fagyöngyöt magasabbról kell indítani, mint egy kisméretű nagy sűrűségű testet.

A mérési feladatot a döntősök tizenöt százaléka hibátlanul megoldotta, de legalább 75 százalékos eredményt ért el a döntősök 63 százaléka. A legalacsonyabb teljesítés 22 százalékos volt. Ezek alapján a mérési feladat elérte célját.

Ütközés vizsgálata érmék nem centrális ütközése alapján

Az ütközési kísérletek igen fontosak a fizikában. Elég, ha a CERN LEP vagy LHC kísérletére gondolunk. Az érmék ütköztetései a legegyszerűbb kísérletek közé tartoznak. Segítségükkel és egy kis ügyességgel mégis sok információhoz juthatunk.

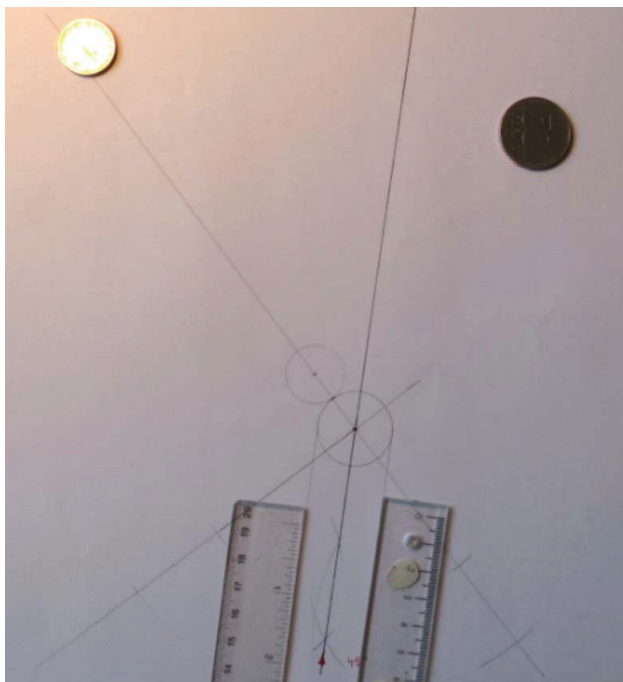
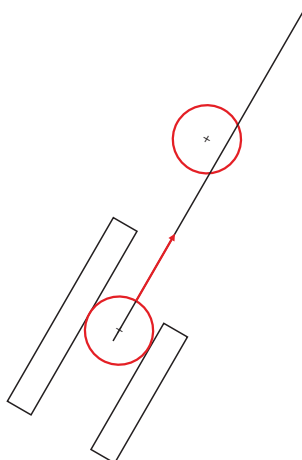
Ez a mérés egy elméleti bevezetővel kezdődött: igazolni kellett, hogy ütközéskor az érme ütközés utáni induló sebessége arányos a megállásig megtett út négyzetgyökével!

$$\mu m g s = \frac{1}{2} m v^2,$$

ebből $2\mu g s = v^2$, ha a μ állandó, akkor $v \sim \sqrt{s}$.

A kísérlet során álló ötforintosnak kellett ütköztetni ötvenforintos érmét a 4. ábrán látható elrendezés segítségével. A kiindulási helyeket célszerű előre megszerkeszteni (4. ábra). Az érméket körülrajzoljuk, és a sablonnal megjelöljük a középpontjukat. Vigyázni kell, hogy mindkét érme elmozdulását a megfelelő érme ütközés utáni kezdőhelyzetéhez viszonyítva határozzuk meg! Ügyelni kell, hogy az érkező érmét ütközés utáni mozgá-

4. ábra. A mérési elrendezés vázlata.



5. ábra. Egy mérés utáni helyzet a kiértékeléshez szükséges jelölésekkel.

sában ne korlátozzák az irányító vonalzókat. Csak az egyik vonalzót rögzítettük gyurmaragasztóval, a másikat csak kézzel.

A lendület megmaradásával dolgoztunk. Felhasználtuk az érkező érme mozgási irányát.

Egy lehetséges helyzetet mutat az 5. ábra. A 45°-ot megszerkesztve, az ötvenforintosot így indítva. Az érmék ütközés után megálltak. Láthatók a bejelölt ütközés utáni és az ütközés előtti helyzetek is. Kiindulásként feltételezzük, hogy a súrlódási együttható azonos a két érme esetén.

Az ütközés utáni elmozdulások nagyságából adódnak az ütközés utáni sebességek önkényes egységben:

$$v_1 \sim \sqrt{s_1} \text{ és } v_2 \sim \sqrt{s_2}.$$

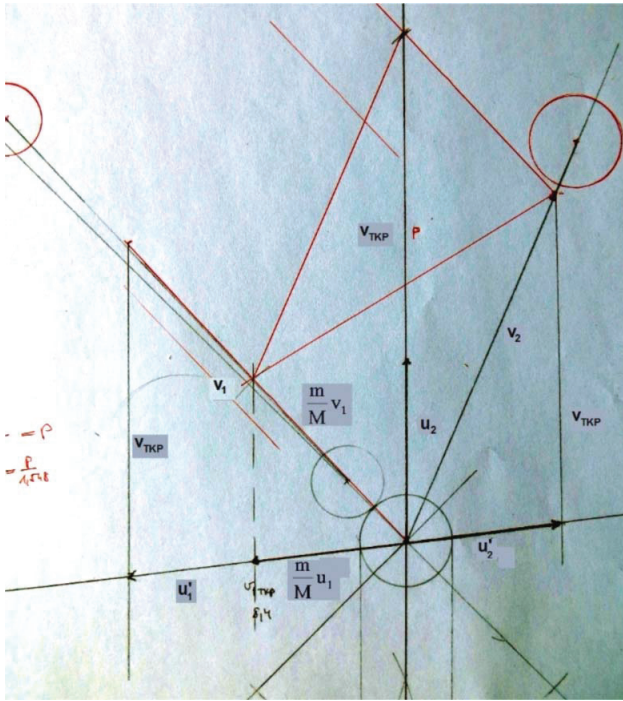
Ami gyakorlatban azt jelentette, hogy hosszúságokat kellett mérni. A lendületmegmaradás törvényéből indulunk ki és átalakíthatjuk:

$$p = p_1 + p_2,$$

$$M v = m v_1 + M v_2,$$

$$v = \frac{m}{M} v_1 + v_2.$$

Ez egy sebességösszeadási szabály, a második test sebességeit vesszük és az első test sebességéből a tömegarányval való szorzással kapott értéket. Ez módot ad a szerkesztésre. Felvesszük a sebességek irányát, felmérjük a nagyságukat. v_2 nagysága és iránya, valamint v iránya segítségével megszerkeszthetünk egy paralelogrammát, amiből adódik $(m/M) v_1$ nagysága. Ha ezt összehasonlítjuk v_1 nagyságával,



6. ábra. A kiegészített mérőábra.

megkapjuk a tömegek arányát:

$$\frac{m}{M} = \frac{v_1}{v_2}.$$

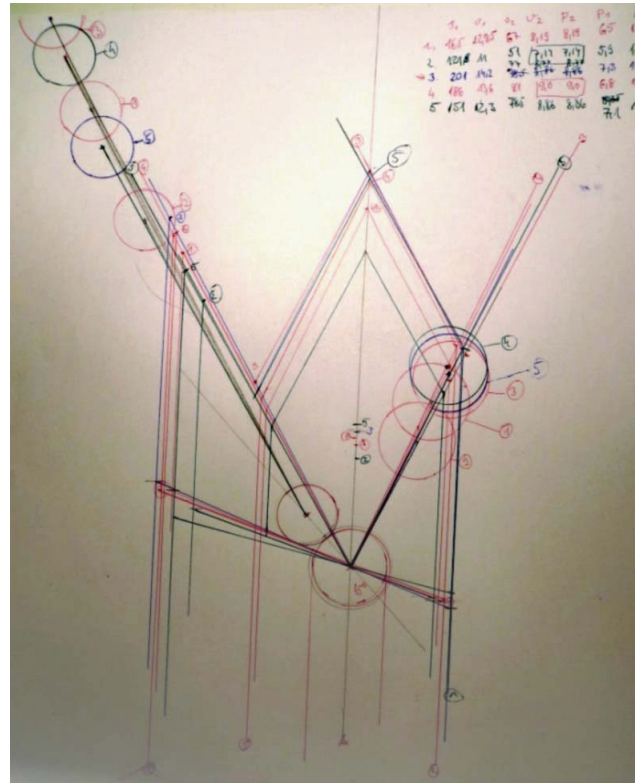
A tömegarány ismeretében meghatározhatjuk a tömegközéppont sebességét:

$$(m + M) v_{TKP} = m v_1 + M v_2 = M v,$$

ebből

$$v_{TKP} = \frac{M v}{m + M} = \frac{v}{\frac{m}{M} + 1}.$$

Ha ezt vektoriálisan kivonjuk a sebességekből (szer-



7. ábra. Mérőábra több mérés után.

kesztés), megkapjuk a tömegközépponti rendszerbeli sebességeket u , u'_1 és u'_2 . $u = u_2 = v - v_{TKP}$, ez itt egyszerű kivonás.

A tömegközépponti rendszerben $p_1 + p_2 = p'_1 + p'_2 = 0$, ezért $m u_1 + M u_2 = m u'_1 + M u'_2 = 0$. Itt ugyancsak képezhetjük a sebességszabályt:

$$\frac{m}{M} u_1 + u_2 = \frac{m}{M} u'_1 + u'_2 = 0.$$

Az egyenlet két oldalán szereplő két-két vektor az ábrán ellentett vektor, hiszen összegük nulla.

Mivel a szerkesztésből az adódik, hogy ezek ellentétes irányúak és egyforma nagyságúak, a súrlódásra tett feltevésünk helytálló. Most már számolhatjuk az ütközési számot is:

2. táblázat																
A nem centrális ütközés mérésének adatai																
	s_1	v_1	s_2	v_2	p_2	p_1	p	m	v_{TKP}	p_{2TKP}	$p_{2'TKP}$	k	s	ϵ	α	
1.	149	12,21	131	11,45	11,45	6,7	15,3	0,55	9,88	55	46	0,836	234,1	0,91	66	
2.	165	12,85	67	8,19	8,19	6,5	13,0	0,51	8,63	44,5	35,4	0,796	169,0	0,89	54	
3.	121	11,00	51	7,14	7,14	5,9	11,5	0,54	7,49	40	32,5	0,813	132,3	0,88	58	
4.	201	14,18	78,5	8,86	8,86	7,3	14,4	0,51	9,51	49	39	0,796	207,4	0,88	58	
5.	186	13,64	81	9,00	9,00	6,8	13,9	0,50	9,28	42	36,5	0,869	193,2	0,90	56	
6.	151	12,29	78,5	8,86	8,86	7,1	14,1	0,58	8,94	51,5	38,5	0,748	198,8	0,83	58	
átlag:									0,53				0,809		0,88	58,33
szórás:									0,03				0,041		0,03	4,08

$$k = \frac{p_{2TKP}}{p_{2TKP}} = \frac{u'_2}{u_2} = \frac{u'_1}{u_1}.$$

Az energiaarány:

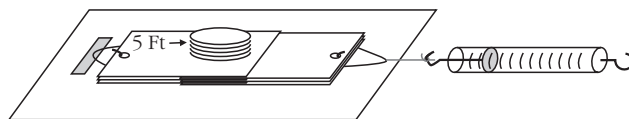
$$\varepsilon = \frac{\frac{1}{2} m v_1^2 + \frac{1}{2} M v_2^2}{\frac{1}{2} M v^2} = \frac{\frac{m}{M} v_1^2 + v_2^2}{v^2} = \frac{\frac{m}{M} s_1 + s_2}{s},$$

ahol s az érkezési sebesség négyzetéből adódik. A mérés adatait a 2. táblázat mutatja.

A két érme tömegaránya 0,555. A mérés alapján 0,53-nak adódott.

Ahogy az előbb jeleztük, mivel a TKP rendszerben a két érme lendülete ellentétes irányú, és ugyanolyan nagyságú, a feltevés helyes. (Ha ez nem teljesül, akkor a mérés vagy a szerkesztés hibás!)

Ez a mérés nem volt könnyű. Mégis volt hét döntős, aki nyolcvan százalék körüli eredményt ért el. Legalább ötven százalékban sikeres volt 32 diák, a döntősök 64 százaléka. Csak hét diák nem ért el negyven százalékos eredményt. Ezek alapján a mérési feladat elérte célját.



8. ábra. A tapadási súrlódás-mérés elrendezése.

A tapadási súrlódás vizsgálata

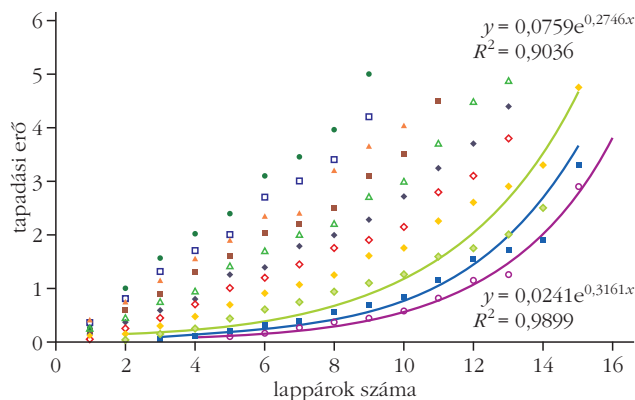
Az autók egytárcsás tengelykapcsolójával szemben a motorkerékpároknál a tengelykapcsoló lemezköteget tartalmaz. Érdekes megvizsgálni az ilyen tapadási súrlódást is. A 8. ábra mutatja a mérési összeállítást. Vastagabb papírlapocskákat teszünk egymásra felváltva az asztalhoz rögzített és a rugós erőmérőhöz kötött kampók segítségével. A lapocskákat összenyomó erő ötforintosok segítségével biztosítjuk. Azt vizsgáljuk, hogy adott terhelés esetén az erőmérőt húzva, mekkora a maximális erő, mielőtt a lapocskák megmozdulnak.

Különböző (L) számú lapocskapárt a megadott módon felváltva egymásra helyezve, különböző számú ötforintossal terhelve, mérjük a maximális tapadási erőt az n éremszám függvényében. A mérési eredményeket a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat															
L számú lapocskapárt n számú ötforintossal terhelve a newtonban mért maximális tapadási erő.															
$n \setminus L$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1					0,1	0,15	0,25	0,35	0,45	0,55	0,8	1,15	1,25	1,9	2,9
2			0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,55	0,7	0,85	1,15	1,55	1,7	1,9	3,3
4		0,05	0,15	0,25	0,45	0,6	0,75	0,95	1,1	1,25	1,6	1,75	2	2,5	4,75
6		0,15	0,3	0,45	0,7	0,9	1,05	1,25	1,6	1,75	2,25	2,6	2,9	3,3	
8	0,05	0,25	0,45	0,7	1	1,2	1,45	1,75	1,9	2,15	2,8	3,1	3,8		
10	0,1	0,35	0,6	0,8	1,25	1,4	1,8	2	2,3	2,7	3,25	3,7	4,4		
12	0,15	0,45	0,75	0,95	1,4	1,7	2	2,2	2,7	3	3,7	4,5	4,9		
14	0,2	0,6	0,9	1,3	1,6	2,05	2,2	2,5	3,1	3,5	4,5				
16	0,25	0,75	1,15	1,55	1,9	2,35	2,4	3,2	3,65	4,05					
18	0,35	0,8	1,3	1,7	2	2,7	3	3,4	4,2	4,85					
20	0,4	1	1,55	2	2,4	3,1	3,45	3,95	5						
$m =$	0,015	0,058	0,083	0,105	0,117	0,151	0,159	0,182	0,224	0,239	0,274	0,143	0,165		
$b =$	-0,146	-0,211	-0,190	-0,177	-0,003	-0,026	0,100	0,174	0,036	0,292	0,554	0,799	0,888		

Az alsó két sor az állandó lappár mellett, növekvő terheléssel lineárisan emelkedő tapadási súrlódási erő illesztett m meredeksége és b tengelymetszete.

4. táblázat															
Az 1, 2, illetve 3 newton F tapadási súrlódási erőt biztosító érmék száma különböző L lappárszám mellett.															
$F \setminus L$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1 N		20	15	12	8	7	6	4	3	3					
2 N				20	18	14	12	10	9	7	5	5	4		
3 N						20	18	15	13	12	9	7	7	5	1



9. ábra. A tapadási erő maximumának függése a lappárok számától.

A 3. táblázatból kigyűjtöttük az 1, 2, illetve 3 newtonhoz legközelebbi értékekhez tartozó érme és lappár számot, ez szerepel a 4. táblázatban. Az erő lappárok számától való függését adott éremszám mellett a 9. ábra grafikonja mutatja.

Egy, illetve négy érme esetén az erő függése a lappárok számától:

$$F = 0,0241 \cdot e^{0,3161L}, \text{ illetve } F = 0,0759 \cdot e^{0,2746L},$$

ahol L a lapok száma. Itt a versenyzőktől csak grafikont kértünk. Az exponenciális függés kis terhelés esetén jól látszik.

Az erő éremszámától való függését adott számú lappár esetén a 10. ábra grafikonja mutatja.

A grafikonok lineárisak. A lapok számának növelésével nő a meredekség. Például 5, illetve 8 lap esetén:

$$F_5 = 0,1174n - 0,0029, \text{ illetve } F_8 = 0,1818n + 0,1741,$$

ahol n az ötforintos érmék száma.

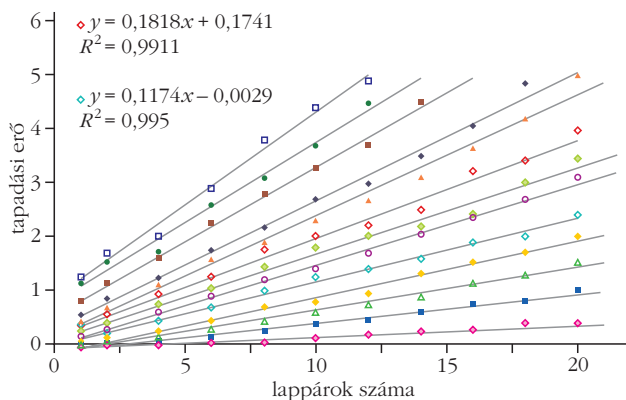
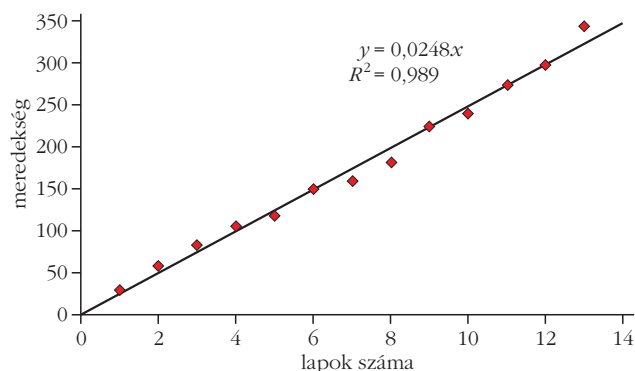
Megvizsgálható e lineáris függvények m meredekségének kapcsolata az L lappárok számával (11. ábra), eredményül $m = 0,0248 \cdot L$ értéket kaptunk.

Az egyes függvények extrapolációjával megbecsülhetjük, hogy adott eszközzel már nem mérhető esetekben mekkora lenne a maximális tapadási súrlódási erő.

Például 15 lappár esetén a meredekségből $F = 5,6$ N adódik, de figyelembe véve, hogy a tengelymetszet is változik, ezen erőre 7 N adódik.

A 4. táblázat alapján az azonos erőhöz tartozó lappár és éremszámot („izofortis”) mutató grafikont a 12. ábra jeleníti meg. Az adatok alapján láthatóan

11. ábra. Az egyenesmeredekségek függése a lappárok számától.



10. ábra. A maximális tapadási erő függése a terhelést jelentő érmék számától.

görbéket illeszthetünk, amire a mérés keretében persze nem volt szükség, pusztán a kapcsolat meglétének a felismerése volt cél.

A 48 döntős közül 16 fő, vagyis a döntősök harmada ért el legalább ötven százalékos eredményt. Két tanuló gyakorlatilag hibátlan mérést készített. Hatan voltak, akik nem érték el a harminc százalékot.



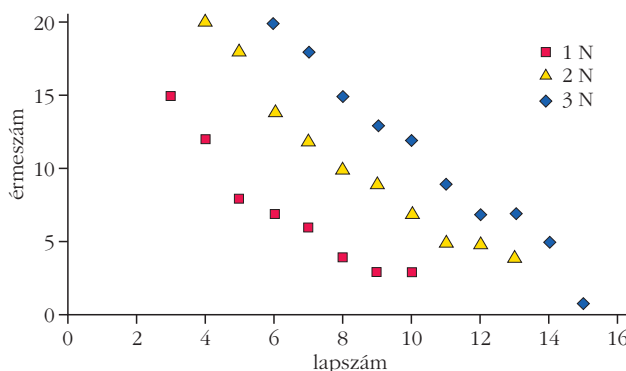
A három általam kiemelt mérés más és más szempontból volt tanulságos. Az első egy érdekes fizikai probléma jól mérhető változata, a második egy alapvető fizikai folyamat alapos vizsgálatának lehetősége nagyon egyszerű eszközökkel, a harmadik pedig egy gyakorlatban fontos probléma és vizsgálatában rejlt lehetőségek bemutatása.

Öröm, hogy mindig voltak nagyon jól mérő diákok. A mérés másik célja az érdeklődés felkeltése. Én úgy láttam, amikor ismertettem a mérések lehetséges megoldását a „Hogyan kellett megoldani a mérési feladatot” programpont során, hogy a diákokat érdekelték a mérési feladatok.

Irodalom

1. Kiss Miklós: A mérési feladat. In: Mikola Sándor Országos Tehetségkutató Fizikaverseny 2007–2011. Vermes Miklós Fizikus Tehetségápoló Alapítvány, Sopron (2011) 60–65.
2. Miklós Kiss, Mikola Competition. International Conference on Teaching Physics Innovatively. Budapest, Hungary, 17–19 Aug., 2015.
3. Mérési feladatlap: https://www.gemscape.net/mikola/index.php?p=2018/2019_8_meres.pdf
4. Mérési feladatlap: http://www.leoweypecs.hu/mikola/19_3_9_meres.pdf

12. ábra. Az egyenlő erőkhöz tartozó érme- és lappárszámok.



HUMOR A TUDOMÁNYBAN, TUDOMÁNY A HUMORBAN

Horváth Dezső
Wigner FK

Mottó: *Általános szabály, hogy az okos ember hülyeskedik, a hülye meg okoskodik. Okoskodást olvasunk eleget, nézzük meg a másik oldalt, mit hülyéskednek tudós kollégáink.*

Az ötletet kedvenc olvasmányaim, a Vagabund kiadó viccgűjteményei adták: *Hallók Ákos* 16 kötetnyi viccet gyűjtött, kötetenként 1000-nél több viccel. Ha van is némi átfedés a viccek között, akkor is legalább 15 000 viccről van szó. Találtam közöttük jó néhány tudományos tartalmút, azután a világhálón is kutattam, íme egy válogatás. (Lesz még folytatás!)

Mérnökség

Három mérnökhallgató beszélget arról, ki tervezhette az embert.

- Gépészmérnök volt, nézzétek csak meg ezeket a illesztéseket.
- Villamosmérnök lehetett, milliónyi elektromos kapcsolat van benne.
- Építész volt, hiszen a szennyvízcsatornát a szóra-koztató központ mellé tette.

Vizsgák a villamosmérnöki karon:

Tanár: Zavarja a neonfény? Diák: Nem. Tanár: Akkor vizslát legközelebb.
Tanár: Zavarja a neonfény? Diák: Igen. Tanár: Akkor vizslát legközelebb.
Tanár: Zavarja a neonfény? Diák: De tanár úr, ez argon lámpa! Tanár: Rendben, kezdhetjük.

Optimista: A pohár félig teli. Pessimista: A pohár félig üres. Mérnök: A pohár kétszer akkora, mint kellene.

Mérnökszótár: amit leírunk, és amit jelent

Természetesen megvizsgáljuk a problémát. → *Mintha nem lenne ezer más bajunk.*
Különböző megközelítésekkel próbálkoztunk. → *Mi a francért nem működik?*
Elvetettük a teljes korábbi koncepciót. → *Kilépett, aki értett hozzá.*



A fejlesztésnek új irányt adtunk. → *Rásóztuk három pályakezdőre a dolgot, hátba ők mennek valamire.*
Teljesen új tervezésű. → *Semmilyen korábbi alkatrészt nem tudtunk használni hozzá.*
Hatalmas technikai áttörést értünk el. → *Valóban flancos lett, csak nem működik.*
Garantált a megrendelő elégedettsége. → *Annyit csúsztunk, hogy bárminek örülne.*
Az első tesztek eredménye ellentmondásos. → *Felrob-bant, ahogy bekapcsoltuk.*
Az első tesztek biztatóak. → *Bekapcsoltuk és már zűmmögött.*
Rendkívül energiatakarékos. → *Mindaddig, amíg be nem kapcsolod.*
Nem igényel karbantartást. → *Nem javítható, ki kell dobni, ha elromlik.*
Kevés karbantartást igényel. → *Ne piszkáld, amíg működik, azután dobd ki.*

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

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

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

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

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

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

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

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



31. IFJÚSÁGI TUDOMÁNYOS ÉS INNOVÁCIÓS TEHETSÉGGUTATÓ VERSENY



AZ IFJÚ FELTALÁLÓKAT ÉS TUDÓSJEJELŐLTEKET KERESSÜK!

A verseny támogatói:

Fő támogató: Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával, az NKFI Alap

Kiemelt támogató: Nemzeti Tehetség Program | Magyar Tudományos Akadémia
Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatala | Magyar Tehetségsegítő Szervezetek Szövetsége

Kiemelt szponzor: AUDI HUNGARIA Zrt.

Jelentős támogató: Magyar Suzuki Zrt. | B. Braun Medical Kft. | Tungsram Operations Kft. | Richter Gedeon Vegyészeti Gyár Nyrt. | Ericsson Magyarország Kft. | Egis Gyógyszergyár Zrt. | 77 Elektronika Műszeripari Kft. | Sanatmetal Kft. | Kárpát-medencei Tehetségkutató Alapítvány

Támogató: Innomed Medical Zrt. | NI a Virtuális Műszerezésért Alapítvány
BHE Bonn Hungary Elektronikai Kft. | Értelmiségi Szakszervezeti Tömörülés

Szakmai-stratégiai partner: Klebelsberg Központ, Startup Campus

Médiatámogatók: Fő támogató:  MS Támogató:  innoteka  KARCFM



Részletes felhívás: www.innovacio.hu
További információ: tel.: 06-1-430-3330
innovacio@innovacio.hu

Fővédnök:

Dr. Palkovics László
innovációs és technológiai miniszter

Novák Katalin
családokért felelős tárcanálküli miniszter

Védnök:

Dr. Maruzsa Zoltán
köznevelésért felelős államtitkár

Dr. Birkner Zoltán
az NKFIH elnöke

A projekt a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és
Innovációs Hivatal támogatásával,
az NKFI Alapból valósul meg.

Beküldési határidő: 2021. november 25., 15 óra

