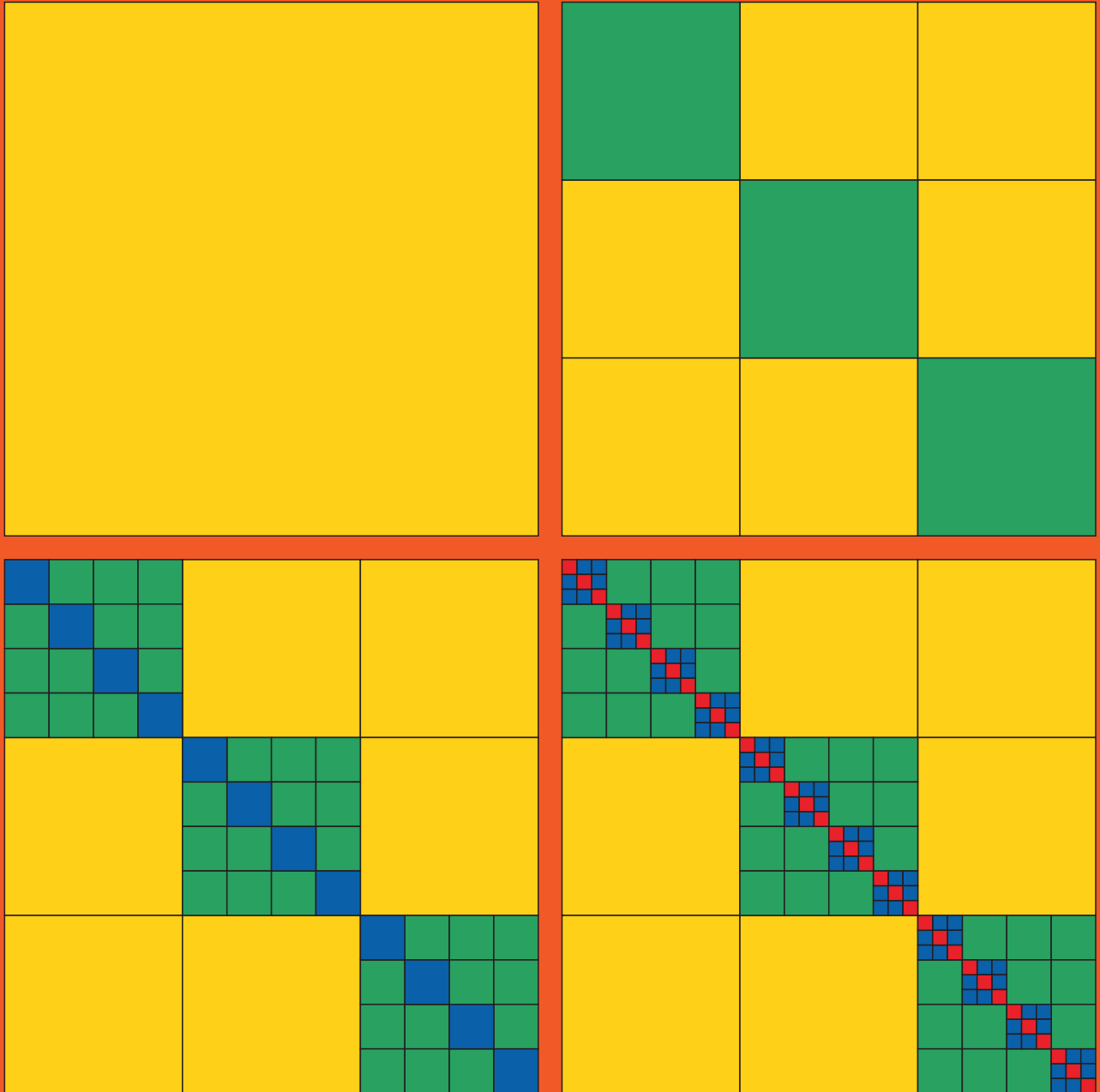


fizikai szemle



2021/11

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, Horváth Dezső, Horváth Gábor, Iglói Ferenc, Kiss Ádám, Ormos Pál, Pálfalvi László, Papp Katalin, Simon Ferenc, Simon Péter, Sükösd Csaba, Szabados László, Szabó Gábor, Takács Gábor, Trócsányi Zoltán, Ujvári Sándor

Műszaki szerkesztő:
Kármán Tamás

A folyóirat e-mailcíme:
szerkesztok@fizikaiszemle.hu
A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

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

A folyóirat honlapja:
<http://www.fizikaiszemle.hu>



A címlapon:
A replikaszimmetria-sértés Parisi-féle szerkesztésének első lépései: az ábra a rendparaméter-mátrix szerkezetét kívánja érzékeltetni, azonos színű mezők azonos mátrixelemeknek felelnek meg.

TARTALOM

Kondor Imre: Giorgio Parisi Nobel-díja 365
A 2021. évi Fizikai Nobel-díj egyik felének háttere.

Weidinger Tamás, Pongrácz Rita, Tasnádi Péter: A 2021. évi Fizikai Nobel-díj éghajlatkutató nyertesei 369
A 2021. évi Fizikai Nobel-díj másik felének háttere.

Szarka László Csaba: Albedómérés földfényen 375
A Föld fényvisszaverő-képességével (a planetáris albedóval) kapcsolatos eredmények és rejtelmek.

A FIZIKA TANÍTÁSA

Pálfalvi László, Kovács Vivien: A pV^* = állandó törvény alkalmazhatóságáról egy versenyfeladat tükrében 380
Hogyan lehet korrigálni a törvényt, ha sűrűlódás miatt irreverzibilissé válik a folyamat.

Radnóti Katalin: A megismerés kalandja – a ismeretszerzés tudományos módszereinek bemutatása a fizikaoktatásban 384
Nem elég csak a fizika fő területeihez kapcsolódó, annak logikáját bemutató ismereteket, tényeket, jelenségeket tanítani, azt is meg kell mutatni, hogy miként szerzünk tudományos ismereteket.

HÍREK – ESEMÉNYEK

Szőkefalvi-Nagy Zoltán: Idén lett volna 75 éves, de már 10 éve nincs közöttünk Kajcsos Zsolt 393

„Bonis bona – a nemzet tehetségeiért” életműdíjat kapott Kovács László és Varga Balázs Domokos 394

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 2021. évi Küldöttgyűlése 395

SZÓRAKOZTATÓ FIZIKA

Horváth Dezső: Humor a tudományban, tudomány a humorban 399

I. Kondor: Giorgio Parisi's Nobel prize

T. Weidinger, R. Pongrácz, P. Tasnádi: The 2021 Nobel prize in physics for climate research

L. Cs. Szarka: Albedo measurement with earth light

TEACHING PHYSICS

L. Pálfalvi, V. Kovács: On the applicability of the pV^* = constant law on the basis of a competition problem

K. Radnóti: The adventure of cognition – presenting methods of scientific cognition in physics education

EVENTS

FUN PHYSICS

D. Horváth: Humor in science, science in humor

Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

megjelenését támogatják:



Giorgio Parisi 1948. augusztus 4-én született Rómában, kedvező anyagi körülmények között élő polgári családban. Már kisgyerekként kitűnt matematikai érdeklődésével, az iskolában mindig kiemelkedő teljesítményt nyújtott matematikából és természettudományokból. A római La Sapienza Egyetemre iratkozott be, ahol a matematikus és a fizikus szak között ingadozott, végül a fizika mellett döntött, de megtartotta érdeklődését a matematika iránt is.

Az első egyetemi év után felfedezte a Landau–Lifszic elméleti fizikai tankönyvsorozatot, a második év elejére megtanulta az első három kötet anyagát, *Dirac* kvantummechanikájával együtt. *Schrödingert*, *Fermi* és *Paulit* olvasott, megelőzte az évfolyamot, így nem is igen követte az előadásokat. Minthogy a második egyetemi éve 1968-ra esett, az egyetemi forrongások egyébként is szétzilálták a tanévet.

Az 1968-as év tapasztalatai lényegesen megváltoztatták a családi hagyományoknak megfelelő polgári, liberális kereszténydemokrata beállítódását, nézetei és kapcsolatai erősen balra tolódtak. Társadalmi elköteleződését és aktivitását a mai napig megőrizte.

A harmadik egyetemi évben került kapcsolatba a kutatómunkával. *Nicola Cabibbo* kevéssel korábban tért vissza Rómába a CERN-ből, az általa képviselt nagyenergiás részecskefizikai témák tűntek a kor vezető tudományos kérdéseinek, és Parisi is ehhez az irányzathoz csatlakozott. Ugyanakkor érdeklődött a statisztikus fizika problémái iránt is, ez a kettőség is végigkísérte pályáját. Értekezését Cabibbo vezetésével írta meg a mértékelméletekben bekövetkező spontán szimmetriasértés és a Higgs-bozon témaköréből. A szabályok által megengedett legrövidebb idő alatt, 1970-ben jutott el a dolgozata megvédéséig.

Első munkahelye a Frascati Nemzeti Laboratórium volt, ahová 1971 elején lépett be ösztöndíjasként. Ez az időszak a Frascati aranykora volt, ekkor kezdték el a világon egyedülálló berendezésen az elektron-pozitron annihilációs kísérleteket. A Frascatiban töltött évek alatt Parisi 1973–74-ben a New York-i Columbia Egyetemen dolgozott látogató kutatóként, 1976–77-ben az Institut des Hautes Études Scientifiques-ben Párizs mellett, 1977–78-ban az École Normale Supérieure-ben Párizsban.

1981-ben az elméleti fizika professzorává nevezték ki az Università di Roma II Tor Vergata egyetemen,



majd 1992-től az Università di Roma I La Sapienza egyetem kvantumelméleti professzora lett.

A Google Scholar szerint tudományos cikkeinek száma 1061, a hivatkozások száma 91 429.

Az idők folyamán hét könyvet jelentetett meg:

Non-Perturbative Field Theory and QCD (társszerkesztők: R. Iengo, A. Neveu és P. Olesen) World Scientific, 1983.

Spin Glass Theory and Beyond: An Introduction to the Replica Method and its Applications (társszerzők: M. Mézard és M. A. Virasoro) World Scientific, 1987.

Statistical Field Theory, Addison–Wesley, 1988.

Lattice 90 (társszerkesztők: N. Cabibbo, L. Maiani, E. Marinari, G. Martinelli, R. Petronzio és R. Pettorino) North Holland, 1991.

Field Theory, Disorder and Simulations, World Scientific, 1992.

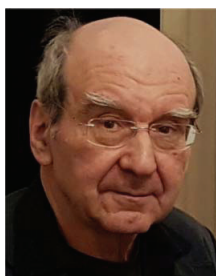
Quantum Mechanics (társszerzők: G. Auletta és M. Fortunato) Cambridge University Press, 2009.

Theory of Simple Glasses: Exact Solutions in Infinite Dimensions (társszerzők: P. Urbani és F. Zampogni) Cambridge University Press, 2020.

Pályája során számos kitüntetésben részesült: Feltérinelli-díj (1986), Boltzmann-érem (1992), Italgas-díj (1993), Dirac-érem és -díj (1999), az olasz miniszterelnök díja (2002), Enrico Fermi díj (2003), Heineman-díj (2005), Nonino-díj (2005), Galilei-díj (2006), Microsoft-díj (2007), Lagrange-díj (2009), Max Planck érem (2011), a *Nature* folyóirat életműdíja (2013), az Európai Fizikai Társaság Nagyenergiás és Részecskefizikai díja (2015), Onsager-díj (2016), Pomeranchuk-díj (2018), Wolf-díj (2021) és Nobel-díj (2021).

Tagja az Accademia dei Linceinek, a Francia Tudományos Akadémiának, az Olasz Tudományos Akadémiának és az Egyesült Államok Tudományos Akadémiájának, jelenleg az Accademia dei Lincei elnöke.

Széleskörű szerkesztői és tudományszervezői tevékenységet folytat. Növekvő tekintélyét az olasz felsőoktatás és kutatás elégtelen finanszírozásának kritikájára, és egy kedvezőbb helyzet követelésére használja fel.



Kondor Imre nyugalmazott egyetemi tanár a kondenzált Bose-rendszer, majd a kritikus jelenségek, később a rendezetlen rendszerek elméletével foglalkozott, ahol *C. De Dominicis*-szel közösen igazolta a spinűvek Parisi-féle átlagtér-megoldásának stabilitását, és elindította a spinűvek térelméletének felállítását. A 90-es évek végén csatlakozott az ökonofizika-irányzathoz. A statisztikus fizika módszereit alkalmazva bonyolult optimalizációs problémákat és a pénzügyi szabályozással összefüggő kérdéseket vizsgált.

Parisi kutatási területe rendkívül széles: a kvantumtérelmélettől kezdve a részecskefizikán és statisztikus fizikán át kiterjed a hűrelméletre, rácsérelméletekre és spinmodellekre, a numerikus módszerek alkalmazására és továbbfejlesztésére, egészen a nagysebességű tömbprocesszorokon alapuló dedikált számítógépek tervezéséig, a káosz, a dinamikai rendszerek és a turbulencia vizsgálatáig, különböző rendezetlen rendszerek (növekedés, véletlen geometriai sokaságok, fehérje folding), de különösen a spinűvek, illetve a 90-es évek közepe óta a valódi űvek tanulmányozásáig, a különféle optimalizációs problémák és algoritmusok kutatásáig, immunológiai problémák és neuronhálók, valamint a gépi tanulás és mesterséges intelligencia kutatásáig, sőt az állatcsoportok kollektív viselkedésének leírásáig is.

Parisi igen barátságos, könnyen megközelíthető, mindenkit figyelmesen meghallgat. A vele folytatott beszélgetések mindenkit hatalmas mértékben inspirálnak, még ha érvelését sokszor nehéz is követni, mert rendkívül gyorsan, óriási ugrásokban gondolkodik. Az évek során igen sok munkatárssal és tanítvánnyal dolgozott együtt, a 70. születésnapjára társszerzőiről készült ábra 317 nevet tartalmaz. Tevékenysége más tudományokban is jelentős előrehaladást indukált, például a sztochasztikus folyamatok elméletében, operációkutatásban vagy az algoritmusok elméletében.

Korán felismerte, hogy a számítógépek elterjedése és hatékonyságuk hatalmas mértékű megnövekedése a numerikus fizikát a kísérleti és elméleti fizika mellé egyenjogú tudományággá fogja tenni. E gondolat a jegyében kezdeményezte Cabibbo a rácsérelméletek szimulációjára kifejlesztett szuperszámítógép megépítését, amiben Parisi központi tervezői szerepet játszott. Az így létrejött APE nevű 1 gigaflop sebességű tömbprocesszort utóbb 100 gigaflopig fejlesztették, egy időben számos példány épült belőle és kereskedelmi forgalomba is került.

Ugyancsak ebből a megfontolásból szervezte meg munkatársaival a JANUS együttműködést. A döntően olasz és spanyol kutatók által felépített, fizikailag Zaragoza-ban található dedikált számítógépet kifejezetten a spinűvek szimulációjára tervezték, és a szimulációk területén egyedülálló módon képes megközelíteni a valódi, laboratóriumi spinűvegminták dinamikáját és karakterisztikus hosszúságskáláit.

Parisi szerteágazó kutatási témái közül kiemelkedik a rendezetlen mágnesek egyik változatának, a spinűveknek a vizsgálata, ezért a továbbiakban erre a kérdéskörre fogok fókuszálni. A spinűvekben az atomi mágnesek (spinek) között versengő, nagyságukra és előjelükre nézve is véletlenszerű kölcsönhatások működnek. Minthogy az ilyen belső konfliktus, az együttműködés és versengés, a serkentés és gátlás a legkülönbözőbb tudományos, műszaki, ökológiai, társadalmi, gazdasági és pénzügyi problémák lényeges eleme, a spinűvek mindezen komplex rendszerek számára a legegyszerűbb iskolapéldát nyújtják, amelynek jól formalizálható keretei között e komplex rendszerek alapvonásai viszonylag egyszerűen vizsgálhatók.

A spinűveg-metaphora rendkívül széles körben bizonyult megtermékenyítőnek, és a spinűvek elméletében kifejlesztett modellek és módszerek olyan tudományágakba is behatoltak, amelyek képviselőinek már sejtelte sincs azokról az eredeti összefüggésekről, amelyek között ezek a módszerek kifejlődtek.

Az első spinűvegmintákat *Louis Néel*, Nobel-díjas fizikus javaslatára hozták létre abban a reményben, hogy a mágneses komponens kellő hígításával tanulmányozhatóvá válhat a mágneses kétestestprobléma. Ehhez a – mágneses szempontból teljesen inert – nemesfémek (arany, ezüst, réz) rácsában igen csekély koncentrációban mágneses ionokat (vas, mangán, nikkel) oldottak fel, és azt várták, hogy a mágneses komponens megfelelő hígításával elhanyagolhatóvá válnak a kollektív mágneses effektusok, és megmutatkozik két spin közvetlen kölcsönhatása. Ezen ötvözetek vizsgálata megmutatta, hogy ez a remény teljesen megalapozatlan: a két lokalizált spinen szóródnak a vezetési elektronok, ami hosszú távú, és a távolságtól oszcilláló módon függő kölcsönhatást indukál közöttük. A rácsban véletlenszerűen elszórt és egymással az előjelét változtató RKKY kölcsönhatással összekapcsolt mágneses ionok ezeket az ötvözeteket egy sor nagyon szokatlan tulajdonsággal ruházzák fel, amelyekre lassan derült fény a kezdetben igencsak marginális probléma kísérleti vizsgálata során.

Adva volt tehát az ötvözetek egy lassan szaporodó csoportja, amelyek alkalmatlannak bizonyultak arra a célra, amelyre kifejlesztették őket, és egyéb alkalmazásukra sem látszott semmiféle remény. Viszont különös tulajdonságokat mutattak, ezért elszórtan mégis keltettek némi figyelmet. Eközben a kondenzált anyag fizikájában forradalmi előrehaladás következett be a fázisátalakulások akkorra már százéves problémájának megoldásával, ami a tudományos közösséget nagyon fogékonnyá tette a kollektív jelenségeket kísérő szinguláris, nem-analitikus viselkedés iránt. Ebben a kontextusban nyert jelentőséget *Cannella* és *Mydosh* mérése 1972-ben, amely azt mutatta, hogy a spinűvek mágneses szuszceptibilitása a hőmérséklet függvényében tőrspontot, vagyis nem-analitikus viselkedést mutat. Ez felvetette annak a gyanúját, hogy ezekben a véletlenszerű mágneses rendszerekben esetleg egy új típusú fázisátalakulás megy végbe, és az anyag szerveződésének egy egészen új fajtája áll elő. Ez hatalmas lökést adott a hasonló szerkezetű rendezetlen rendszerek vizsgálatának, és 1975-ben elvezetett a területen alapvető szerepet játszó Edwards–Anderson (EA) modell felállításához. A modell eltekint a nemesfém mátrix szerepétől és kizárólag a spinekre fókuszál. A legegyszerűbb esetben ezeket a spineket egy kétértékű változó reprezentálja: $s_i = \pm 1$. A spinek között valamilyen adott eloszlásból húzott $J_{i,k}$ véletlen kölcsönhatások működnek. A modell adott spinkonfigurációjában az energia

$$H = -\frac{1}{2} \sum_{i,k} s_i J_{i,k} s_k. \quad (1)$$

Ez láthatóan a standard Ising-modell általánosítása véletlen csatolások esetére. Egyszerűsége dacára máig

nem rendelkezünk általánosan elfogadott képpel arról, hogy a modellt például a 3-dimenziós rácsra helyezve milyen szerkezetet találunk alacsony hőmérsékleten. A statisztikus fizika szokásos stratégiáját követve *Sherrington* és *Kirkpatrick* (SK) még ugyanabban az évben (1975-ben) javasolták az EA modellnek megfelelő átlagtérmodell bevezetését, ahol is a spinek – feltevés szerint – egy teljes gráfon helyezkednek el, és a $J_{i,k}$ kölcsönhatások minden spinpárt ugyanolyan valószínűséggel kötnek össze pozitív vagy negatív csatolással. Egy ilyen gráf nem helyezhető el véges dimenzióban, ezért gyakran hivatkoznak az átlagtér elméletre végtelen dimenziós modellként.

Sherrington és Kirkpatrick a modellt az úgynevezett replikatrükk segítségével oldották meg. A replikatrükk színes előtörténete *Hardy*, *Littlewood* és *Pólya* 1934-ben megjelent *Inequalities* című könyvéig nyomozható vissza, később a polimerek statisztikus fizikájában alkalmazták, elsőként éppen *Edwards*, így természetes módon talált utat a spinűvek elméletébe. A replikákra a következők miatt van szükség: az (1) modellben fellépő véletlen csatolások miatt a rendszer minden makroszkopikus jellemzője (belső energia, szabadenergia, entrópia, mágnesezettség stb.) függeni fog ezektől a véletlen változóktól, így maga is véletlen változó lesz. Azt várjuk azonban (és ezt szigorú matematikai megfontolások is bizonyítják), hogy a nagy részecskeszámok limeszében ezek a makroszkopikus mennyiségek függetlenné válnak a véletlen csatolások konkrét realizációjától, „önátlagolnak”. Ezért ahelyett, hogy a különböző termodinamikai mennyiségeket megpróbálnánk a véletlen csatolások függvényében kiértékelni (ami lehetetlen feladat volna) elegendő a termikus átlagolás után kapott mennyiségeket a véletlen csatolások szerint kiátlagolni. A Z állapotösszeg logaritmusát (ami egyszerűen függ össze a szabadenergiával) kiátlagolva abból az egész termodinamika meghatározható. Egy véletlen változó logaritmusát azonban nehéz átlagolni, ezért a $\ln Z$ helyett elképzeljük a rendszer n független másolatát (replikáját), ennek az állapotösszege Z^n lesz, aminek átlagolása könnyebben végrehajtható. Ebből a logaritmus átlaga az

$$\ln Z = \lim_{n \rightarrow 0} \frac{1}{n} (\ln Z^n)$$

azonosság segítségével kapható meg. Ezen eljárás sarkalatos pontja az, hogy a replikák számát jelölő n , amely eredeti értelmezése szerint természetes egész, valamiképpen kiterjesztendő a valós számokra, hogy a képletben szereplő limesz elvégezhető legyen. Diszkrét pontokon definiált függvény ilyen kiterjesztése (analitikus folytatása) azonban nem egyértelmű feladat, és további feltételek nélkül nem mindig vezet helyes eredményre.

Sherrington és Kirkpatrick figyelmen kívül hagyták ezt a nehézséget és végrehajtották a számolást, amelynek során egy ponton a szabadenergia egy $n \times n$ méretű rendparaméter-mátrix $q_{\alpha\beta}$ függvényében állt elő.

Sherrington és Kirkpatrick ezen mátrix legtermészetesebb parametrizációját választották, amennyiben feltették, hogy a mátrix minden nem-diagonális eleme ugyanaz a szám, miközben a diagonálisban csupa nullák állnak. Ezt a választást az a megfontolás motíválta, hogy a replikák segédmenyiségekként kerültek be az egész elméletbe, így semmiféle ok nincs arra, hogy megkülönböztetést tegyünk közöttük. Ezzel a parametrizációval Sherrington és Kirkpatrick olyan formulákhoz jutottak, amelyekben a replika-számban való analitikus folytatás egyszerűen az n változó valós számmá történő átinterpretálásává vált, és az $n \rightarrow 0$ limesz elvégezhető volt.

Ezzel a replikaszimmetria feltevése elvezetett volna a spinűvek átlagtér elméletének megoldásához. Az eljárás hibája azonnal kiütközött, amikor kiderült, hogy a rendszer entrópiája alacsony hőmérsékleten negatívvá válik. Pár évvel később *de Almeida* és *Thouless* megmutatták, hogy a replikaszimmetrikus megoldás sérti a termodinamikai stabilitás elvét, ezért elvetendő. Ezzel megindult a replikaszimmetriát sértő megoldások keresése, ami több csoport sikertelen próbálkozása után Parisit 1979-ben elvezette a helyes megoldásig.

Parisi megoldása példátlanul bonyolult volt, és formális, voltaképp nemlétező matematikai fogalmakkal (például 0×0 méretű mátrixokkal) operált. A replikák közötti szimmetria egészen elképesztő, végtelen sokszori sértését feltételezte, ezzel együtt végtelen sok rendparamétert vezetett be. Parisi elméletét megjelenésekor még a matematikai szigorra kevésbé érzékeny fizikusi körökben is kétely és idegenkedés fogadta. Az eljárás, amely azóta számos tudományágban megjelent, replikaszimmetria-sértés (replica symmetry breaking, RSB) néven terjedt el a rendezetlen rendszerek elméletében.

A fantasztikusan bonyolult, végtelen sok rendparamétert felvonultató megoldás fizikai jelentésének feltárása több évet váratott magára, míg végül 1983-ban maga Parisi állt elő az elmélet értelmezésével. Kiderült, hogy a spinűvegátmenet során a fázistér végtelen sok, egymástól makroszkopikus falakkal elválasztott részre (ergodikus komponensre, „völgyre”) bomlik, az elméletben fellépő végtelen sok rendparaméter ezek között a völgyek közti átfedéseket írja le. Az átfedések vizsgálata feltárta a völgyek ultrametrikus geometriáját, a megoldások olyasfajta szerveződését, mint amilyen egy nagy család utolsó generációjának tagjai között van, ahol az egyedek közti genetikai távolságot a legközelebbi közös ős definiálja. E képnek például az evolúció által létrehozott fajták közti viszonyokhoz való hasonlósága nyilvánvaló, ami lehetővé tette a spinűvek elméletének megjelenését egy sor biológiai problémában.

A statisztikus fizika már a születésénél is küzdött az ergodicitás problémájával, vagyis az időbeli átlag és a sokaságra vett átlag közti viszony kérdésével. A fázisátalakulások során a rendszer szimmetriája sérül, bekövetkezik a fázistér felhasadása ergodikus komponensekre. A múlt század hatvanas éveiben a szokásos fázis-

átmenetek körében sikerült ezt a kérdést rendezni, de voltaképpen bámulusos, hogy a statisztikus fizika megtanulta kezelni az ergodicitás sérülését. A rendezetlen rendszerek elméletében, speciálisan a spinűvekben kialakuló ergodicitássértés minden korábbinál súlyosabb kihívást jelentett a statisztikus fizika számára, amellyel Parisi heurisztikus megoldását szigorú matematikai alapokra helyezve *Michel Talagrand* birkózott meg, aki ehhez kidolgozta a sztochasztikus folyamatok elméletének egy egészen új fejezetét, amihez a motivációt Parisi megoldása adta.

Eddig a pontig ezen furcsa ötvözetek, a spinűvek vizsgálata ugyan hatalmas elméleti fejlődést indukált, de gyakorlati alkalmazásokat nem mutatott fel. Ez a helyzet változott meg 1982–83-ban a bonyolult kombinatorikai optimalizációs problémák, illetve az asszociatívmemória-modellek és a spinűvek közti kapcsolat felismerésével. Ez óriási lökést adott a mesterséges neuronhálók elméletének, hatékony optimalizációs algoritmusok bevezetését inspirálta, és széleskörű kapcsolatokat teremtett a statisztikus fizika és a számítógép-tudomány között. A statisztikus inferencia, adatbányászat, gépi tanulás és mesterséges intelligencia kutatásának területén mindenütt felbukkannak a spinűvek elméletében kidolgozott fogalmak és módszerek. A spinűvek elméletéből indultak ki az ökonofizika és szociofizika néven ismertté vált új tudományágak is, amelyek a társadalom és a gazdaság különböző folyamatait elemzik statisztikus fizikai módszerekkel. Egy semmiféle gyakorlati hasznót nem hajtó anyagszál vizsgálata tehát végeredményben sokezer milliárdos alkalmazásokhoz vezetett. E történetnek megszívlelendő tanulságai vannak a tudományfinanszírozás számára.

Hogy valamennyire érzékeltetni tudjuk a spinűvegondolatok fizikán kívüli alkalmazását, Mézard, Parisi és Virasoro előbb említett könyvét követve adjunk az (1) képletben fellépő mennyiségeknek egészen más jelentést. Gondoljunk el egy vállalatot, amelynek N alkalmazottja van, akiket két részleg között kell a vállalatvezetésnek elosztania. Az i munkatársnak adjunk egy s_i címkét, amely ± 1 értéket vesz fel annak megfelelően, hogy i -t az egyik vagy másik részlegbe osztják be. Az alkalmazottak között azonban intenzív érzelmi kapcsolatok vannak, melyeket a $J_{i,k}$ csatolások írnak le; $J_{i,k} = +1$, ha i és k barátok, és -1 , ha ellenségek. A vezetés érthető módon arra törekszik, hogy lehetőleg egymással baráti viszonyban álló munkatársak kerüljenek ugyanabba a részlegbe, és az ellenségek lehetőség szerint különböző részlegbe kerüljenek. A dolgot az teszi nehezzé, hogy előfordulhat, hogy három munkatárs kölcsönösen ellenséges viszonyban van, vagy az, hogy egy adott munkatársnak van két olyan barátja, akik egymás ellenségei. Az ilyen frusztrált helyzeteket nem lehet mindenkit kielégítő módon kezelni. A vezetés legfeljebb arra törekedhet, hogy a dolgozókat az itt társadalmi feszültségként interpretált H energiafüggvény minimumának megfelelő módon ossza el. Ha most feltételezzük, hogy a munkatársak között ugyanakkora valószínűséggel van baráti, mint

ellenséges viszony, kiderül, hogy H minimumának megkeresése rendkívül nehéz feladat, amelynek megoldásához szükséges erőforrásigény (például számítógép-idő) a dolgozók számával exponenciálisan emelkedik. Ráadásul a feladatnak megint csak exponenciálisan sok közel egyenértékű megoldása van, amelyek közül bármelyiket is választjuk, a dolgozók jelentős része boldogtalan lesz. Ha tiltakozásuk hatására a vezetés egy másik optimumot keres, az ugyanannyi munkatárs érdekeit fogja sérteni, legfeljebb másokét, mint az előbbi megoldásban.

Ha a különböző megoldások közti távolságot azzal jellemezzük, hogy hány munkatárs besorolását kell megváltoztatnunk, hogy az egyik optimumból a másikba jussunk, kiderül, hogy a megoldások egy családfa geometriáját mutatják: lesznek közeli optimumok, kissé távolabbiak, még távolabbiak stb., de soha nem fordul elő, hogy három különböző optimum között három különböző távolságot találjunk, mint ahogy az sem fordul elő, hogy ha valakinek van egy testvére és egy unokatestvére, akkor e testvérek az unokatestvér másod-unokatestvére legyen. Az ilyen metrikával bíró tereket ultrametrikus térnek hívjuk, és a fentiek szerint a H függvény optimumai ultrametrikus geometriát mutatnak.

Vegyük észre, hogy bár a különböző élőlények közötti genetikai távolságoknak ugyanilyen ultrametrikus a szerkezete, ott a „családfákat” a természetes szelekció dinamikája hozza létre. Elgondolkodtató, hogy egy teljesen véletlen szerkezetű problémában ez a szerveződés mindenféle tervezés vagy kiválasztás nélkül megjelenik: az optimális megoldások ezen szerkezete a nagy számok határesetében spontán épül fel. Parisi ezen felismerését, és a modell egzakt megoldásának a megtalálását a Svéd Tudományos Akadémia Nobel-bizottsága a díj odaítélésének egyik döntő indokaként jelezte meg.

Amikor olyan valóságos komplex rendszereket tekintünk, mint amilyen egy élő sejt, az egy vagy a társadalom, mindig azt látjuk, hogy e rendszerekben nagyszámú elem, fehérje, idegsejt, vagy a társadalmat alkotó szereplők között állandó versengés és együttműködés van. Az ilyen rendszerek soha nincsenek egyensúlyban, ehelyett egy többé-kevésbé jól meghatározott munkapont körül ingadoznak, fluktuálnak. Ez az állapotuk hajlékony, a lehetséges optimális állapotok közötti átmenetek révén képesek a környezet változásaihoz alkalmazkodni anélkül, hogy elvesztenék önazonosságukat. Előfordulhat azonban, hogy az együttműködés és versengés, serkentés és gátlás, a fékek és ellensúlyok finom rendszere megsérül, az (1) képletben a csatolások eloszlása túlnyomó többségében pozitívvá válik, ami a sejt esetében rákhoz, az idegrendszerében ördülethez, a társadalom esetében diktatúrához vezet. Ezen a ponton a rendszer komplexitása lehanyatlik, a rendszer működése súlyosan sérül, vagy egyenesen megszűnik. A komplexitás elvesztése veszélyes. A társadalmi és politikai folyamatok elemzésében a spinűveg analógia megerősíti *Jacob Burckhardt* figyelmeztetését: *a komplexitás tagadása a zsarnokság lényege*.

A 2021. ÉVI FIZIKAI NOBEL-DÍJ ÉGHAJLATKUTATÓ NYERTESEI

Weidinger Tamás, Pongrácz Rita, Tasnádi Péter
ELTE Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék

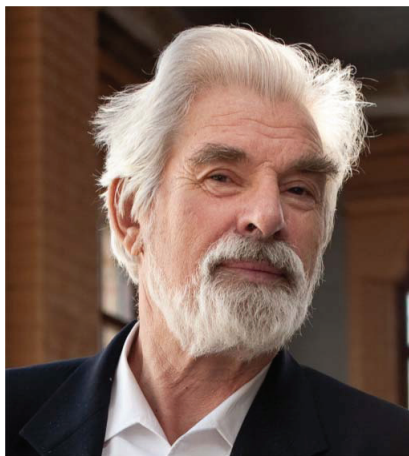
A meteorológia a légkör tudománya, *Arisztotelész* szerint a „föld és az ég közötti jelenségeket” vizsgálja [1]. Ugyanakkor a meteorológia „ezer szállal” kapcsolódik a fizikához. Ezt bizonyítja a 2021-es fizikai Nobel-díj is, amit hárman kaptak a komplex rendszerek leírásában elért eredményeikért. Közülük ketten a japán-amerikai *Syukuro Manabe* és a német *Klaus Hasselmann* a Föld légkörének modellezéséért és az ember okozta éghajlatváltozás egyértelmű detektálásáért. A határterületre eső Nobel-díj odaítélését minden bizonnyal az éghajlatváltozás egyre égetőbbé váló problémája is indikálta. Jelzik ezt *Arthur Ashkin* 2018-as Nobel-díjas szavai is, aki azt mondta: nem kíván sok időt tölteni a díj ünneplésével, mert a napenergiával kapcsolatos fontos problémán dolgozik, és a világnak jelenleg nagy szüksége van az éghajlatváltozással kapcsolatos tudományos munkára. („The world badly needs science around climate change right now.”)

Syukuro Manabe 1931-ben született Japánban. Meteorológusként végzett a Tokiói Egyetemen 1955-ben, majd itt szerzett PhD-fokozatot 1958-ban. Ebben az évben érkezett az USA-ba. Dolgozott az USA Meteorológiai Szolgálatánál (U.S. Weather Bureau), majd 1963 és 1997 között a Nemzeti Óceán- és Légkörkutatósi Hivatal Geofizikai Folyadékdinamikai Laboratóriumában

(National Oceanic and Atmospheric Administration [NOAA] Geophysical Fluid Dynamics Laboratory). 1997 és 2001 között a japán Föld-szimulátor programot irányította, ami egy nagyfelbontású éghajlatrendszer-modell fejlesztését jelenti. 1968 óta a Princeton Egyetem meteorológia professzora.

Klaus Hasselmann Németországban született, szintén 1931-ben. A Hamburgi Egyetem professzor emeritusa. Családjával 1934-ben emigrált Németországból, majd a háború után 1948-ban költöztek vissza Hamburgba. Itt végezte az egyetemet, ahol matematikát és fizikát tanult. 1955-ben szerzett PhD-fokozatot Göttingenben fizikából. Érdeklődése egyre inkább az óceánográfia, illetve a meteorológia-klimatológia felé fordult. 1966-ban lett a Hamburgi Egyetem professzora. 1975 és 1999 között a Max Planck Meteorológiai Intézet igazgatója volt. Maradandót alkotott az éghajlati adatsorok elemzésében, a különböző hatótényezők, így a természetes és antropogén hatások elkülönítésében, erősségük, amplitúdójuk meghatározásában. Új szemléletet hozott mind a hosszú éghajlati idősorok, mind a különböző feltételekkel futtatott globális éghajlati modellekből származó adatsorok elemzésében. Statisztikailag megalapozott módon szűrte ki az antropogén hatásokat.

Mindkét Nobel-díjas 90 éves, náluk idősebb korban csak *John B. Goodenough* kémikus (2019, 97 évesen)



Weidinger Tamás meteorológus az ELTE Meteorológiai Tanszékének habilitált docense. Oktatási területe: általános meteorológia, mikrometeorológia és dinamikus meteorológia. A *Theoretical and Applied Climatology* folyóirat szerkesztője. Kutatási témája a határreteg-meteorológia. A felszíni energiamérleg-komponensek meghatározásával, a nyomanyagok (ózon, ammónia) turbulens kicserélődési folyamataival foglalkozik.



Pongrácz Rita meteorológus, hidrológus az ELTE Meteorológiai Tanszékének adjunktusa. Oktatási területe: éghajlat, klíma-modellezés, városklimatológia, hidrometeorológia és műhold-meteorológia. Kutatási témája a regionális klímaváltozás, az éghajlati szélsőségek és oszcillációs jelenségek távkapcsolatainak elemzése. A globális éghajlati modellszimulációk regionális leskálázásával, a városi klímamódosító hatásokkal és az összetett extrém időjárási és éghajlati jelenségekkel foglalkozik.

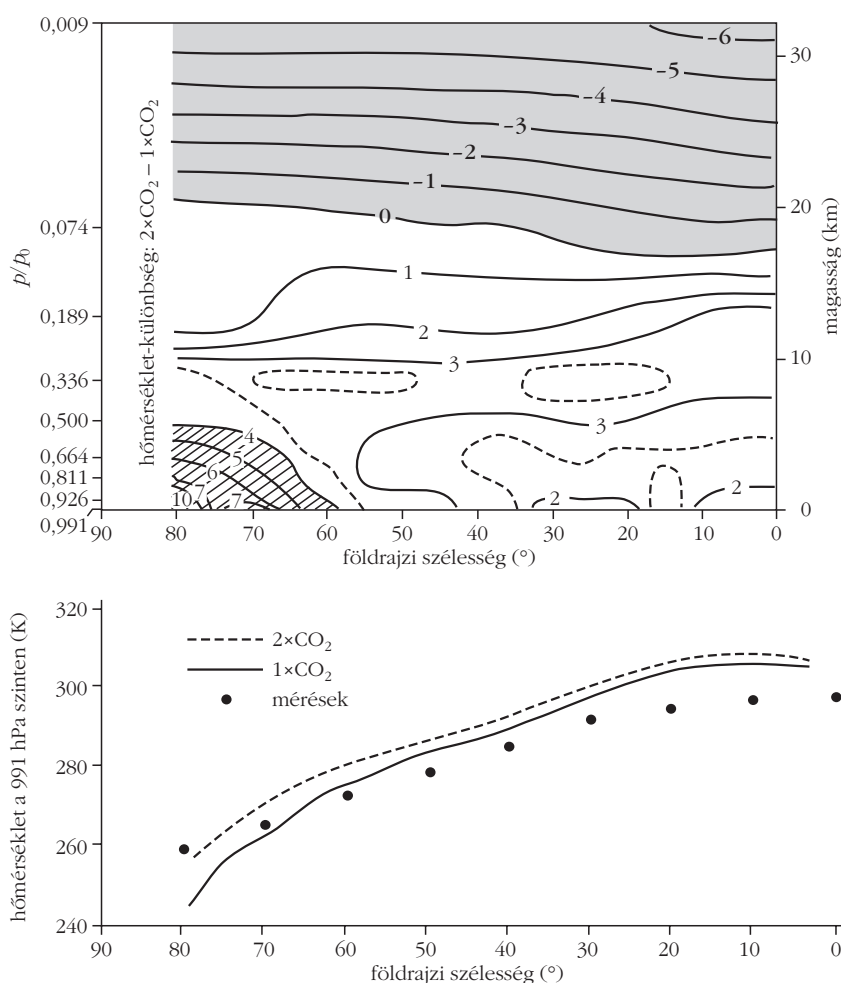
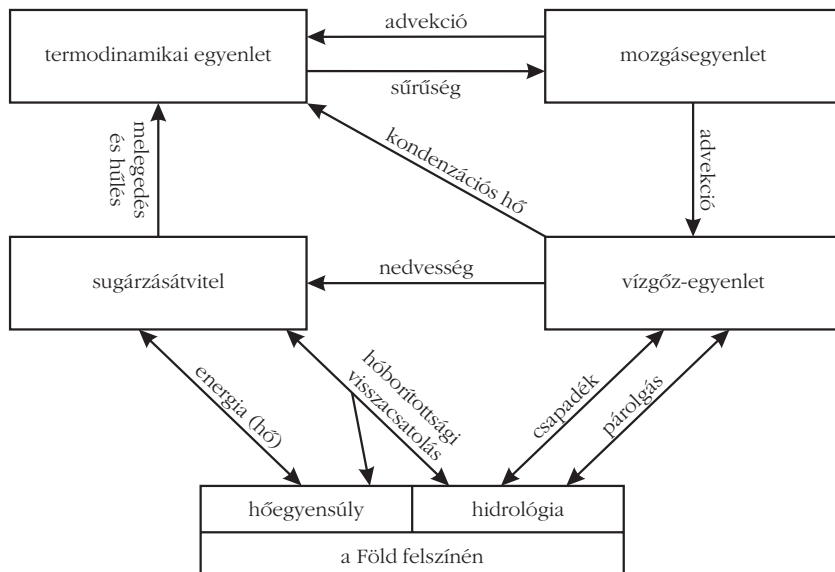


Tasnádi Péter matematika-fizika tanár, meteorológus, az ELTE TTK nyugalmazott egyetemi tanára. Tíz évig volt a TTK Oktatási dékánhelyettese. Egyetemi, középiskolai és általános iskolai tankönyvek szerzője. Kutatási területe a dinamikus meteorológia és a fizikatanítás szakmódszertana, korábban a fémfizika volt.

és Arthur Ashkin fizikus (2018, 96 évesen) kapta meg a díjat. A Nobel-díj tehát a kiemelt konkrét eredmények mellett gazdag életművüknek is szól.

A háromdimenziós általános cirkulációs modellek születése

Az időjárás és az éghajlat numerikus (számszerű) előrejelzése sok tekintetben hasonlít egymáshoz. Az első számítógépes időjárás-előrejelzési modellt 1949-ben futtatták az Amerikai Egyesült Államokban. A *Tellus* című folyóiratban megjelent klasszikus cikk [2] szerzői között ott volt *Neumann János* is. Az ő kezdeményezésére indult 1955-ben Washingtonban az USA Meteorológiai Szolgálatának keretei között az első globális, háromdimenziós általános cirkulációs modell fejlesztése a teljes légköri hidro-termodinamikai egyenletrendszer megoldásával [3]. A kutatási program vezetője, *Joseph Smagorinsky* meghívására került a csoportba a tehetséges, sok ötlettel és nagy munkabírással rendelkező fiatal Syukuro („Suki”) Manabe. Ők építették be a 3-dimenziós légköri modellbe a sugárzásátviteli folyamatokat, figyelembe véve – már a kezdeteknél – a vízgőz mellett az ózon és a szén-dioxid elnyelési sávjait. Egydimenziós sugárzási modellek korábban is voltak. Mára e terület is külön tudományággá vált, részletesen elemezve a légköri összetevők emissziós és abszorpciós sávjait [4]. Manabe nevéhez fűződik a konvekció (telítetlen nedves levegő emelkedése, majd fázisátalakulás során a felhő- és csapadékképződés) egyszerű parametrizációs eljárásának beépítése a modellbe. (A parametrizáció a közvetlenül nem modellezett jelenségek leírása egyszerűsített, elsősorban statisztikai közelítések alkalmazásával, ismert, előrejelzett meteorológiai állapotváltozók segítségével.) A hatvanas évek közepétől, már az ő vezetésével folyó általános cirkulációs modellfejlesztés során egyre több hatásmechanizmust építettek be [5], például a felszíni folyamatok modellezését a turbulens kicserélődési folyamatok, majd a csatolt óceáni-légköri cirkulációs modellek fejlesztése révén. Mindez hozzájárult a hidrológiai ciklus egyre pontosabb leírásához.



1. ábra. Manabe és Wetherald [6] általános cirkulációs modelljében szereplő egyenletek, parametrizációs eljárások és a közöttük levő kapcsolatrendszer (fölül). A kétszeres ($2\times\text{CO}_2$) és az ipari forradalom előtti szén-dioxid szint (standard, $1\times\text{CO}_2$) mellett számított stacionárius modelleredmények szélességi körök szerint átlagolt különbsége (középen). Az $1\times\text{CO}_2$ és a $2\times\text{CO}_2$ feltételekkel kapott, szélességi körök szerint átlagolt felszínközeli (991 hPa, első modellszint) hőmérséklete a mérési eredményekkel összehasonlítva (alul).

Manabe és Wetherald 1975-ben publikált cikkében [6] az ipari forradalom előtti szén-dioxid-koncentráció (280 ppm, 1 millió molekulából 280 a CO₂-molekula) megduplázódására (560 ppm-es koncentráció) 2,9 °C-os globális hőmérsékletváltozást adott az első, felszín közelében levő modellszintre. A növekvő hőmérséklet nagyobb légköri vízgőz-koncentrációt és kismértékben növekvő csapadékot adott. A modell egyszerű domborzattal (egy kontinens, egy óceán) dolgozott az Egyenlítő és a 85. szélességi kör között Mercator-féle térképsík felett, 500 km-es horizontális rácsfelbontással és 9 vertikális szinttel. Az alkalmazott összefüggéseket, parametrizációkat és a köztük levő kapcsolatokat az 1. ábra felső panelje szemlélteti.

Stacionárius (egyensúlyi) modellszámítások során a 2×CO₂ (megduplázódott) és az 1×CO₂ (ipari forradalom előtti) koncentrációra vonatkozó modellfuttatások közötti hőmérséklet-különbség hosszúsági körök szerinti eloszlását az 1. ábra középső része mutatja be az alsó 30 km-es rétegben. A troposzférában és az alsó sztratoszférában (azaz az alsó 15–20 km-es rétegben) melegedést, felette a sztratoszférában kismértékű hűlést jelzett a modell. A felszín közelében az egyenlítői és a szubtrópusi térségekben kisebb, míg a magas szélességeken nagyobb, 5–7 °C feletti melegedést is adott a modell.

A felszínközeli első modellszintre vonatkozó megfigyelt hőmérsékleti adatokat, továbbá az 1×CO₂ és a 2×CO₂ feltételekkel kapott stacionárius modelleredmények szélességi körök szerint átlagolt értékeit az 1. ábra alsó grafikonja szemlélteti. Amikor éghajlatváltozásról beszélünk, természetesen mindig a modellklímák közötti eltéréseket (2×CO₂ – 1×CO₂) vesszük számba.

Hasselmann sztochasztikus modellje

A modellek elméleti konstrukciójában, az éghajlat változékonyságának leírásában ért el alapvető eredményeket Klaus Hasselmann. 1976-ban írt cikkében világosan szétválasztotta az időjárás és az éghajlat változékonyságának kérdését, és megalkotta a sztochasztikus éghajlati modellek elméletének alapjait [7]. A légkör-óceán-szárzföld-krioszféra rendszer jellemzésére véges számú, m darab, $\mathbf{z} \equiv (z_1, z_2, \dots, z_m)$ változót vezetett be. Mindegyik változó időfüggő, amelyekre a modellekben

$$\frac{dz_i}{dt} = w_i(z)$$

prognosztikai egyenletek írhatók fel. Itt w_i az egyes változók időbeli deriváltját megszabó, ismertnek tekintett fizikai hatás. Feltételezte továbbá, hogy a rendszer két alrendszerre bontható $\mathbf{z} = \mathbf{z}(\mathbf{x}, \mathbf{y})$, amelyek nagyon eltérő τ_x , τ_y karakterisztikus időekkel jellemezhetők (az egyik a gyors időjárási fluktuációkat, a másik a lassú éghajlati változásokat tartalmazza). Így a prognosztikai egyenletek két csoportra

$$\frac{dx_i}{dt} = u_i(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \quad \text{és} \quad \frac{dy_i}{dt} = v_i(\mathbf{x}, \mathbf{y})$$

esnek szét, amelyek nagyságrendjére:

$$O\left[x_i \left(\frac{dx_i}{dt}\right)^{-1}\right] = \tau_x \quad \text{és} \quad O\left[y_i \left(\frac{dy_i}{dt}\right)^{-1}\right] = \tau_y.$$

A gyors x_i változók az időjárást jellemzik, a lassú y_i -k pedig az éghajlatot ($\tau_x \ll \tau_y$). Az időjárás előrejelzésére szolgáló modellekben utóbbiak állandók, az éghajlati változások leírásában azonban ők a lényeges változók. A karakterisztikus idők az időjárási változók esetén néhány naposak, míg az éghajlati jellemzőkben néhány hónaposak, évesek, vagy még nagyobbak, akár évezredek is lehetnek.

Hasselmann feltételezte, hogy az éghajlat változékonyságát kifejező prognosztikai egyenletek integrálásakor az időjárási változók gyors változásai elhanyagolhatók, így a prognosztikai egyenletekben a változást okozó hatások (a jobb oldaliak) kiátlagolhatók:

$$\frac{dy_i}{dt} = \langle v_i(\mathbf{x}, \mathbf{y}_0) \rangle.$$

Az átlagolást olyan τ_i időre kell elvégezni, amely nagy a gyors folyamatok karakterisztikus idejéhez képest, de kicsi az éghajlati változókhoz viszonyítva, azaz $\tau_x < \tau_i < \tau_y$. Ilyen időkre vonatkozó átlagolásakor, az éghajlati változók állandónak tekinthetők. Feltételezve, hogy a változók eloszlása ergodikus, az időátlag halmazátlaggal helyettesíthető.

Ezekkel az egyszerűsítésekkel a modell determinisztikussá válik. Kis módosításával azonban reálisabb elképzeléshez juthatunk. Legyen az éghajlati változók megváltozása a $t = 0$ időpillanatbeli $\mathbf{y} = \mathbf{y}_0$ állapotról kiindulva $t < \tau_y$ idő elteltével $\delta\mathbf{y} = \mathbf{y} - \mathbf{y}_0$! Bontsuk fel a megváltozást $\delta\mathbf{y} = \langle \delta\mathbf{y} \rangle + \mathbf{y}'$ átlagos és fluktuációs tagra! Az átlagos részre a prognosztikai egyenletről

$$\langle \delta\mathbf{y} \rangle = \langle \mathbf{v}(\mathbf{x}, \mathbf{y}_0) \rangle \cdot t$$

adódik, s így a fluktuációkra felírt egyenlet:

$$\frac{d\mathbf{y}'}{dt} = \mathbf{v}(\mathbf{x}, \mathbf{y}_0) - \langle \mathbf{v} \rangle = \mathbf{v}'.$$

A fluktuációkról Hasselmann feltételezte, hogy azok stacionárius véletlen folyamatok. A modellt negatív visszacsatolással is bővítette, hogy az éghajlati változók stacionáriusak maradjanak. Ezzel már bonyolult, negyedrendű Fokker–Planck-differenciálegyenlethez jutott.

A modell teljes kibontására jelen cikkben nincsen elegendő hely, részletes értékelő tárgyalása megtalálható például Dobrovolski [8] könyvében. Ugyanakkor a modell lényegét megérthetjük kvalitatív módon a Hasselmann által is használt Brown-mozgással vett

analógia alapján. Az éghajlati modell egyenletei analógiába hozhatók a kicsiny részecskékből álló, nyugvó folyadékokban mozgó, nagyobb virágporszemcsék mozgását leíró egyenletekkel. Az éghajlati változók a nagy szemcsék koordinátáinak, az időjárásiek pedig a kicsinyekének feleltethetők meg. A Brown-mozgás leírásakor a kicsiny részecskék pontos mozgását nem is kell ismernünk, ha a nagy szemcsék véletlen vándorlását akarjuk leírni. Ehhez hasonlóan a csatolt éghajlati modellekben a hosszú távú változások leírhatók anélkül, hogy a szinoptikus skálájú változásokat pontosan figyelembe vennénk.

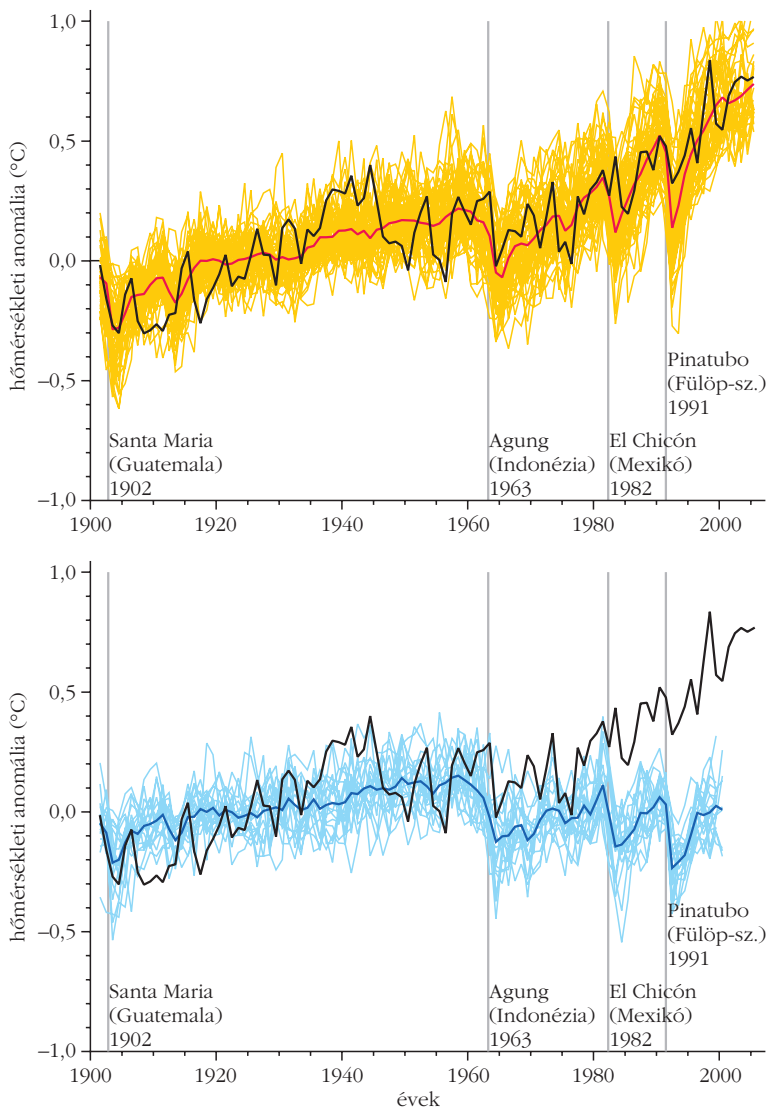
Példa a természetes és antropogén hatások elkülönítésére

Az éghajlati modellezés mellett fontos szerepet kap a mért meteorológiai idősorok elemzése, illetve az egyre bővülő éghajlati modellszámítások mint adott helyre, térségre vonatkozó statisztikai idősorok együttes elemzése. E kutatási iránynak is nagy hagyományai vannak, amelyek keretében a megválaszolandó kérdések a következők: Hogyan adható meg a mért vagy modellezett adatsorban, vagy adatsorok együttesében a különböző hatások, hatótényezők szerepe? Milyen tényezők és hogyan alakítják, magyarázzák az adatsorokat?

A csatolt légkör-óceán általános cirkulációs modellek segítségével a világ számos éghajlat-modellező központjában végeznek kiterjedt modellfuttatásokat a jelenlegi éghajlat rekonstrukciójára

- a mért, növekvő üvegház-gáz és aeroszol (elsősorban szulfát-aeroszol) koncentrációk figyelembevételével (*antropogén + természetes hatások*), illetve
- az antropogén hatások nélküli, *természetes hatások*, így például a vulkánkitörésekből származó kibocsátások (elsősorban aeroszol-részecskék) figyelembevételével.

Mindkét esetben több éghajlat-modellező központ futtatásait használták, ezekből készítettek sokasági átlagokat. Az antropogén hatásokat is tükröző modellszámítások szignifikáns egyezést mutattak a globális rácsponti adatbázisokból számított földi átlaghőmérséklet-menettel (2. ábra). Jól látható az antropogén hatások keltette hőmérséklet-változás dinamikája is (az ábra felső és alsó grafikonjának összevetése). A csatolt légkör-óceán általános cirkulációs modellek leírják a vulkánkitörések hatását, az átmeneti globális hőmérséklet-csökkenést. Mindemellett mód van az antropogén hatások keltette változások számszerűsítésére is.



2. ábra. A megfigyelt (HadCRUT3; [13]) (fekete vonal) és a különböző csatolt légkör-óceán általános cirkulációs modellek alapján számított globális átlaghőmérsékleti anomáliák (sárga vonalak) menete az *antropogén + természetes* hatások figyelembevételével és ezek sokasági átlaga (piros vonal) a referencia-időszakhoz (1901–1950) viszonyítva (föül). A megfigyelt (fekete vonal) és a különböző csatolt légkör-óceán általános cirkulációs modellek alapján számított globális átlaghőmérsékleti anomáliák (világoskék vonalak) menete a *természetes hatások* figyelembevételével, és ezek sokasági átlaga (sötétkék vonal) a referencia-időszakhoz (1901–1950) viszonyítva (alul). A grafikonokon feltüntetjük a legfontosabb vulkánkitöréseket. Jól látható a vulkánkitörések utáni globális átmeneti hőmérsékletcsökkenés mindhárom idősorban [14, 15].

Hasselmann és munkatársai többváltozós lineáris regresszió alapuló statisztikai módszert fejlesztettek ki az éghajlatváltozást okozó hatások elkülönítésére, figyelembevéve az éghajlati rendszer természetes változékonyságát [9, 10]. Kimutatták a szén-dioxid (pontosabban az üvegházhatású gázok növekvő koncentrációjának szén-dioxid egyenértékben kifejezett értékének) meghatározó szerepét a légköri hőmérséklet növekedésében. Elkülöníthetővé vált a légköri szén-dioxid növekedéséből és az éghajlatváltozás természetes összetevőjéből adódó hatás a megfigyelt éghajlati adatsorokban, ami a klímaváltozásra adott társadalmi változás szempontjából elsődleges fontosságú [11, 12].

Az IPCC (2014) jelentésben használt forgatókönyvek legfontosabb jellemzői

üvegházhatású gázok egyesített koncentrációja (ppm CO ₂ -egyenérték) 2100-ban		RCP (reprezentatív koncentrációpálya) forgatókönyv	üvegházhatású gázok antropogén kibocsátásának változása 2010-hez képest (százalék)		2100-ig a jelzett globális melegedési szint alatt maradási valószínűség (1850–1900 időszakhoz képest)			
			2050-re	2100-ra	1,5 °C	2 °C	3 °C	4 °C
450 (430–480)		RCP2.6	–72 – –41	–118 – –78				
500 (480 – 530)	530 fölé nem emelkedik		–57 – –42	–107 – –73				
	530 fölé emelkedhet		–55 – –25	–114 – –90				
550 (530 – 580)	580 fölé nem emelkedik		–47 – –19	–81 – –59				
	580 fölé emelkedhet		–16 – +7	–183 – –86				
580 – 650		RCP4.5	–38 – +24	–134 – –50				
650 – 720			–11 – +17	–54 – –21				
720 – 1000		RCP6.0	+18 – +54	–7 – +72				
> 1000		RCP8.5	+52 – +95	+74 – +178				

A színskála magyarázata:

	valószínű		inkább nem valószínű, mint igen
	inkább valószínű, mint nem		valószínűtlen
	körülbelül ugyanannyira valószínű, mint nem		egyáltalán nem valószínű

Az RCP forgatókönyvekben szereplő számok az éghajlati kényszer W/m² egységben kifejezett értékei. Egyszerűen fogalmazva: ennyivel nőne a felszínre jutó sugárzás (rövid- és hosszuhullámú összege) az ipari forradalom előtti szinthez képest. A növekvő felszínre jutó sugárzás módosítja a felszíni energiaháztartást. Változik a szenzibilis (érzékeny) és a latens hőszállítás (azaz a párolgás) értéke, továbbá a növekvő felszínhőmérséklet miatt nagyobb lesz a hosszuhullámú kisugárzás is (a Stefan–Boltzmann-törvény miatt). Az energiatöbblet egy része < 1 W/m² az óceánokban tárolódik. Összességében azonban a Föld-légkör rendszeren áthaladó energiához képest a tárolási tag elhanyagolható. A rendszer „új” egyensúlyra törekszik.

–100%-ot meghaladó kibocsátáscsökkentés esetén további CO₂-nyelő kapacitásokat kellene kialakítani.

Záró gondolatok

Ahogy a különböző építészeti stílusok követték egymást a klasszikustól a díszes barokk és rokokó épületeken át a szecesszióig keresztül a mai irányzatokig, ugyanúgy széles spektruma van a különböző bonyolultságú éghajlati modelleknek is. Mindez a kérdésfeltevéstől, a vizsgált folyamatok jellegétől függ. Így a tudományos megismerésben egyaránt helye van az egyre részletesebb egydimenziós sugárzás-átviteli modelleknek [16], az éghajlati rendszer működését vizsgáló leegyszerűsített légkör-óceán általános cirkulációs modelleknek [17] és a nagyfelbontású – akár 2,5–80 km-es –, az éghajlati rendszer komplex modellezését célként kitűző Föld-szimulációs modelleknek [18].

Gazdag tárháza van a globális cirkulációs modellek regionális éghajlati modellekkel történő leskálázásá-

nak is. Itt a cél egy-egy behatárolt terület, így hazánk, a Kárpát-medence éghajlati folyamatainak, a változások tendenciáinak jobb megértése [15, 19, 20].

Jó hír, hogy a mértékadó éghajlati modellek hasonló változási irányokat, tendenciákat jelölnek ki. Nincs lényegi különbség Manabe és Wetherald 1975. évi modelleredménye [6] (megduplázódott CO₂-koncentráció esetén várt 2,9 °C-os globális melegedés) és a frissebb eredmények között. Ezt szemlélteti az IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change – Éghajlatváltozási Kormányközi Testület) 2014-ben megjelent jelentéséből vett összefoglalás (1. táblázat). Az ipari forradalom előtti CO₂-koncentráció duplázódásához (560 ppm) tartozó mértékadó becslés szerint kis valószínűsége van a 2 °C-os globális hőmérséklet-emelkedésnek, inkább a 3 °C-os változás a valószínű. Tudjuk továbbá az éghajlati rendszer fizikájából, hogy a globális átlagnál kisebb az óceánok és nagyobb a

szárazföldek melegedése, így hazánkban is a globális átlagot meghaladó hőmérsékletemelkedésre kell számítanunk [15].

Hol tartunk most? 2020-ban az évi átlagos CO₂-koncentráció 412,5 ppm volt, a növekedési ütem hozzávetőlegesen 2,6 ppm/év. 430–480 ppm-es globális átlagkoncentráció esetén a Párizsi Megállapodásban ideális célul kitűzött 1,5 °C-os globális melegedés már kevésbé valószínű, mint a szükséges határként megadott 2 °C-os változás. A jelenlegi tendenciák mellett ugyanakkor világszerte óriási erőfeszítésekre van szükség annak érdekében, hogy ezeket a melegedési értékeket, illetve a hozzájuk rendelhető koncentrációk szinteket ne lépjük túl.

Irodalom

- Mészáros E.: Ókori meteorológia: ahogy Arisztotelész gondolta. *Magyar Tudomány* 2006/2 197. <http://epa.oszk.hu/00600/00691/00026/12.html>
- Charney, J. G., Fjörtoft, R., von Neumann, J.: Numerical Integration of the Barotropic Vorticity Equation. *Tellus* 2/4 (1950) 237–254. <https://doi.org/10.1111/j.2153-3490.1950.tb00336.x>
- Weart, S.: The development of general circulation models of climate. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 41 (2010) 208–217. <https://doi.org/10.1016/j.shpsb.2010.06.002>
- Tóbiás, R., Furtenbacher, T., Simkó, I., Császár, A. G., Diouf, M. L., Cozijn, F. M. J., Staa, J. M. A., Salumbides, E. J., Ubachs, W.: Spectroscopic-network-assisted precision spectroscopy and its application to water. *Nature Communications* 11 (2020), article number: 1708. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15430-6>
- Manabe, S.: Climate and the Ocean Circulation: I. The Atmospheric Circulation and the Hydrology of the Earth's Surface. *Monthly Weather Review* 97/11 (1969) 739–774. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1969\)097<0739:CATOC>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1969)097<0739:CATOC>2.3.CO;2)
- Manabe, S., Wetherald, R. T.: The Effects of Doubling the CO₂ Concentration on the Climate of a General Circulation Model. *Journal of the Atmospheric Sciences* 32/1 (1975) 3–15. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1975\)032<0003:TEODTC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1975)032<0003:TEODTC>2.0.CO;2)
- Hasselmann, K.: Stochastic climate models Part I. Theory. *Tellus* 28/6 (1976) 473–485. <https://doi.org/10.1111/j.2153-3490.1976.tb00696.x>
- Dobrovolski, S. G.: *Stochastic Climate Theory*. Heidelberg–Berlin–New York–Barcelona–Hong Kong–London–Milan–Paris–Singapore–Tokyo: Springer (2000) 282 pp. ISBN: 978-3-662-04119-2
- Hasselmann, K.: Multi-pattern fingerprint method for detection and attribution of climate change. *Climate Dynamics* 13 (1997) 601–611. <https://doi.org/10.1007/s003820050185>
- IPCC, 2001: *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [J. T. Houghton,
- Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C. A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 pp.
- Jones, G. S., Stott, P. A., Christidis, N.: Attribution of observed historical near-surface temperature variations to anthropogenic and natural causes using CMIP5 simulations. *Journal of Geophysical Research, Atmospheres* 118 (2013) 4001–4024. doi:10.1002/jgrd.50239, 2013
- IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Core Writing Team, R. K. Pachauri and L. A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 1–31. (Magyar nyelvű kiadás: *Éghajlatváltozás 2014. Szintézis Jelentés Döntéshozói Összefoglaló*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar5-spm-syr_Hungarian.pdf)
- Brohan, P., Kennedy, J. J., Harris, I., Tett, S. F. B., Jones, P. D.: Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: A new data set from 1850. *Journal of Geophysical Research, Atmospheres* 111 (2006) D12106. <https://doi.org/10.1029/2005JD006548>
- IPCC, 2007: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- Bartholy J., Bozó L., Haszpra L. (szerkesztők): *Klimaváltozás – 2011. Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére*. Kiadja MTA MTB és ELTE Meteorológiai Tanszék (2011) 287. <http://nimbus.elte.hu/~klimakonyv/Klimavaltzas-2011.pdf>
- Kluft, L., Dacie, S., Buehler, S. A., Schmidt, H., Stevens, B.: Re-Examining the First Climate Models: Climate Sensitivity of a Modern Radiative-Convective Equilibrium Model. *Journal of Climate* 22/3 (2019) 8111–8125. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0774.1>
- Herein, M., Márffy, J., Drótos, G., Tél, T.: Probabilistic Concepts in Intermediate-Complexity Climate Models: A Snapshot Attractor Picture. *Journal of Climate* 29 (2016) 259–272. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0353.1>
- Hohenegger, C., Kornblüeh, L., Klocke, D., Becker, T., Cioni, G., Engels, J. F., Schulzweida, U., Stevens, B.: Climate statistics in global simulations of the atmosphere, from 80 to 2.5 km grid spacing. *Journal of the Meteorological Society Japan* 98 (2020) 73–91. <https://doi.org/10.2151/jmsj.2020-005>
- Torma, Cs., Giorgi, F.: On the evidence of orographical modulation of regional fine scale precipitation change signals: The Carpathians. *Atmospheric Science Letters* 21/6 (2020) e967. <https://doi.org/10.1002/asl.967>
- Varga, Á. J., Breuer, H.: Sensitivity of simulated temperature, precipitation, and global radiation to different WRF configurations over the Carpathian Basin for regional climate applications. *Climate Dynamics* 55 (2020) 2849–2866. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05416-x>



Az Eötvös Társulat főnt van a facebook-on!



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

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 főtiszt, 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 (duplaszáma 2000.- Ft) + postaköltség.

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

Az éghajlatváltozás egyik – a teljes besugárzással egyenrangúan fontos – tényezője, a planetáris albedó (a Föld fényvisszaverő-képessége) tényleges változásai meglepően kevésbé ismertek. Cikkünkben a földi és műholdas albedómegfigyelések publikált adatai alapján rávilágítunk arra, hogy a planetáris albedóban jellegzetes éjszakai, évszakos, éves és naptevékenységi ciklussal összefüggő változások figyelhetők meg, és több évtizedre visszamenően nem látható benne egyirányú trend. A legegyszerűsebb eredményeket a földi obszervatóriumokban relatív méréssel végezhető földfényvizsgálatok adják.

Földfény szonáta?

Beethoven közismert *Holdfény szonátájának* első tétele olyannyira gyászzenéjellegű, hogy nehéz kapcsolatba hozni a telihold fényével. Az első tétel sokkal inkább emlékeztet arra a hamuszürke derengésre, amit újhholdkor a napsütötte holdsarló mellett szabad szemmel is látható napárnyékos holdfelszín ver viszsa. A Holdfény szonáta (németül: *Mondscheinsonate*) elnevezés Ludwig Rellstab német zenekritikus-költőtől származik, aki Beethoven halála után néhány évvel először hasonlította az első tétel hatását a Luzerni-tó fölötti holdsütéshez [1]. A címadást sokan kritizálták, de ha Rellstab a Hold túlvilágát idéző sejtelmes derengésére gondolt, akkor a címet akár találónak is tarthatjuk. Az ellentmondás teljesen nem oldódik fel, ugyanis e derengés valójában nem holdfény, hanem földfény (németül: *Erdschein*). Lehet, hogy a szonáta német címének nem a *Mondschein*, hanem az *Erdschein* címet kellett volna adni?

E cikk a Föld fényvisszaverő-képességével (a planetáris albedóval) kapcsolatos eredményekbe és rejtelmekbe ad betekintést. Összefoglaljuk ezen albedó lényegét, klímatudományi jelentőségét, mérési módszereit, valamint betekintést adunk a műholdas és földi obszervatóriumi mérésekkel végzett eredményekbe. Úgy tűnik, a földfény-megfigyelési hálózat kiterjesztésével egyszerű albedómeghatározási módszer állhatna már évtizedek óta rendelkezésre.

Az albedó és jelentősége

A Napból érkező *TSI* (Total Solar Irradiance, teljes napsugárzási teljesítménysűrűség) $\approx 1366 \text{ W/m}^2$ egy része visszaverődik a Föld felhőzetéről és felszínéről. A visszavert és beérkező sugárzás arányát fényvisszaverő-képességnek, más néven albedónak nevezzük, amelynek értéke a Föld esetén $A \approx 0,3$. Egyszerűen kiszámítható a Föld üvegházhatás nélküli T_e egyensúlyi hőmérséklete: a Stefan–Boltzmann-állandó beleyettesítésével adódó

$$T_e \approx 45,8 \cdot \sqrt[4]{TSI(1-A)} \text{ K} \approx 255 \text{ K}$$

összefüggésből világosan látszik, hogy egy bolygó egyensúlyi hőmérsékletét a *TSI* besugárzás és az *A* albedó egymással egyenrangúan befolyásolja. Az albedó növekedése első közelítésben a Földön lehűlést okoz, csökkenése pedig melegedést, de a Földnél a valóságos hatás ennél jóval összetettebb az óceán–szárazföld–légkör bonyolult kölcsönhatásai miatt.

A Föld albedóját a felszín 2/3 részét borító óceánok és az 1/3-nyi részt kitevő szárazföldek, valamint a teljes földfelszín mintegy 2/3 részét fedő felhőzet együttesen alakítják ki. A számos különleges tulajdonsággal rendelkező víz (H_2O) fényvisszaverő-képessége rendkívül széles tartományban ingadozik. A folyékony víz albedója az Egyenlítő közelében, a felszínre merőleges beesési szögnél 0,05, de nagyobb beesési szögek esetén (a pólusokhoz közelebb) jóval nagyobb. A jég albedója 0,32–0,38; a régebbi hóé 0,45, a friss hóé 0,85. A vízgőz a fényre átlátszó, de a felhők a fény 0,1–0,85 részét képesek visszaverni, a cseppmérettől, a víz- vagy jégtartalomtól, a felhővastagságtól és a napsugárzás beesési szögétől függően. Összességében elmondható, hogy az óceánfelszín a beeső fény mintegy 0,1 részét veri vissza. A szárazföld ennél többet reflektál (annál többet, minél világosabb), a vastag felhőzet pedig a beeső fény 0,6–0,9 részét. Az erdők albedója viszonylag kicsi (a tűlevelűeké körülbelül 0,1, a lombhullatóké $\sim 0,15$).

A felhőzet a légkör sugárzási tulajdonságaira meghatározó jelentőségű. Tekintettel arra, hogy a Föld felszínének körülbelül 2/3 részét felhőzet fedi, ugyanakkor a Holdon nincsenek felhők, a Föld úgynevezett Bond-féle albedója a Holdénál (0,110) sokkal nagyobb: a legfrissebb elfogadott érték 0,306. A vastag felhőzetbe burkolózó Vénusz Bond-albedója 0,770, míg a Marsé 0,250.

A planetáris albedó mérési módszerei

A planetáris albedó meghatározásának első becslési módszere a felhős és felhőtlen területek időjárásviszonyainak részletes megfigyelésén alapult. Majd – szinte véletlenül – létrejött egy másik földi módszer is, de a



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

műholdak eljövételével az űrbéli albedómérések lettek a meghatározók. A NASA kétféle rendszeres albedómérést végez: az egyik a Terra és Aqua műholdjaira telepített MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) műszerek adatait, a másik a Suomi NPP és JPSS műholdakra telepített CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System) műszerek adatait használja. A műholdas albedómérések korlátja, hogy a téralapú meghatározások minden esetben abszolút méréseket igényelnek. Az ilyen módszerrel nyert mérési eredményeket a mérőműszer metrológiai jellemzőinek lassú időbeli változása (az úgynevezett drift) túlságosan is befolyásolhatja. Ezért elvileg sokkal megbízhatóbbak az egyszerű relatív mérést igénylő földi obszervatóriumi módszerek. A véletlenül felfedezett földfény módszer éppen ilyen.

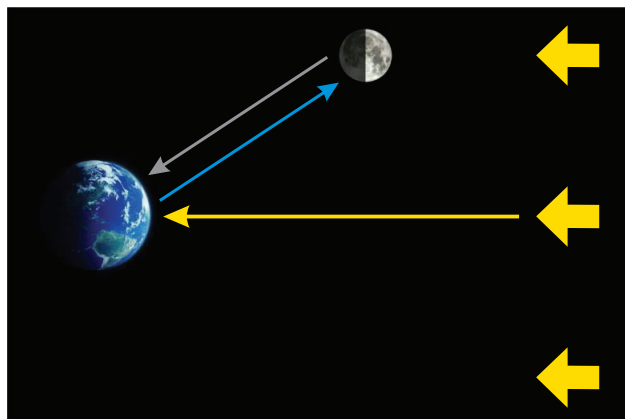
A földfény és mérési módja

Cikkünkben földfény alatt a Hold napárnyékban lévő oldalának hamuszürke derengését értjük, azaz a Föld Nap által megvilágított részéről a napárnyékos holdfelszínre érkező, majd onnan visszaverődő, összesen tehát kétszer (egyszer a Földről, egyszer a Holdról) reflektált napfényt. Angolul: Earthshine. (A légkör-optikában földfény – angolul: Earthlight – alatt a Föld felszíne és légköre által visszavert fény értendő [2]). A földfényjelenség magyarázatát (1. ábra) már *Leonardo da Vinci* is megadta.

A földfény erőssége mintegy tízezred része az igazi holdfényének. 1928-ban a francia *André Danjon* olyan macskaszem-fotométert készített, amelyben közvetlenül összehasonlítható volt a Hold napsütötte és napárnyékos részének fényessége. Felismerve, hogy a földfény/holdfény fényességarány kizárólag a Föld fényvisszaverő-képességétől függ, a magyar származású *Bakos Gusztáv* kapcsolatot igyekezett találni az 1958-as év (a Nemzetközi Geofizikai Év) jelentős időjárási eseményei és a földfényintenzitás között [4], ám az összehasonlítások az időjárási adatok túl hiányosnak bizonyultak. Az addigi tapasztalatok alapján 1995-ben *Steve Koonin* és munkatársai a kaliforniai Big Bear Solar Observatory-ban hozzákezdtek a földfény szisztematikus földi obszervatóriumi megfigyeléséhez.

Albedóváltozások

A Föld-légkör rendszer albedójának idő- és térbeli változása a földi éghajlatváltozásra különösen nagy jelentőséggel bír. Az albedó folyamatos megfigyelése elvileg különfé-



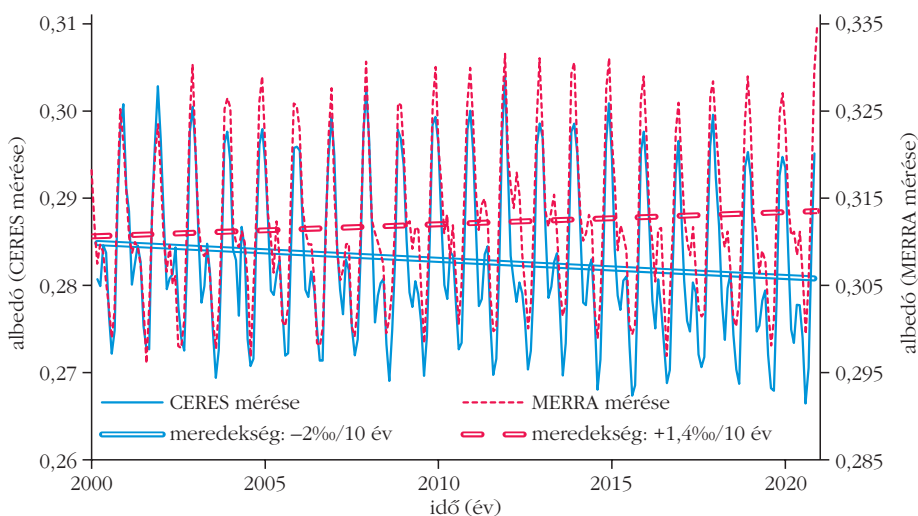
1. ábra. A földfény kialakulásának elve [3]. A Hold „égi tükörként” veri vissza a Földre a Föld által odatükrözött napfényt.

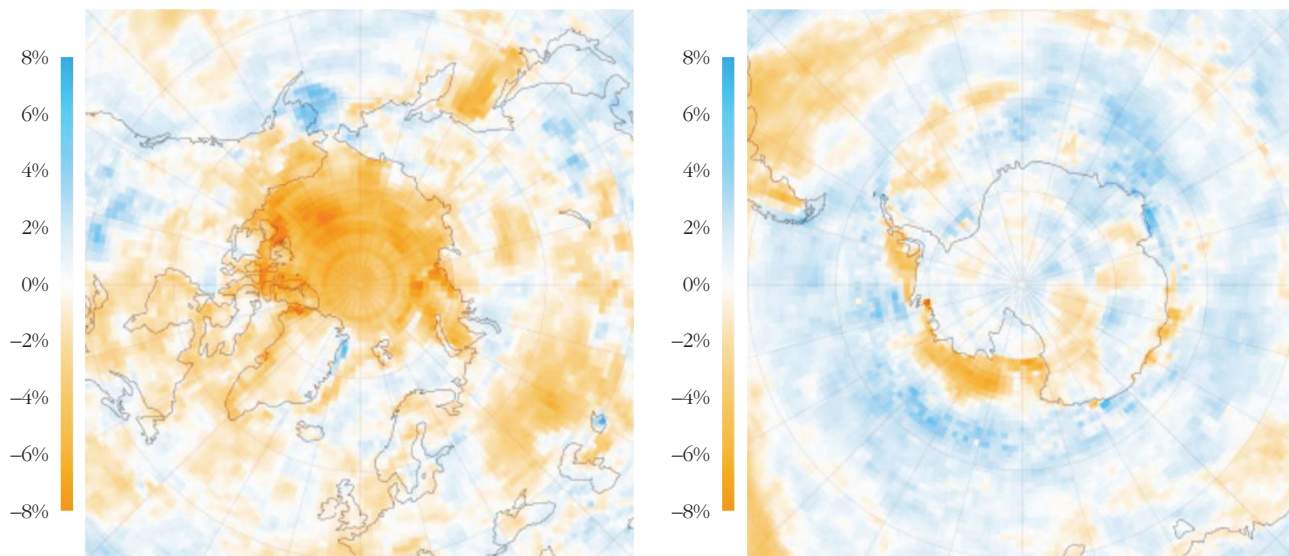
le természeti jelenségek, sőt a levegőszennyezés, vagy az ember felszín alakító tevékenysége nyomon követésére is alkalmas. A hosszú időn át tartó egyirányú változások ugyanis emberi hatást valószínűsítenek. Vajon mit mutatnak a megfigyelési eredmények?

Műholdas mérések

Az albedómegfigyelés elsősorban műholdakra támaszkodik. A légkör tetejére vonatkozó (Top of Atmosphere, TOA) adatbázisok a következők: Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR vagy TAL-AVHRR), Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS vagy TAL-MODIS), és Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES); regionális jellegű Climate Monitoring Satellite Application Facility (CM SAF), valamint egy összeillesztett Diagnosing Earth's Energy Pathways in the Climate system (DEEP-C). Albedóadatok találhatóak a NASA *Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications*-ban (MERRA) is.

2. ábra. A CERES (folytonos görbe) és MERRA (szaggatott görbe) albedóadatok és trendjük (dupla görbék) 2000 és 2020 között [5]. A CERES szerint 10 év alatt mintegy 2‰-al csökken, míg a MERRA adatai szerint 1,4‰-al nő az albedó.





3. ábra. Az albedó változása a sarkvidékeken 2000. március 1. és 2011. december 31. között [6].

A műholdas albedómérésről számos átfogó jellegű tanulmány jelent meg. A planetáris albedó hosszú idejű változásáról azonban meglehetősen kevés konkrét idősort publikáltak, és azok trendje nem teljesen egyértelmű. A 2. ábrán például a CERES és a MERRA idősorok határozottan ellentmondanak egymásnak [5].

A NASA által közvetlenül közzétett, pillanatnyilag legfrissebb idősorok a 2000 és 2011 közötti időszakra vonatkoznak [6]. A sarkvidékek albedóváltozási térképein (3. ábra) látható nagy ($\pm 8\%$ -ig terjedő) időbeli változások eredete részben a felhőzetre, részben a felszínre vezethető vissza. Az Antarktiszról mutatott albedóváltozási térképben például érdekesség, hogy csak Nyugat-Antarktisz albedója csökken, a többi területé inkább nő, összhangban azzal, hogy geofizikai (gravitációs műholdas és geotermikus) megfigyelések szerint kizárólag Nyugat-Antarktiszon fogy a jég mennyisége, másutt inkább növekszik. Az albedóváltozásoknak sajátos kiváltó (geológiai–geofizikai, hidrológiai, meteorológiai, biológiai–növényborítottsági stb.) okai vannak.

A 4. ábra azt mutatja, hogy a planetáris albedó (az albedó globális havi átlagértékei) időbeli változásá-

ban 2000 és 2011 között csak tizedszázalékos nagyságrendű változás ment végbe. Ugyanezen az ábrán az is kivehető, hogy a planetáris albedó 2000–2005 között határozottan csökkent, majd 2010-ig lassan visszaemelkedett.

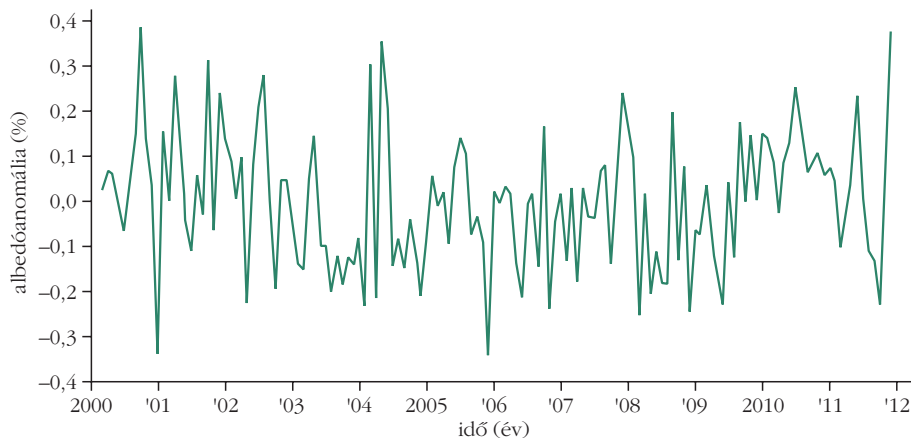
A földfény változásai

Koonin és munkatársai földfénymegfigyelései [7–9] logikus és egyértelmű eredményeket adtak. Megállapították, hogy az albedó egyetlen éjszaka folyamán akár 5%-kal is képes megváltozni. Ennek oka elsősorban a Föld túloldalán végbemenő esetleges időjárás-változás. Azt is kimutatták, hogy az albedóváltozásnak éjjeli időjárás-változás hiányában is van egy karakterisztikus menete, ugyanis ahogy az idő múlik, a Föld forgása miatt a Földnek mindig más és más felszínrészéről vetül a fény a Holdra. Az albedóban természetesen évszakos változások is megfigyelhetők. Télen az északi félgömb albedója nagyobb (mert az a fehérebb, a hótakaró miatt), nyáron (a déli félgömb téli időszakában) pedig a déli félgömbé.

A planetáris albedó éves menetében 5–8%-os tavaszi csúcsokat találtak. Ezeknek nem is annyira a létezését, hanem a mértékét tartották maguk a szerzők is meglepően nagyoknak. (A tavasz és a nyár közötti albedócsökkenés valószínű oka a déli félgömbnél nagyobb szárazföld/óceán arányú északi félgömb növényzetének kiszáradása lehet.)

Néhány éves idősor birtokában ugyanez a kutatócsoport a földfény 1995 óta mért éves átlagértékeinek alakulását egyéb forrásokból ismert

4. ábra. A százalékban mért planetárisalbedó-anomália időbeli változása [6].



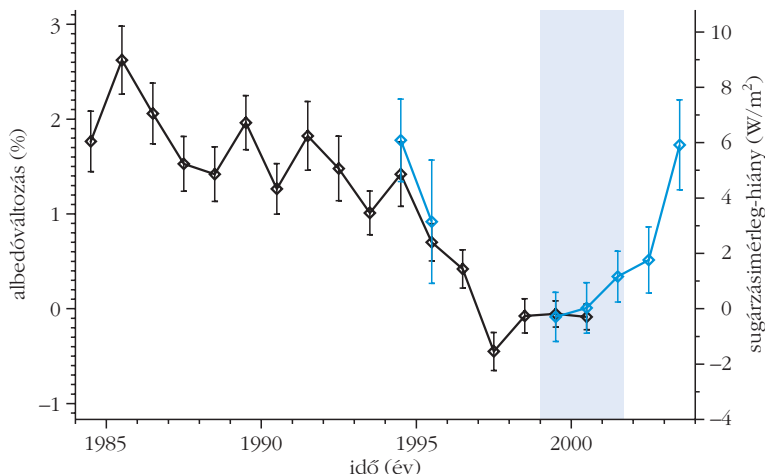
albedóadatokkal összehasonlítva mutatta be (5. ábra) [8].

Az 5. ábra szerint a planetáris albedóban 1985-től 1997-ig tapasztalt csökkenést a 21. század legelső éveiben növekedés váltotta fel. Arról, hogy a Hold árnyékos fele egyre „világosabbá” vált, 2006-ban még az MTI is hírt adott: „A 2000. évtől kezdve az adatok azt mutatták, hogy a Föld albedója nőni kezdett, tehát a Föld egyre kevesebbet tart meg a Nap melegéből. A globális felmelegedés tükrében ez meglepőnek tűnik, s a kutatók most éppen erre hívják fel a figyelmet. Mivel más úton kapott adatok is alátámasztják ezt a megfigyelést, és bizonyos módszerekkel az adatokat már 60 éve gyűjtik, a tudósok most úgy vélik: nem lehetetlen, hogy egy nagyjából tíz éves periódusú rendszeres ingadozásról van szó, melynek oka még nem ismert.” A hosszabb időszakra vonatkozó trendváltozások (így a „nagyjából tíz éves periódusú jelenség”) még tisztábban látszanak abból a tanulmányból, amely az 1999 és 2014 közötti 16 éves időszakra mutatta be az albedó menetét [9]. A 6. ábrát látva a naptevékenységi ciklusokat ismerők számára kézenfekvő és nyilvánvaló, hogy a földfény változása a ~11 éves naptevékenységgel van szoros összefüggésben.

Különbéle összehasonlításokból (7. ábra) úgy gondoljuk, hogy a földfény a Földön kívüli jelenségek közül leginkább a naptevékenységgel és a helioszféra (napmágnestér) változásaitól elválaszthatatlan galaktikus kozmikus sugárzással mutatja a legszorosabb kapcsolatot.

Összefoglalás és következtetések

Az albedó földfényalapú mérése egyszerű relatív mérés: a Hold napárnyékos és napsütötte része fényerősségarányának meghatározásán alapszik. Egyszerűsége mellett megbízható is: a mérési eredmények nem pusztán összhangban vannak az összehasonlíthatatlanul drágább és bonyolultabb feldolgozású műholdas albedóeredményekkel, hanem azokhoz képest egyértelműbb képet adnak. Az éjszakai, évszakos, éves és évtizedes léptékű változásokból a földfény Bakos Gusztáv által megsejtett időjárási és éghajlati összefüggései meglepően jól követhetők. Nem lehet eléggé hangsúlyozni, hogy a planetáris albedóban nincs egyirányú trend (ami, ha lenne, nagy valószínűséggel emberi hatást tükrözne). Az egyes területeken (például Nyugat-Antarktiszon) tapasztalt jelentős dinamikájú albedóváltozások ellenére a planetáris albedó hosszú időtávon alig változik. Több évtizedes léptékben a tapasztalt időbeli változás Földön kívüli jelenségekkel, leginkább a galaktikus kozmikus sugárzással mutat szor-



5. ábra. Rekonstruált (fekete) és a Big Bear Solar Observatory-ban földfényméréssel meghatározott (kék) éves reflexiós anomáliák (1994–1995 és 1999–2003), az 1999–2001 közötti átlagértékhez viszonyítva. A jobb oldali függőleges skála W/m^2 -ben mutatja a sugárzási mérleg hiányát [9].

ros összefüggést. Habár a Big Bear Solar Observatory mellett egyéb mérőhelyek (a Krím-félszigeten, a Kanári-szigeteken és Hawaiiin) is létesültek a földfény megfigyelésére, és a földfény mérését a világűrbe is szeretnék kivinni [11], a földfény földi obszervatóriumi mérése érdemtelenül elhanyagolt [12–16].

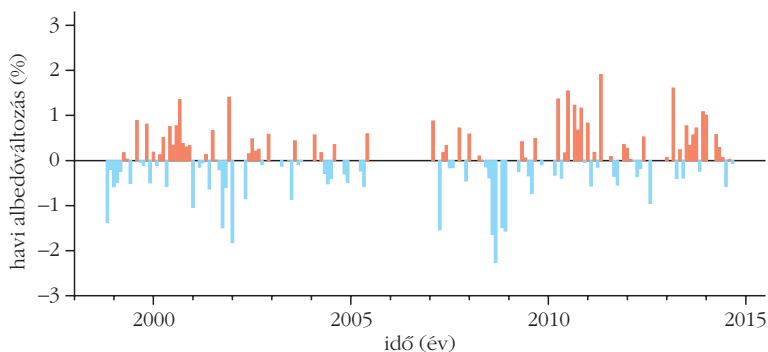
Amint a földfénymérésben kitüntetett szerepet játszó S. E. Koonin amerikai fizikus 2021-ben megjelent tudomány- és klímapolitikai könyvében [17] írja, a kutatóknak nem több, és nem kevesebb a kötelessége, mint hogy beszámoljanak mindarról, amit tudnak, és mindarról, amit nem. És hogy a megfigyelési eredményeknek jóval, összehasonlíthatatlanul nagyobb a jelentősége, mint a különféle modellezéseké. Jelen tanulmány az albedó terén e kérdést kívánta körüljárni.

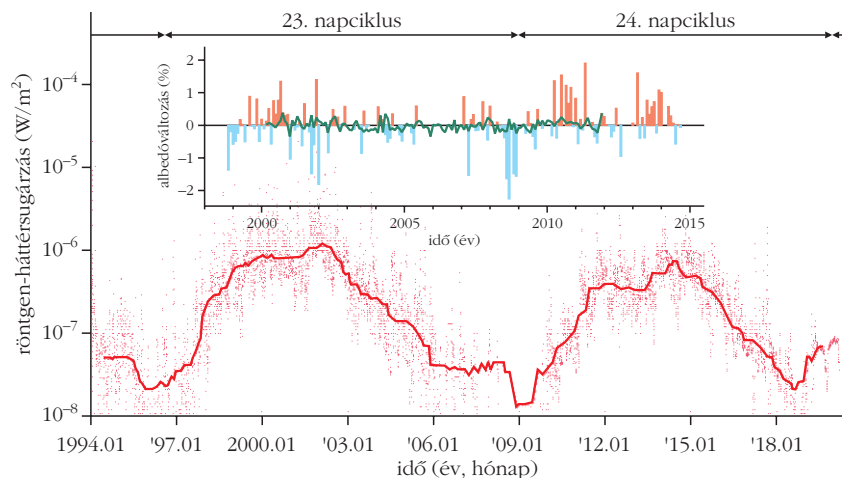
A Holdfény szonáta harmadik tétele – a gyászos első és a gyermekien egyszerű második tételt követően – nehéz, de reménytelen munkára hív.

Irodalom

1. Schwarm B: Moonligh-Sonata. *Encyclopedia Britannica*, 10 Apr. 2016, <https://www.britannica.com/topic/Moonlight-Sonata> (2021. július 21.)
2. Horváth G, Bernáth B, Suhai B, Barta A: First observation of the fourth neutral polarization point in the atmosphere. *J. Opt. Soc. Am. A* 19/10 (2002) 2085–2099.

6. ábra. Az albedó havi átlagainak időbeli változása 1998–2014 között, földfénymérések alapján [9].





7. *ábra*. Felső grafikonpár: a földfény időbeli változása 1998–2014 között (meg egyezik a 6. *ábrával* [9]) és a NASA 2000–2011 közötti időszakra közzétett albedógrafikonja (meg egyezik a 4. *ábrával* [6]). A két időszakos léptéke azonos. Alsó grafikon: a röntgen-háttér-sugárzás az 1–8 Å tartományban [10].

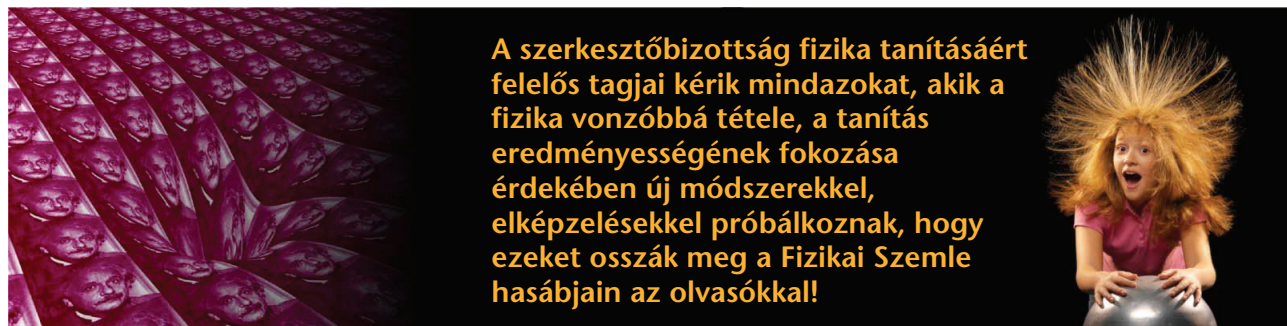
3. Seronik G.: *Earthshine Delight*. (2013). <https://skynews.ca/EARTHSHINE-DELIGHT/>
4. Bakos G: Measures of the Earthshine. *SAO Special Report #162* (1964) <http://cdsads.u-strasbg.fr/pdf/1964SAOSR.162....B>
5. Koutsoyiannis D: Rethinking Climate, Climate Change, and Their Relationship with Water. *Water* 13 (2021) 849. <https://doi.org/10.3390/w13060849>
6. NASA (2021): *Measuring Earth's Albedo by NASA*. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/84499/measuring-earths-albedo?src=ve> (2021. július 12.)
7. Goode P R, Qiu J, Yurchyshyn V, Hickey J, Chu M-C, Kolbe E, Brown C T, Koonin S E: Earthshine observations of the Earth's reflectance. *Geoph. Res. Lett.* 28 (2001) 1671–1674. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2000GL012580>
8. Pallé E, Goode P R, Montañés-Rodríguez P, Koonin S E: Changes in Earth's Reflectance over the Past Two Decades. *Science* 304 (2004) 5675, 1299–1301. http://research.iac.es/galeria/epalle/reprints/Palle_et_al_Science_2004.pdf
9. Pallé E, Goode P R, Montañés-Rodríguez P, Shumko A, Gonzalez-Merino B, Martinez Lombilla C, Jimenez-Ibarra F, Shumko S, Sanroma E, Hulist A, Miles-Paez P, Murgas F, Nowak G, Koonin S E: Earth's albedo variations 1998–2014 as measured from ground-based earthshine observations. *Geoph. Res. Letters* 43 (2016) 4531–4538, <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2016GL068025>
10. SID Monitoring Station: *X-ray Background Flux in the range 1 to 8 Å*. (2021). <https://sidstation.loudet.org/solar-activity-en.xhtml>
11. Löffler T, Petri J, Fléron R, Thejll P, Klinkner S: Feasibility study of high precision measurement of Earth Albedo in space. *EGU General Assembly 2021*, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-5621, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-5621>, 2021.
12. Thejll P, Flynn C, Gleisner H, Mattingly A: Earthshine: not just for romantics. *Astronomy & Geophysics*, 49 (2008), 3, 3.15–3.20, <https://doi.org/10.1111/j.1468-4004.2008.49315.x>

13. Agrawal D C: Apparent magnitude of earthshine: A simple calculation. *Eur. J. Phys.* 37/3 (2016). https://www.researchgate.net/publication/281146827_Apparent_magnitude_of_earthshine_A_simple_calculation
14. Agrawal D C: Earthshine and moonshine are equivalent astronomical phenomena: addendum to 'Apparent magnitude of earthshine: a simple calculation'. *Eur. J. Phys.* 37/4 (2016), <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0143-0807/37/4/049401>
15. Kraus S F: Measuring the Earth's albedo with simple instruments. *Eur. J. Phys.* 42 (2021) 035604. <https://doi.org/10.1088/1361-6404/abe8e4>
16. Thejll P, Gleisner H, Flynn C: Influence of celestial light on lunar surface brightness determinations: Application to earthshine studies. *Astronomy & Astrophysics* 573 (2015) A131.
17. Koonin S E: *Unsettled: What Climate Science Tells Us, What It Doesn't, and Why It Matters*. BeBella Books Inc, Dallas, 2021

Epilógus

A földfény- és CERES adatok idősorát 2017-ig kiegészítő, 2021. szeptember 8-án megjelent cikk [E1] a korábbiaktól eltérő következtetésre jut. A vezető szerző szeptember 30-i nyilatkozata szerint „17 év igen csekély albedóváltozása után nagy meglepetésként ért bennünket a legutóbbi három év adataiból kirajzolódó jelentős albedócsökkenés” [E2]. A MERRA-ról október 1-jén jelent meg friss publikáció [E3]. Eszerint a földfelszín elérő napsugárzás kontinensnyi léptékű, időben változó mintázatok, és némileg eltérő trendeket mutat. Az új tanulmányok meglepő fordulatai a kérdéskör jelentőségét és – a szerző véleménye szerint – a klímatudomány alapkérdésének megoldatlanságát jelzik.

- E1. Goode P R, Pallé E, Shoumko A, Shoumko S, Montañés-Rodríguez P, Koonin S E: Earth's Albedo 1998–2017 as Measured From Earthshine. *Geoph. Res. Lett.* 48/17 (2021) e2021GL094888, <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2021GL094888>
- E2. AGU Press Release, September 30, 2021: *Earth is dimming due to climate change*. <https://news.agu.org/press-release/earth-is-dimming-due-to-climate-change/>
- E3. Wang Z, Zhang M, Wang L, Qin W: A comprehensive research on the global all-sky surface solar radiation and its driving factors during 1980–2019. *Atmospheric Research* (2021), 105870, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809521004269>



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

A $pV^\kappa = \text{ÁLLANDÓ TÖRVÉNY ALKALMAZHATÓSÁGÁRÓL}$ EGY VERSENYFELADAT TÜKRÉBEN

Pálfalvi László, Kovács Vivien
 PTE Fizikai Intézet

Ha ideális gáz adiabatikus állapotváltozásával találjuk szembe magunkat óhatatlanul a jól ismert $pV^\kappa = \text{állandó}$ Poisson-törvény – és két társa – ugrik be, amelyben $\kappa = c_p/c_v$ a fajhőhányados, vagy más néven adiabatikus kitevő. Kérdés, hogy érvényes-e ez a képlet tetszőleges adiabatikus folyamatra? Jelen cikkben az összefüggés érvényességi körét tárjuk fel, amelyhez az inspirációt a 2020/21. évi Fizika OKTV második fordulóján az I. kategóriában feladott 2. feladat [1] adta, amely így szól.

Egy nagyon jó hőszigetelésű hengerben 5 liter normálállapotú levegőt zárunk el egy igen kis sűrűdással mozgatható, 1 dm^2 keresztmetszetű, rendkívül könnyű dugattyúval. A henger belsejében egy, óránként 1500 J hőt termelő elektromos fűtőtest van. A külső légköri nyomás 10^5 Pa .

a) Mekkora sebességgel mozog a dugattyú?

A fűtőtest bekapcsolása után 10 perccel a dugattyú a hengerben mozogva egy kis szennyeződésen hirtelen megszorul. A dugattyú 5 perc várakozás után indul el újra, mozgása a továbbiakban ismét gyakorlatilag sűrűdásmentes lesz. A szennyeződés szorításából kiszabaduló dugattyú esetlegesen bekövetkező rezgései nagyon gyorsan lecsillapodnak, az emiatt fellépő energiavesztésegektől tekintünk el.

b) Mekkora maximális fékezőerőt fejtett ki a dugattyú mozgását időlegesen megakadályozó kis szennyeződés?

Köszönet illeti *Honyek Gyulát*, a vele folytatott eszmecsere ihlette a mélyebb átgondolást. Köszönettel tartozunk *Vígh Máténak* hasznos megjegyzéséért. Köszönet illeti továbbá *Kotek Lászlót*, aki hasonló típusú problémákkal ismertette meg szerzők egyikét annak idején az egyetemi termodinamika-kurzusokon.

A TKP2020-IKA-08 számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a Tématerületi Kiválósági Program 2020 (2020-4.1.1-TKP2020) pályázati program finanszírozásában valósult meg.



Pálfalvi László az MTA doktora, a Pécsi Tudományegyetem Kísérleti Fizika Tanszékének tanszékvezető egyetemi tanára. Legjelentősebb tudományos eredményeit a nagyenergiájú, távoli infravörös (THz-es) impulzusforrások elvi fejlesztése, illetve a THz-es impulzusokkal történő részecskegyorsítási megoldások kidolgozása kapcsán érte el. Rendszeresen ír tudományos ismeretterjesztő, problémamelemző cikkeket is.

c) Ábrázoljuk a dugattyú helyzetét az idő függvényében a teljes folyamat első 25 percére! A dugattyú helyét mérjük a henger zárt végétől.

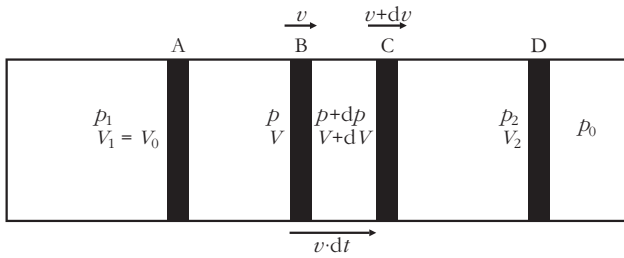
A termodinamikában adiabatikus folyamatról akkor beszélünk, ha a rendszer és környezete közt nincs hőcsere. A tárgyalásmód akkor a legegyszerűbb, ha a vizsgált termodinamikai rendszer állapotváltozása kvázisztatikus módon történik, azaz a rendszer és környezetének nyomása gyakorlatilag megegyezik a folyamat során. Erre tankönyvpélda a lassan és egyenletesen mozgó sűrűdásmentes dugattyú által elzárt ideális gáz. Ha e folyamat minden elemi szakaszára igaz, hogy nincs hőcsere, a termodinamika első főtételéből a $dQ = 0$ feltétel mellett levezethető a Poisson-törvény, amit statisztikus mechanikai megfontolások is alátámasztanak. Célunk a törvénnyel kapcsolatos anomáliákat, téveszméket eloszlatni. Ahhoz azonban, hogy világosan lássuk, mi a törvény alkalmazhatóságának határa alaposabb vizsgálódásra van szükség.

Sűrűdásmentes dugattyúval elzárt ideális gáz esete

Vizsgáljuk most egy adiabatikusan izolált hengerben a környezethez képest túlnyomáson tartott ideális gázt elzáró dugattyú szabad, sűrűdásmentes mozgását miután annak rögzítését megszüntettük. Világos, hogy a mozgás során a dugattyú nincs egyensúlyban, gyorsulása zérustól különböző, a nyomásviszonyoktól, illetve a dugattyú jellemzőitől függően akár igen nagy is lehet. Azt azonban tegyük fel – és e cikk valamenyny gondolat kísérlete során éljünk azzal a feltételezéssel – hogy az elzárt gázban a nyomás és a hőmérséklet a helytől független, azaz adott pillanatban *egy* nyomás-, illetve hőmérsékletadattal jellemezhető a gáz.



Kovács Vivien jelenleg elsőéves fizikus mesterszakos 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.



1. ábra. Hőszigetelt hengerben hőszigetelt dugattyú ideális gázt zár el. A dugattyú „A” helyzete tartozik a kiinduló állapothoz, a „B” egy tetszőleges állapothoz, a „C” egy annál dt idővel későbbi állapothoz, a „D” pedig az első megálláshoz.

Ahogy azt az 1. ábra mutatja, kezdetben a dugattyú az „A” helyzetben van, a bezárt gáz térfogata $V_1 = V_0$, nyomása $p_1 > p_0$, ahol p_0 a konstans külső légnyomás. A dugattyú keresztmetszete legyen A , tömege m . Szüntessük meg a dugattyú rögzítését, hagyjuk szabadon mozogni azt. A dugattyú addig fog gyorsulni, míg a gáz nyomása p_0 -ra nem csökken, ekkor éri el maximális sebességét. Ezen a helyzetben túllendül, majd lassuló mozgást végez megállásig. E szélső helyzetben nyomása p_0 -nál kisebb lesz, így elindul visszafelé. Intuíciónk azt súgja, hogy a visszafelé mozgás pontosan időtükrözöttje lesz az odafelének, azaz egy állandó amplitúdójú periodikus mozgás alakul ki, ami egy rugó végén lévő test mozgására emlékeztet (noha a szélső helyzetek nem lesznek szimmetrikusak az egyensúlyi helyzetre). Más szóval *reverzibilis* folyamat valósul meg.

Tekintsük a folyamat egy tetszőleges állapotát. A dugattyú sebessége legyen v (lásd az 1. ábrán a „B” helyzetet), a bezárt gáz nyomása p , térfogata V . A dugattyú mozgásegyenlete

$$(p - p_0)A = m \frac{dv}{dt}. \quad (1)$$

A dugattyú elmozdulása dt idő alatt

$$dx = v dt, \quad (2)$$

a gáz térfogatváltozása pedig

$$dV = A dx. \quad (3)$$

dt idő alatt a gáz nyomása $p + dp$ -re, a dugattyú sebessége $v + dv$ -re változik (lásd az 1. ábrán a „C” helyzetet), a dugattyú kinetikusenergia-változása pedig $mv dv$. A „B” és a dt idővel későbbi „C” állapotok közt alkalmazva a munkatételt:

$$\begin{aligned} -p_0 A v dt &= \frac{f}{2} (p + dp) (V + dV) - \\ &- \frac{f}{2} p V + m v dv, \end{aligned} \quad (4)$$

azaz a külső erő munkája a „gáz + dugattyú” rendszer kinetikus energiáját változtatja meg, ami a gáz tekintetében – ideális gázzal lévén szó – definit módon a belső energia megváltozása. A (4) egyenletben elha-

nyagolva a $dp dV$ -vel arányos másodrendűen kicsi tagot, valamint felhasználva az (1)–(3) egyenleteket

$$\frac{dp}{dV} = -\frac{f+2}{f} \frac{p}{V} = -\kappa \frac{p}{V} \quad (5)$$

adódik, amelynek megoldása a jól ismert

$$p V^\kappa = \text{állandó} \quad (6)$$

Poisson-törvény.

Függetlenül attól tehát, hogy a gázt elzáró dugattyú lassan, egyenletesen mozog, avagy szabadon gyorsul: az állapotjelzők közti kapcsolat változatlan. A (6) egyenlet érvényességét a *dugattyú gyorsuló mozgása* nem befolyásolja. Az összefüggés akkor veszti érvényét, ha a dugattyú *sebessége* a részecskék *közös sebességének*, vagy, ha úgy tetszik a mechanikai zavarok gázbeli terjedési sebességének nagyságrendjét eléri. Ekkor már nem érvényes az az alapfeltételezés, miszerint a gáz nyomása és hőmérséklete helytől független. Ennek elemzése azonban túlnyúlik jelen cikk hatáskörén.

Sűrűlódó dugattyúval elzárt ideális gáz esete

Számos feladat, mint például a fent említett OKTV példa is olyan valószerű körülményeket feltételez, miszerint a dugattyú mozgása sűrűlódás hatására csillapodik, végül megáll, azaz *irreverzibilis* folyamat játszódik le. Ez kvalitatíven úgy képzelhető el, mint a sűrűlódással csillapított rezgőmozgás. A csillapodás ütemét, illetőleg a megállásig befutott oszcillációk számát befolyásolja a sűrűlódás mértéke. Ha a sűrűlódási erő igen kicsi, akkor a végállapotban a gáz nyomása gyakorlatilag megegyezik a külső nyomással. Azonban nem hanyagolható el a sűrűlódási erő munkája, ugyanis minél kisebb a sűrűlódási erő, annál hosszabb a megállásig befutott út. Kérdés, hogy mire fordítódik ez a munka. Tételezzük fel, hogy a tökéletesen hőszigetelt rendszerben felszabadult sűrűlódási hő kizárólag a gáz belső energiájának növelésére fordítódik. E hipotézis megalapozottságával kapcsolatos kételyeket eloszlatandó képzeljük a hengert függőlegesen, és a külső légnyomás szerepét helyettesítsük egy súlyos dugattyúval felette vákuummal, meggátolva ezáltal a sűrűlódási hő légkörbe disszipálódását. Az alábbi, érdekes eredményre vezető levezetés során viszont kitarunk az eredeti (1. ábrán bemutatott) elrendezés mellett.

Tételezzük fel, hogy a dugattyúra ható sűrűlódási erő nagysága független a dugattyú sebességétől. A dugattyúsűrűlódás hatását egy p_s nyomással vegyük figyelembe. A dugattyú mozgásegyenlete

$$(p - p_0 - p_s)A = m \frac{dv}{dt}. \quad (7)$$

A dugattyú dt idő alatt bekövetkező elmozdulását, illetve a gáz térfogatváltozását továbbra is a (2), illetve a (3) összefüggés adja meg. Az elemi folyamatra alkalmazva a munkatételt:

$$-p_0 A v dt = \frac{f}{2} (p + dp) (V + dV) - \frac{f}{2} p V + m v dv. \quad (8)$$

A súrlódásmentes esethez képest olyan, mintha a dugattyú a p_0 külső légnyomás helyett egy effektív $p_0 + p_s$ nyomás ellenében távolna. Mégis, ha az (1) és (4) egyenleteket összevetjük a (7) – (8) párossal, az látszik, hogy nem egyszerűen egy $p_0 \rightarrow p_0 + p_s$ megfeleltetésről van szó, annál körültekintőbben kell eljárni. A feltétel, miszerint a súrlódási munka (kizárólag) az elzárt gáz belső energiáját növeli úgy teljesül, ha p_s egyáltalán nem jelenik meg a (8) munkatételben. Felhasználva a (7), (2), (3), illetve a (8) egyenleteket a

$$\frac{dp}{dV} = -\kappa \frac{p - \frac{2}{f+2} p_s}{V} \quad (9)$$

differenciálegyenlethez jutunk. Bevezetve a

$$p^* = p - \frac{2}{f+2} p_s$$

változót az (5) egyenlethez hasonló

$$\frac{dp^*}{dV} = -\kappa \frac{p^*}{V} \quad (10)$$

egyenlet adódik, azaz p^* és V elégíti ki a Poisson-törvényt, nem pedig p és V , ezért (6) helyett a

$$\left(p - \frac{2}{f+2} p_s \right) V^\kappa = \text{állandó} \quad (11)$$

összefüggés írja le a gáz nyomásának és térfogatának kapcsolatát.

Diszkusszió

Tekintsük azt a konkrét esetet, amikor a kezdetben rögzített dugattyú $p_1 = \alpha p_0$ ($\alpha > 1$) nyomású, $V_1 = V_0$ térfogatú ideális gázt zár el, ahol p_0 a külső légnyomás. Oldjuk fel a dugattyú rögzítését, engedjük szabadon mozogni azt, és tételezzük fel, hogy a dugattyú-súrlódás $p_s = \beta p_0$ nyomással vehető figyelembe, ahol $\alpha > \beta > 0$. Tekintsük β értékét sebességtől függetlennek, valamint tegyük fel, hogy a csúszási és a tapadási súrlódás együtthatói egyenlők.

Első lépésként határozzuk meg a dugattyú első megállásához (lásd az 1. ábrán a „D” helyzetet) tartozó V_2 térfogatot és p_2 nyomást. Alkalmazva a (11) összefüggést

$$\left(p_1 - \frac{2}{f+2} p_s \right) V_1^\kappa = \left(p_2 - \frac{2}{f+2} p_s \right) V_2^\kappa. \quad (12)$$

Mivel modellünkben azzal a feltevéssel élünk, hogy a dugattyú-súrlódás során felszabadult hő teljes mérték-

ben visszakapja a gáz, igaz a munkatétel (termodinamika I. főtétele) a következő formában:

$$-p_0 (V_2 - V_1) = \frac{f}{2} p_2 V_2 - \frac{f}{2} p_1 V_1, \quad (13)$$

ahol kihasználtuk, hogy a dugattyú kinetikus energiájának megváltozása zérus. A (12) összefüggésből p_2 -t kifejezve

$$p_2 = \left(p_1 - \frac{2}{f+2} p_s \right) V_1^\kappa V_2^{-\kappa} + \frac{2}{f+2} p_s \quad (14)$$

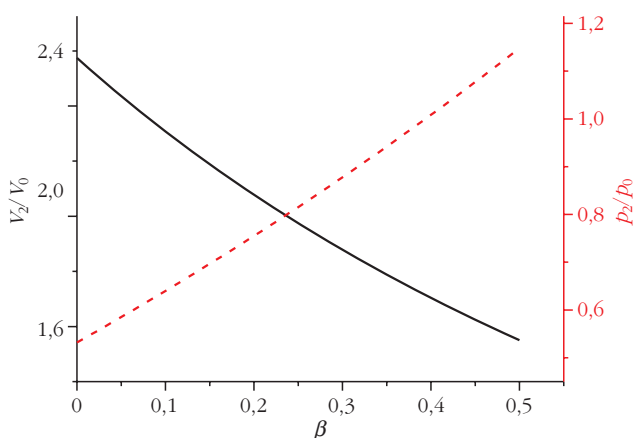
adódik. Ezt beírva a (13) egyenletbe, a keresendő V_2 térfogatra a következő implicit egyenletet kapjuk:

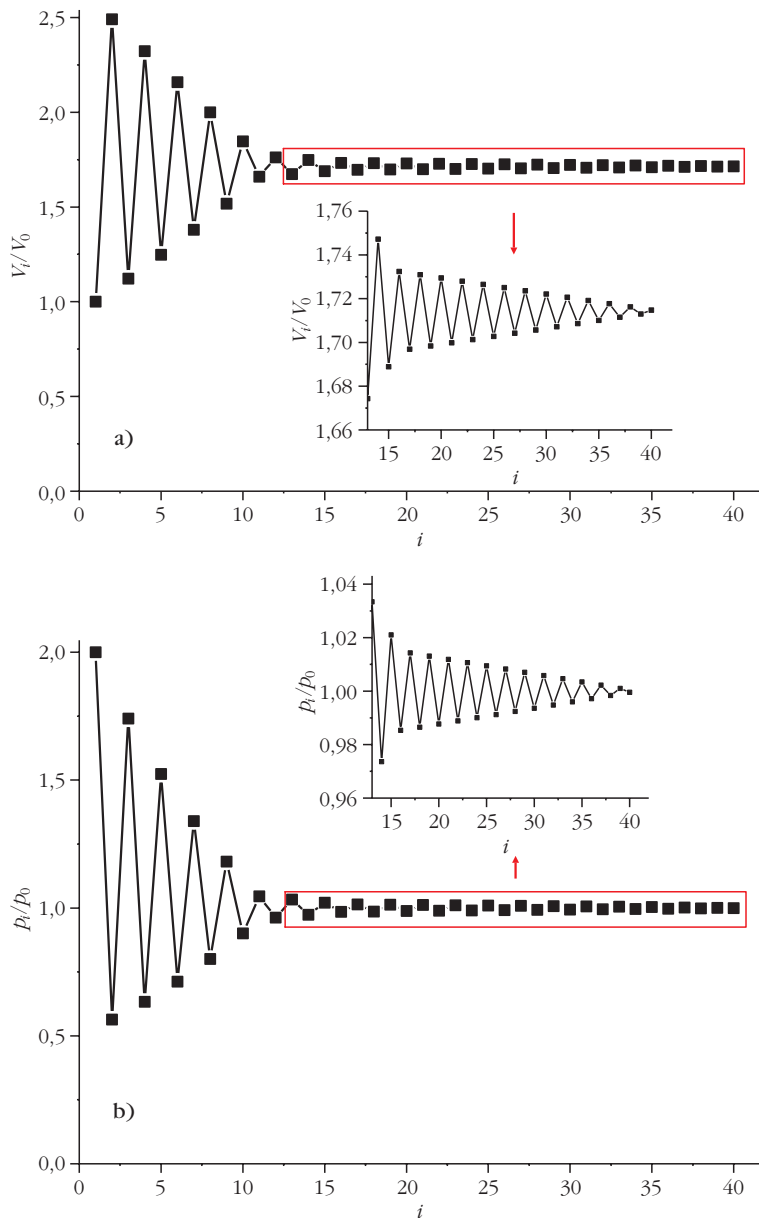
$$0 = \frac{f}{2} p_1 V_1 - \frac{f}{2} \left[\left(p_1 - \frac{2}{f+2} p_s \right) V_1^\kappa V_2^{-\kappa} + \frac{2}{f+2} p_s \right] V_2 - p_0 (V_2 - V_1). \quad (15)$$

p_0 , p_1 , p_s és V_1 (azaz p_0 , α , β és V_0) ismeretében V_2 numerikus módszerrel határozható meg. A 2. ábrán láthatjuk V_2/V_0 -t és p_2/p_0 -t a $\beta = p_s/p_0$ paraméter függvényében $\alpha = p_1/p_0 = 2$ esetén. Ahogy azt várjuk nagyobb dugattyúsúrlódás esetén kisebb V_2 térfogatnál történik meg a megállás, a nyomás pedig kevésbé csökken le.

Tanulságos elemezni a mozgás folytatását. Mielőtt az oszcilláló mozgás részletes nyomonkövetését megtennénk egy nagyon fontos tényt megállapíthatunk. A dugattyú véghelyzetében β kellően kis értéke esetén a gáz belső nyomása és a külső légnyomás megegyezik, azaz $p_\infty = p_0$. Tudjuk továbbá, hogy az összes súrlódási hő a gáz belső energiáját növelte. Ezek alapján kijelenthetjük, hogy a gáz végállapota független β értékétől. (β kicsi voltát is csak azért hangsúlyoztuk, hogy a súrlódásos rezgések témaköréből ismert végállapotbeli bizonytalansággal ne kelljen foglalkoznunk.) Tehát a kezdő és végállapot közt

2. ábra. A dugattyú első megállásához tartozó térfogat (bal oldali skála, fekete folytonos vonal), illetve nyomás (jobb oldali skála, piros szaggatott vonal) V_0 , illetve p_0 egységeiben a $\beta = p_s/p_0$ paraméter függvényében $\alpha = p_1/p_0 = 2$ esetén.





3. ábra. A dugattyú fordulópontjaihoz tartozó (a) térfogat-, illetve (b) nyomásértékek V_0 , illetve p_0 egységeiben $\alpha = p_1/p_0 = 2$ értéket feltételezve, az egymást követő fordulópontok számának függvényében (a $\beta = p_s/p_0$ paraméter a szimuláció során változik). A betéttábrakon a 13. fordulópontot követő folyamat felnagyítva látható.

érvényes a munkatétel (termodinamika I. főtétele) a következő formában:

$$-p_0(V_\infty - V_1) = \frac{f}{2}p_0 V_\infty - \frac{f}{2}p_1 V_1, \quad (16)$$

ahonnan a végállapotbeli térfogatra

$$V_\infty = \frac{f}{f+2} \frac{p_1 V_1}{p_0} + \frac{2}{f+2} V_1 \quad (17)$$

adódik.

A fordulópontok nyomonkövetése során azt várjuk, hogy a dugattyú bal, illetve jobb oldali fordulópontja ugyanahhoz a térfogathoz konvergál, ami mellel nem más, mint a (17) egyenletbeli V_∞ . Hogyan kapjuk

meg a fordulópontok sorozatát? A kiinduló 1. állapot paramétereiből a 2. állapot p_2 , V_2 állapotjelzőit a (14), illetve (15) egyenletekből kapjuk meg. Általánosan az i -edik és $i+1$ -edik állapotok között is hasonló összefüggést lehet felírni a különbséggel, hogy a p_s -t tartalmazó tagok előjele a dugattyú jobbra, illetve balra történő mozgása során ellentett. Így a (14) – (15) egyenletpár általánosított megfelelői

$$p_{i+1} = \left(p_i + (-1)^i \frac{2}{f+2} p_s \right) V_i^\kappa V_{i+1}^{-\kappa} + (-1)^{i+1} \frac{2}{f+2} p_s, \quad (18)$$

valamint

$$0 = \frac{f}{2} p_i V_i - \frac{f}{2} \left[\left(p_i + (-1)^i \frac{2}{f+2} p_s \right) V_i^\kappa V_{i+1}^{-\kappa} + (-1)^{i+1} \frac{2}{f+2} p_s \right] V_{i+1} - p_0 (V_{i+1} - V_i), \quad (19)$$

ahol $i = 1, 2, 3 \dots$. Semmi más dolgunk nincs, mint a (18) – (19) egyenletek alapján nekiállni meghatározni a fordulópontokat. Ha pusztán a végállapot meghatározása a cél β megválasztásában szabadságunk van, ugyanis, mint láttuk a végeredmény nem függ β -tól. Kérdés, milyen az optimális β -választás. Nagy β választása azért előnyös, mert akkor gyors a lecsengetés, kevés oszcilláció valósul meg, így gyorsabb a számolás. Viszont nagy β esetén bizonytalanná válik a végállapot, pontatlan lesz a végeredmény. Kis β esetén pont fordított a helyzet: jól behatárolt végállapotot kapunk, viszont az oszcillációk nagy száma miatt a számítási igények is nőnek. A következőképp jártunk el egy

mintapélda ($\alpha = 2$) során. A 13. fordulópontig $\beta = 0,03$, a 16.-ig $\beta = 0,003$ értékkel, azt követően pedig $\beta = 0,0003$ értékkel számoltunk. Kihasználtuk ugyanis azt a tényt, hogy a végállapot arra sem érzékeny, ha a mozgás során β -t változtatjuk. Eredményeinket a 3. ábra mutatja. Számításunk utolsó két pontját átlagolva a térfogat $V_N = 1,71389 \cdot V_0$, a nyomás pedig $p_N = 1,00031 \cdot p_0$, amely értékek igen jó közelítéssel (0,02, illetve 0,03%-os relatív hibával) megegyeznek a (17) összefüggés alapján várt $V_\infty = 1,71426 \cdot V_0$ térfogattal, illetve a várt p_0 nyomással.

Végezetül a 4. ábrán a V_∞/V_0 arányt ábrázoltuk α függvényében arra az esetre, ha a (17) összefüggés alapján számolunk (folytonos görbe), illetve, ha a Poisson-törvénnyel dolgozunk (szaggatott görbe). Az

ábra betétje a relatív eltérést mutatja α függvényében. Az említett OKTV feladat [1] esetén α értéke 1,0875, ami azt jelenti, hogy a két különböző megközelítéssel adódó eredmény eltérése szinte érzékelhetetlen.

Konklúzió

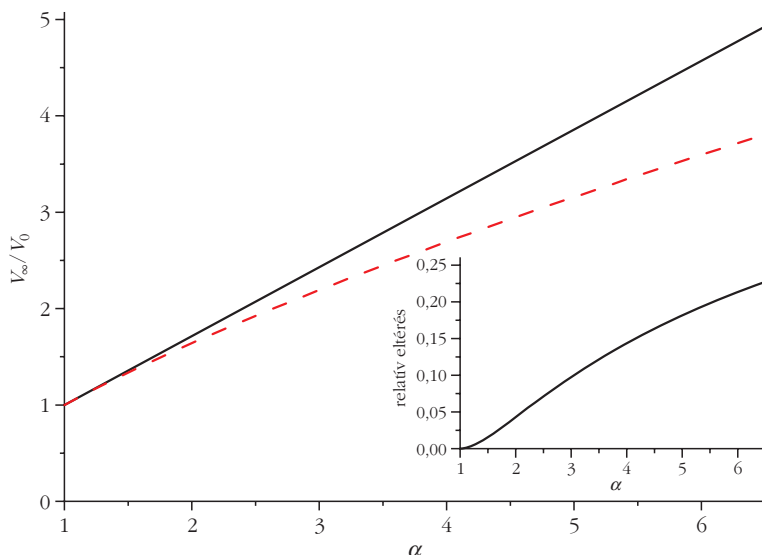
Megmutattuk, hogy reverzibilis adiabatikus folyamatok során mindig alkalmazható a $pV^{\kappa} = \text{állandó}$ törvény, még abban az esetben is, ha a gázt elzáró dugattyú gyorsul. Ha nem tekintünk el a dugattyú sűrűdésétől, a folyamat irreverzibilissé válik, a $pV^{\kappa} = \text{állandó}$ összefüggés érvényét veszíti. Ha a rendszer és környezete közti hőcserementességet úgy biztosítjuk, hogy a sűrűdési hőt „visszatápláljuk” a gázba, a szóban forgó képlet korrigált alakja használható.

Fontos megjegyeznünk, hogy modellünk számos olyan egyszerűsítést tartalmaz, ami korlátozhatja az alkalmazást. A szélesebb körű alkalmazhatóságához kifinomultabb modellre van szükség, amely nem él azokkal a közelítésekkel (a gáz ideális volta, állapotjelzőinek inhomogenitása, sebességtől független du-

gattyúsűrűdés, leegyszerűsített hővezetési mechanizmusok), mint a fent bemutatott modell.

Irodalom

1. https://www.oktatas.hu/koznevelas/tanulmanyi_versenyekek/oktv_kereteben/aktualis_versenyyidoszak/2fordulo_2020_2021



4. ábra. A vég- és a kezdőállapot térfogataránya α függvényében. A folytonos görbe a (17) összefüggés alapján, a szaggatott a Poisson-törvénnyel történő számolás eredménye. A betét a relatív eltérést mutatja α függvényében.

A MEGISMERÉS KALANDJA

A ismeretszerzés tudományos módszereinek bemutatása a fizikaoktatásban

Radnóti Katalin
ELTE TTK Fizikai Intézet

A fizika tantárgy tanítási céljai megváltoztak az elmúlt évtizedek gyakorlatához képest a 2020-ban közzétett új NAT, a hozzá tartozó kerettantervek és a jelenlegi érettségi követelmények következtében, hiszen a fizika tanítása csak 10. évfolyam végéig lesz kötelező [1–3]. Minden bizonnyal nem kevés olyan tanuló is lesz, akik csak a 9–10. évfolyamokon, vagyis mindössze két éven keresztül fognak fizikát tanulni, mert 7–8. osztályban integrált természettudományos okta-

tásban lesz részük. Ezen diákok tanítása alapvetően más szemléletet igényel. Már nem lehet azt a főleg feladatmegoldásokra épülő módszert alkalmazni, mint eddig. Például egy témazáró dolgozat nem állhat 4–5 életidegen, unalmas szövegű számítási feladatból. Nagyobb szerepet kell kapjon a fizikai ismereteket igénylő problémamegoldás, a hétköznapi alkalmazások, az ismeretek kialakulását, a tudományos ismeretszerzés módszereit bemutató tudománytörténet, a táblázatok, grafikonok értelmezése, azokból következtetések levonása, esetleg számítások, becslések végzése a legújabb felfedezések tananyagba való beemelése mellett.

Vezethet-e az iskolában tanított fizikai ismeretek hétköznapi felhasználása tévképzetekhez, áltudományos elképzelés megalkotásához vagy elfogadásához? A válasz sajnos, igen! Például egy ékszertervező számára az egyes kövek különleges hatása az emberre a következő gondolati levezetésből adódott: a fizikában tanult a különböző mezőkről (elektromos, mág-



Radnóti Katalin az ELTE TTK-n végzett kémia–fizika szakos tanárként. Több éves középiskolai tanári munkája mellett egyetemi doktorátust szerzett fizikából, majd az ELTE Tanárképző Főiskola oktatójaként a neveléstudomány kandidátusa lett a fizika tanítása témaköréből. Jelenlegi munkahelye az ELTE TTK Fizikai Intézet, főiskolai tanár. Több mint 200 publikációja van, tanári segédletek, tanulmányok, könyvek, könyvfejezetek. Kutatási területe a fizika és a természettudományos tanításának módszertana.

neses), az asztal sajátrezgéséről, amelyeket ugyan nem látunk, de azért léteznek, és ezekből arra következtetett, hogy az egyes kövekből készült ékszerek, karkötők, medál milyen hatást gyakorolhatnak az emberre. Ez az MTV 5-ös *közszolgálati csatornán* hangzott el, 2021. április 9-én és 10-én a *Librettó* című műsorban! A műsor készítőinek sem tűnt fel, hogy a riporttal áltudományos ismereteket közvetítenek. Ebből a példából az lehet a tanulság, hogy kevés egyszerűen csak a fizika fő területeihez kapcsolódó, annak logikáját bemutató ismereteket, tényeket, jelenségeket tanítani! Azt is meg kell mutatni, hogy miként szerzünk tudományos ismereteket! Mit jelent, hogy a jelenségek, folyamatok megismeréséhez, a magyarázatok megalkotásához tényeket, adatokat gyűjtünk, majd azokból vonunk le következtetéseket. Sőt, megkockáztatom azt a kijelentést, hogy napjainkban valójában ez a fontosabb, a konkrét feldolgozott témakörök csak mint példák szerepelnek a tudományos, kutatási, természettudományos szemlélet kialakításához.

A fizika tanításával kapcsolatban napjainkban is változatos fejlesztések jönnek létre például kutatótanári munkák során. Különböző cikkek, felmérések, statisztikák készülnek a tanári továbbképzésekről, rendezvényekről, tanári és tanulói hálózatok szerveződnek, mérőeszközöket telepítenek ki, új tudományos eredményeket mutatnak be, dolgoznak fel *kis számú*, érdeklődő, tehetségesnek mondott diák számára. A fizika népszerűsítésének céljából sok kísérleti bemutatót tartanak, ez nagyon fontos. Azonban sokszor a minél látványosabb effektus a bemutató lényege, nem pedig az adott jelenség akár nagyon leegyszerűsített, de mégis korrekt magyarázata. A mindennapi tanítás mikéntjének, hogyanjának (módszertan), szemléletének, filozófiájának, a fizikának, mint tudománynak és szerepének világunk alakulásában a *tanulók többsége* számára történő bemutatása mintha háttérbe szorulna. Pedig ez is alapja lehet az érdeklődés felkeltésének. Írásomban erre a területre koncentrálok.

A matematika témakörhöz tartozó PISA vizsgálat mutatta ki, hogy Magyarország olyan oktatási rendszert működtet, amely sokat foglalkozik a kevés számú tehetséges diákkal, akik különböző diákolimpiákon, nemzetközi versenyeken jól szerepelnek, míg az átlag nagyon lemarad [4]. A fizika tanítása során is hasonló lehet a helyzet.

A fizikatanítás célja mai világunkban nem csupán az, hogy a tanulók megismerjék és elsajátítsák a fizika tudománya által létrehozott ismeretanyagot, hanem azt is meg kell értsék, hogyan jutottak a tudósok ezen megállapításokra, milyen módszerekkel vizsgálják és értelmezik a körülöttünk lévő világot. A fizikatanítás céljait a következőképp foglalhatjuk össze:

- a természet jelenségeinek magyarázatához szükséges alapvető fogalomkészlet megalkotása, kialakítása a diákok tanulása során,
- a természettudományos világkép, szemlélet kialakítása,

- a tudományos megismerési folyamat megmutatása,
- a természettudományos gondolkodás fejlesztése,
- a jelenségekről, folyamatokról matematikai módon megfogalmazható modellek alkotása, kvantitatív előrejelzések adása,
- a modern technika fizikai alapjainak megismertetése,
- a fizika eredményeinek felhasználása a mai társadalom kihívásainak (például energiakérdés, közlekedési, környezetvédelmi problémák) megoldásában,
- a fizika és más természettudományok (például kémia, biológia, orvostudomány, geológia) közötti kapcsolatok megmutatása,
- a tudományhoz való viszony formálása [5].

A tudományos ismeretszerzés módszerei a fizika tudomány alakulása, fejlődése során tisztázódtak, például *Alhazen*, *Galilei*, *Newton* munkássága nyomán. A kémia, a biológia, majd később a társadalomtudományok ezt mintegy a fizikától „tanulták el”. Mégis, mintha a fizika tanításában jóval kisebb hangsúllyal szerepelne ez a fontos terület. A kémia és biológia tantervekben sokkal nagyobb fontosságot tulajdonítanak e témának. A fizika tantervek és tankönyvek elsősorban a hétköznapi ismeretekre, a mindennapokban használt eszközök működésének megértésére helyezik a hangsúlyt. A tankönyvi leckék jelentős része is ilyen témájú kérdésekkel indít. Az adott tudásanyag keletkezése, létrejötte, a fogalmak megalkotásának történeti útja ritkábban szerepel. Pedig a fizika tantárgy az, ahol az érettségi követelmények között nevesítve szerepel a tudománytörténet, de csak az egyes tudósok élete, fél évszázad pontossággal és felfedezésének lényege. A felfedezés létrejöttének körülményei, mikéntje már nem. Jelen írásban erre mutatok néhány példát.

Tudománytörténet másképp, a megismerés kalandja

A fizika/természettudományos tananyagok kapcsán több példán keresztül megmutathatjuk, hogy a tudomány történetében – bár minden esetben voltak sajátos, egyedi vonások is – többnyire az *1. ábrán* vázolt lépések szerint zajlott a tudományos megismerés. Az ábrán két visszacsatolási kört jelöltünk, de valójában a tudományos kutatások során a visszacsatolás folyamatos; a kísérleti körülmények vagy a hipotézisek módosítása, illetve az újabb és újabb kutatási kérdések megfogalmazása során [5, 6].

A tudománytörténet elemeit felhasználva szépen be lehet mutatni azt, miként is nyúl a természettudós egy problémához, hogyan kezdi el azt vizsgálni, mi módon fogalmazza meg a kérdést, milyen egyszerűsítő feltételeket vezet be. Az oktatás fontos feladata a tudományos kutatásról és a kutatókról a *reális tudománykép* kialakítása a diákokban, annak bemutatása, hogy a tudomány változó rendszer. Ezzel a módszerrel a *fogalomfejlődés* menete is bemutatható.

Az oktatás során célszerű rávilágítani arra is, hogy mit honnan tudunk, miként alakult ki az adott tudás, *hogyan fejlődtek* az éppen tanulmányozott jelenség kvantitatív leírásához alkalmazott *mérési módszerek, mérőeszközök*, nem csak a végeredmények leírása, amelyet a diákoknak meg kell tanulni [7, 8]. Ez azért is fontos, mert sok esetben a diákok is hasonló gondolkodási folyamaton mennek keresztül, ahogy az a tudomány történetében is végbement, nem egyszer több generáción keresztül, csak erre nekik jóval rövidebb idő áll rendelkezésükre. Erre a legismertebb és talán legfontosabb két alappélda a következő:

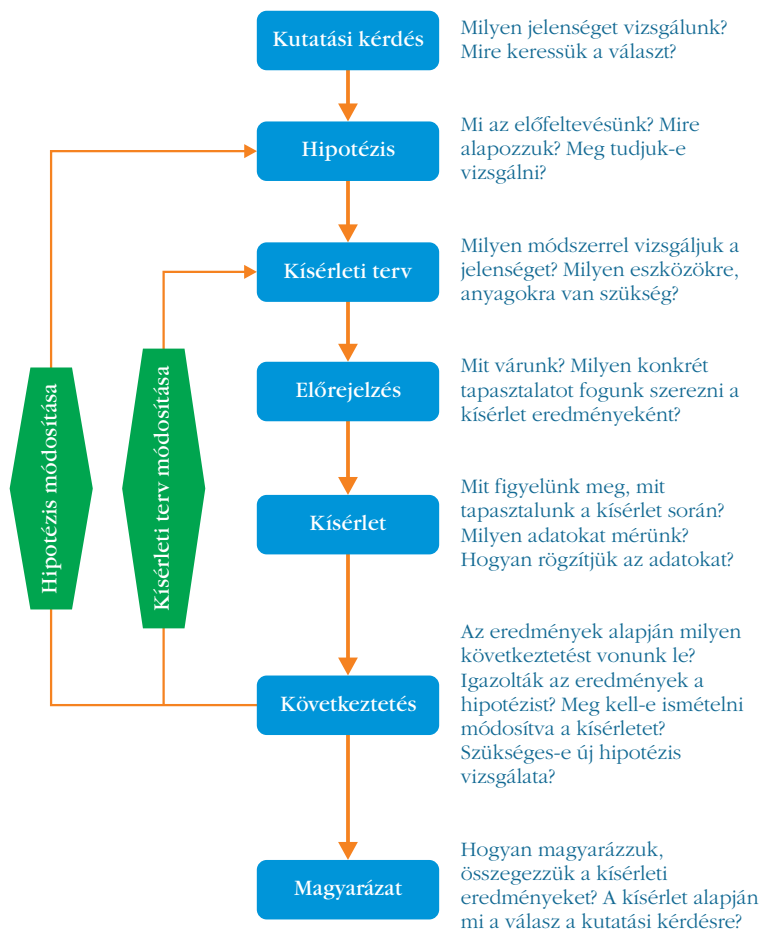
- az arisztotelészi mozgásszemlélet newtonivá alakulása,
- az anyagkép alakulása, az anyag folytonos elképzelésének a részecskeképpel való felváltása [9].

A feldolgozandó téma szempontjából célszerű megvizsgálni a felismerés korszakában felmerült

- az adott korszakra jellemző tudományos *kérdéseket*, azok megközelítésmódját, többféle elképzeléseit,
- tesztelhető hipotézisek megfogalmazását, például analógiák alapján,
- a hipotézisek alátámasztására tervezett vizsgálatokat, kísérleteket,
- végül a következtetések leírását esetleg eredeti idézetek segítségével.
- A felfedezés/felismerés milyen társadalmi környezetben jött létre, milyen elméleteket, gondolkodási rendszereket, szemléletmódot váltott fel?
- Milyen előzményei voltak a felfedezésnek?
- Hogyan, milyen módszerrel történt a felfedezés?
- Mi volt a felfedezés újszerűsége?
- Hogyan fogadta a tudományos közösség a felfedezést? Elég meggyőzőnek tartották-e?
- Milyen nehézségek merültek fel a megismerés során?
- Milyen további kutatásokat indukált, majd pedig annak következményeképp milyen változások jöttek létre a tudományában, illetve esetlegesen az emberiiség életében?
- Történt-e napjainkban olyan felfedezés, ami egy adott elméleti rendszer előrejelzésén alapult? Hogyan történt a felfedezés?

Természetes módon fordul elő, hogy egy hosszú ideig létező elméletet megcáfolnak az újabb felfedezések, és az eközben előforduló tévedések gyakori velejárói a folyamatnak. Ez ugyanúgy igaz az adott dolgot, jelenséget éppen megismerő diákok esetére is [5].¹

¹A honlapomon olvasható *Tudománytörténet kutatási szemléletben* című dokumentumban megkíséreltem a fizika érettségi vizsgán szereplő tudósok munkásságát, vagy annak egy részét az általam kialakított szemléletbeli keretben leírni és értelmezni. <https://rad8012.members.iif.hu/fiz-tortenet-erettsegi.pdf>



1. ábra. A kísérletek/mérések lebonyolításának lépései.

A tudományos ismeretszerzés, mint nyomozás, tapasztalat és következtetés

A megismerés alapvető eleme a tapasztalatszerzés, majd e tapasztalatok alapján a következtetések levonása. De ténylegesen mi a tapasztalat? És a tapasztalatokból milyen következtetéseket lehet levonni? Biztos, hogy azonos tapasztalatok azonos következtetésekhez vezetnek?

Például egy fényes folt egy fényképezőlemezén/számítógép képernyőjén, egy műszer által kijelzett számérték (analóg esetben egy mutató elmozdulása) alapján hogyan vonhatunk le következtetéseket?

Például az *exobolygók* keresése esetében mi a tapasztalat? Fényfoltok egy fényképezőlemezén, vagy a számítógép képernyőjén, illetve ezek hiánya? A csillag fényességének ábrázolása az idő függvényében, amely már egy erősen feldolgozott tapasztalat? És persze az, hogy ilyen objektumokat keresünk, már egy adott elméleti keretben történik. A megfigyelési elmélet(ek) bonyolultságáról nem is beszélve. Az alábbiakban megpróbálom elkülöníteni a *bétköznapi* és a *tudományos megfigyelést*.

A *bétköznapi megfigyelések* legtöbbször felületek, pontatlanok, véletlenszerűek, esetlegesek, nem szervezettek, DE ugyanakkor alapot adhatnak később-

bi tudományos megfigyeléshez, problémafelvetéshez. *A tudományos megfigyelés ezzel szemben szervezett, tudatos tevékenység.* Ez hosszabb vagy rövidebb ideig tartó észlelés, amely lehetőséget ad olyan jelenségek vagy folyamatok nyomon követésére, amelyek a vizsgált objektumban bizonyos *hatások eredményeként* következnek be. *Tudatosan szervezett,* előre meghatározott szempontok mentén történik, alaposan átgondolt, hogy *mit, mivel, hogyan* mérnek, miként rögzítik az adatokat, az adatokból mire lehet majd következtetni. Adott esetben, sőt a legtöbbször, külön berendezést is kell tervezni, majd elkészíteni, átgondolni a mintavételezést, az egyszerűsítési lehetőségeket, ténylegesen mely paraméterek változnak és melyek maradjanak állandók. Ez valójában kísérlettervezés, amely már bizonyos mértékig a vizsgált jelenség modellezésének is tekinthető, hiszen át kell gondolni, hogy melyek lehetnek a lényeges momentumok, mit lehet elhanyagolni, hatását csökkenteni stb. A tudományban általában egy *hipotézis* bizonyítása érdekében végzik az adatgyűjtést. Majd a *kutatók előre meghatározott, lehetőleg nagyszámú mintán végzik el a kísérletet. Fontos elem a vizsgálat megismételhetősége, mely azonos eredményre vezet.*

A természettudományok tanulmányozásának alapvető elemeit képezik a szervezett formában történő empirikus tapasztalatszerzési lehetőségek, mint terepgyakorlatok, laboratóriumi gyakorlatok, mérések. Ezek jelentős részében nem egyszerű vizuális tapasztalatszerzés történik, hanem különböző műszereket, mérőeszközöket használnak. Ez lehet egy fizikailag működő eszköz, például távcső, lejtő, üvegcsövek, torziós szál, kaloriméter, hőmérő, mérleg stb.

Humán tudományok esetében mérőeszköz lehet a kérdőív, az oktatásban a feladatlap és skála készítése.

A *mérőeszközhöz megfigyelési elmélet* tartozik. Nézzük a laboratóriumi méréseket! Ténylegesen milyen mennyiségeket is mérünk? Milyen mérőműszereink vannak? Mi a mérések fizikai alapja? Milyen elméletet felhasználva végzünk méréseket?

Mérünk

- hosszúságot, egy etalonnal való összehasonlítás alapján,
- időt, valamilyen jelenség idejének összehasonlításával, ami sok esetben periodikus, így a periódusok megszámlálása képezheti az alapot, bár nem feltétlenül,
- tömeget, amelynek szintén többféle elméleti alapja lehet, például az emelőtörvények, etalonnal való összehasonlítás alapján,
- hőmérsékletet, például folyadékok hőtágulása alapján,
- áramerősséget, amely az áram mágneses hatásán alapul stb.

A méréshez mérési hiba tartozik, amelynek mibenlétével, becslésével és figyelembe vételével itt nem foglalkozunk, hiszen ez számtalan könyvben megtalálható. Csak annyit jegyzünk meg, hogy mindezek figyelembe vétele alapvetően fontos.

A mérési eredmény megjelenítése: az analóg műszerek esetében például egy mutató elfordulásának szögét, illetve az ahhoz kalibrált skálát kell leolvasni. Napjainkban viszont már zömmel valamilyen elektromos hatás alapján működő digitális műszereket használunk, így *egy számértéket* olvasunk le, ami maga a *tapasztalat*, bár ténylegesen egy a megfigyelési elmélet által átalakított *közvetett tapasztalat*. A mai tapasztalataink zöme ebbe a kategóriába tartozik már az olyan alapvető mennyiségek, mint az idő- és távolság mérésének esetén is.

A tapasztalat azonban nem csak számérték lehet, bár – az összehasonlíthatóság miatt – amihez csak lehet, számértéket igyekszünk rendelni. A tudomány történetének egyik fontos vezérfonala lehet, hogy miként tett az emberiség egyre több jellemzőt mérhetővé, alkotva meg sok, napjainkban természetes módon használt fogalmat, mint például sebesség, hőmérséklet, nyomás, energia stb. Több esetben az adott fizikai mennyiség közvetlenül nem is mérhető, csak más mérésekből számítható, például sebesség, gyorsulás, energia, teljesítmény, hatásfok...

A következőkben vázlatosan bemutatok néhány, a megismerés történetében fontos és érdekes meggon-dolást, kicsit filozofálásra való alkalmas példát a tapasztalatokból való következtetésre.

Tudománytörténeti példák

Nilométer

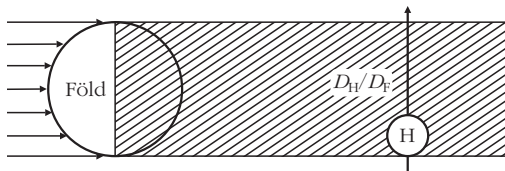
A nilométer az az eszköz (szintjelzésekkel ellátott föld alatti tér), amellyel az ókori egyiptomiak a Nílus vízszintjének változását mérték. Ennek alapján jelezték előre az évenkénti áradások várható mértékét. Tehát a mérési eredményekből, mint tapasztalatból mennyiségi következtetéseket vontak le a várható termés nagyságára és az abból beszédhető adó mértékére.

Számoszi Arisztarkhosz heliocentrikus elképzelése

Számoszi Arisztarkhosz (Számosz, i. e. 310 körül – Alexandria, i. e. 230 körül) ókori görög filozófus érdekes elképzeléssel állt elő, szerinte nem a Föld, hanem a Nap van nyugalomban. A Föld a Nap körül kering, a Hold pedig a Föld körül. Erre a következtetésre egy *négy lépést tartalmazó megfigyelés-sorozat*, mint *tapasztalati láncolat* eredményeképp jutott. Az eredeti leírás nem maradt fenn, csak *Arkhimédész* könyveiből ismerjük [10]. A megfigyelési lánc végigkövetése tanulságos példa arra, miként szerezhetünk úgy tapasztalatokat, hogy azokból következtetéseket tudjunk levonni.

Arisztarkhosz kérdései a következők (lehetek).

- Mekkora lehet a Hold és a Nap mérete a Földhöz viszonyítva?
- Milyen messze lehet a Földtől a két égitest?
- Milyen mennyiségeket tudok mérni?
- Milyen következtetés vonható le e három égitest egymáshoz viszonyított mozgására?



2. ábra. A Hold méretének meghatározása holdfogyatkozás segítségével.

A Hold méretének meghatározása

Első lépés a Hold méretének meghatározása a Föld nagyságához képest. Holdfogyatkozás alkalmával a következő *időket* kell mérni:

- a Hold belépése és teljes eltűnésének ideje a Föld hengeres árnyékába, ami a Hold D_H átmérőjével arányos,
- a Hold árnyékba lépésének kezdete és a kibukkanás pillanata közt eltelt idő, ami a Föld D_F átmérőjével arányos mennyiség.

E kettő időtartam aránya adja a két égitest méretének arányát (2. ábra).

Az ötlet varázslatos, ha lehet ilyet mondani! Hiszen Arisztarkhosz előtt is *sokan látták magát a jelenséget*, vagyis szereztek olyan tapasztalatot, hogy néha a Hold sötétebb lesz, de addig senki másnak sem jutott eszébe az, hogy ezekből következtetéseket lehetne levonni a két égitest méretére. Arisztarkhosz azonban képes volt arra a nagyon komoly elvonatkoztatásra, hogy a Földet, amelyen élünk, rajta vagyunk, kívülről, mint égitestet lássa, amelyet a nagyon távoli Nap világít meg. Ennek következtében a Hold azért halványul el, mert a Föld árnyékkúpjába (amelyet hengerként lehet közelíteni) kerül. Így, ha megméri a fenti két időtartamot, abból a méretviszonyokra tud következtetni. Tehát a három égitest (Nap, Föld, Hold) elképzelt égi helyzete, mint elméleti keret alapján az *időtartamok mérésével* kibővítette az egyszerű tapasztalatot. Majd a két idő hányadosa alapján következtetést vont le az egymáshoz viszonyított méretekre.

A Hold távolságának meghatározása

A Hold átmérőjének és a Hold *látószögének* méréseiből a keresett s_{FH} távolság földátmérőben kifejezve (3. ábra):²

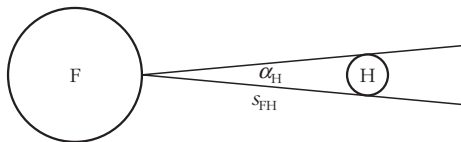
$$s_{FH} = \frac{D_H}{\alpha_H}.$$

Az egyik előző megfigyelés és egy új megfigyelés alapján Arisztarkhosz képes volt egy másik mennyiségre következtetni a korszak matematikai ismereteinek felhasználásával.

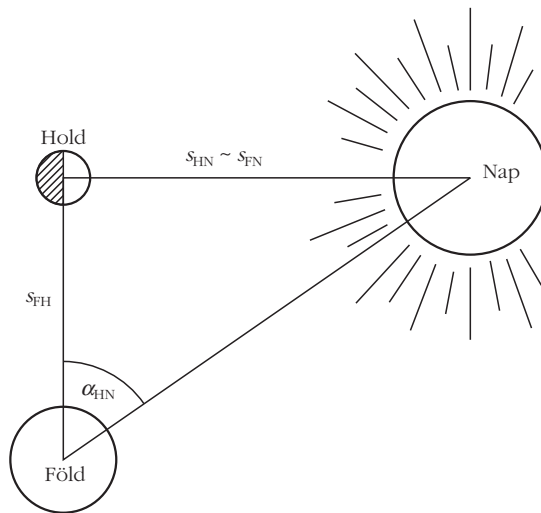
A Nap távolságának meghatározása

Arisztarkhosz elképzelése szerint, amikor a Földről pontosan a Hold felét látjuk megvilágítva, akkor a Hold–Nap és a Hold–Föld irány éppen merőleges

²Nagyon kis szögekről van szó, ezért mindenkor felhasználható, hogy $\sin \alpha \approx \alpha$. Akkoriban még nem ismerték a szögfüggvényeket.



3. ábra. A Hold távolságának meghatározása a látószög alapján, a már ismert átmérő felhasználásával.



4. ábra. A Nap távolsága a Föld–Hold–Nap derékszögű háromszög alapján, az ismert Föld–Hold távolság felhasználásával.

egymásra. Ha ebben a helyzetben megmérjük a Föld–Hold és a Föld–Nap irány által bezárt szöget, ami a 4. ábrán α_{HN} , akkor ebből a Föld–Nap távolság a már előzőleg meghatározott Föld–Hold távolsághoz viszonyítva – a korszak matematikai ismereteinek felhasználásával – szintén meghatározható:

$$s_{FN} = \frac{s_{FH}}{\frac{\pi}{2} - \alpha_{HN}}.$$

A fent említett szög nagyon közel áll a derékszöghöz, mindössze 8' a különbség. Ezt abban a korban természetesen kimérni nem, csak becsülni lehetett.

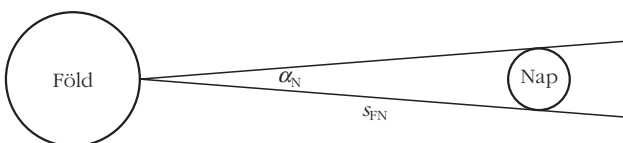
A fenti jelenséget is sokan megfigyelhették már korábban, mégsem jutott senki másnak eszébe a térben így elképzelni a három égitestet.

A Nap méretének meghatározása

A Föld–Nap távolság ismeretében és a Nap *látószögének* mérése után becsülni lehetett a Nap átmérőjét, szintén földátmérővel, mint egységgel kifejezve (5. ábra):

$$D_N = \frac{s_{FN}}{\alpha_N}.$$

5. ábra. A Nap mérete látószög alapján, a Föld–Nap távolság ismeretében.



1. táblázat				
A Hold és Nap D átmérője és s távolságai a Föld D_F átmérőjének egységében				
	D_H/D_F	D_N/D_F	s_{HF}/D_F	s_{NF}/D_F
valós adatok	0,27	108,9	30,2	11726
Arisztarkhosz (i. e. 270)	0,36	6,75	9,5	180
Hipparkosz (i. e. 150)	0,33	12,33	33,66	1245
Poszeidóniosz (i. e. 90)	0,157	39,25	26,2	6500
Ptolemaiosz (i. sz. 150)	0,29	5,5	29,12	605

Arisztarkhosz azt találta – mondhatjuk *tapasztalta* – a 4 lépéses mérésoroztatban, *két időmérés és három szögmérés alapján*, hogy a Nap átmérője jóval nagyobb, mint a Földé vagy a Holdé, továbbá sokkal messzebb van tőlünk, mint a Hold.

A fentiek alapján jutott arra a *következtetésre*, hogy inkább a Nap lehet középponti helyen és nem pedig a Föld. A Nap körül kering a Föld és nem fordítva.

Arisztarkhosz becslései a Hold átmérőjére egészen jónak mondhatók, míg a többi esetben azok sokkal kisebbek a valóságosaknál. A Nap és a Hold látószögét 2° -nak vette a tényleges $0,5^\circ$ helyett, ami meglepő, hiszen úgy gondoljuk, hogy már abban a korban pontosabban lehetett mérni. Az α_{HN} szögére 87° -ot mért a $89,52^\circ$ helyett, ami kevésbé meglepő.

Az 1. táblázatban láthatók a ma elfogadott és az Arisztarkhosz, továbbá a későbbi csillagászok által kapott értékek, amelyek vizsgálata rendkívül tanulságos.

A táblázatból látható, hogy a mérések mintha egyre pontosabbak lennének. Azt gondolhatnánk, hogy akkor egyenes út vezetett a heliocentrikus világtkép kialakulásához. De tudjuk, hogy nem ez történt. Vagyis a *basonló tapasztalatok nem vezetnek basonló következtetésekhez*. Sőt, valójában a *jobb mérések, a pontosabb tapasztalatok sem vezetnek egyenes úton jobb következtetésekre!*

A kopernikuszi fordulat

Az emberiség évezredek óta gyűjt mérésekkel, égi pozíció meghatározások formájában tapasztalatokat a csillagos égről. Az egyiptomi és babilóniai papok és az ókori görögök nagyon sok adatot halmoztak fel, amelyek segítségével próbálták a különböző égitestek helyzetét előre meghatározni, különböző céllal (például jóslás földi eseményekre). Ezek felhasználásával az i. sz. 2. században az egyiptomi görög *Ptolemaiosz* egy egészen jól működő, körökből álló modellt konstruált, amelyben a Földnek van kitüntetett, központi szerepe, ahogy azt akkor mindenki gondolta. Sőt még nagyon sokáig így gondolkodtak. Valójában az iszlám aranykorának tudósai is, akik tovább folytatták az égbolt figyelését, és újabb hatalmas, sok megfigyelési adatot tartalmazó adatbázisokat hoztak létre (a „zij” perzsa eredetű szó, az iszlám világban az asztronó-

miai könyvek – amelyek táblázatokat és előrejelzéseket tartalmaznak a Nap, a Hold, a bolygók és a csillagok helyzetére – általános megnevezése), a Földet kitüntetett helyzetűnek gondolták. Bár többen írtak arról, hogy Ptolemaiosz modellje nem lehet jó, valami újat kellene alkotni helyette, de azt mégsem tették meg.

Aki végül megtette a nagy lépést, mintegy betetőzve a korábbi évszázadok tudósainak (keresztény és muszlim) megfigyelési és elméleti munkásságát, *Kopernikusz* volt. A Föld helyett a Napot tette meg kitüntetett helyzetűnek, ez tekinthető a tudomány *első paradigmaváltásának*.

Kutatási kérdéseit a következőképp foglalhatjuk össze:

- Milyen új modellel lehetne pontosabban és egyszerűbben leírni és előre jelezni az égitestek helyzetét?

- Hogyan lehetne a köröket (deferensek és ep ciklusok) alkalmasabban elhelyezni, hogy azok magyarázatot adjanak például a retrográd mozgásokra?

Kopernikusznak saját tényleges megfigyelése kevés volt (úgy 30 darab), *mások adataiból* dolgozott. De elméleti megfontolásokat is átvett elődeitől, a körök és ep ciklusok rendszerét is felhasználta, csak más-képp rendezve el azokat.

A Kepler-törvények

A 16–17. század fordulóján a kopernikuszi elképzelés mellett tudományos körökben népszerű volt a *Tycho de Brahe* által használt modell is, amely a geocentrikus és a napközéppontú modellek „keverékének” tekinthető. A középpontban a Föld áll és a Nap kering körülötte, az összes többi bolygó pedig a Nap körül kering. Brahe közel húsz éven keresztül figyelte és jegyezte fel a bolygók mozgását (a Földről megfigyelhető látószögét) az akkor elérhető legnagyobb pontossággal. Brahe 1601-ben bekövetkezett halála után ezeket a megfigyelési adatokat, mint tapasztalati tényeket felhasználva tudta *Kepler* megfogalmazni törvényeit.

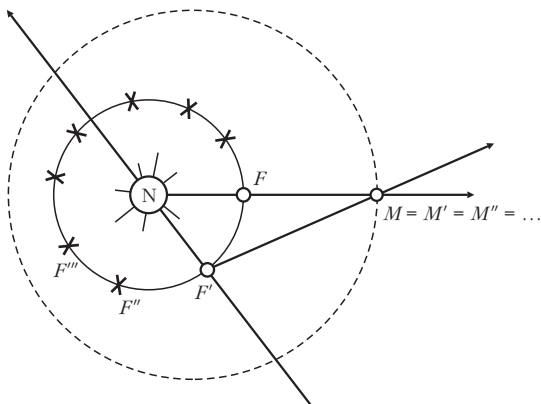
A korszak tudományos problémája: egyik modell sem, a kopernikuszi és a Brahe által használt sem volt összeegyeztethető a megfigyelési adatokkal.

A megfelelő modell kiválasztása: Kepler az abban az időben létező világmodellek közül a *kopernikuszi modellt* fogadta el, vagyis az egész rendszer közép-pontját a Napba helyezte.

Kutatási kérdések: Milyen alakú lehet a bolygók pályája? Hogyan lehet a Mars „valódi” pályáját, azaz a Nap körülit, Brahe megfigyelési adatainak felhasználásával meghatározni? Hogyan kell az adatokat csoportosítani?

Kepler zsenialitását és merészségét bizonyítja, hogy hajlandó volt a körkörösség eszméjétől megszabadulni, és valamilyen más görbét keresni, amelyet végül az ellipszisben talált meg.

Kepler gondolatmenetét *Simonyi Károly* könyve alapján idézzük fel [10]. Ez egy két részből álló *logikai*



6. ábra. A Föld pályája marsi megfigyelői pozíciót feltételezve.

lánc. Először a Föld pályájának alakját határozta meg, majd ennek segítségével a Mars bolygó pályájának alakját. Az ötlet szamoszi Arisztarkhoszhoz hasonlóan varázslatos! Kepler három égitest, a Nap, a Föld és a Mars egymáshoz viszonyított égi helyzetét látta maga előtt és az ezeknek megfelelő adatokat használta fel Brahe adatbázisából.

A Földpálya alakja

A földpálya alakjának meghatározásához Kepler egyedülálló ötlettel állt elő, a megfigyelő pozícióját a Marsra helyezte át (6. ábra). Kiinduló helyzetként az szerepelt, amikor a Nap, a Föld és a Mars egy egyenesbe esik (NFM). Ismerte továbbá a Mars Nap körüli keringési idejét (kopernikuszi modell), ez 687 nap, tehát ennyi idő elteltével a Mars ismét a kiindulásival azonos térbeli helyzetbe kerül. A Föld viszont ebben az időpontban pályájának valamilyen F' pontjában lesz.

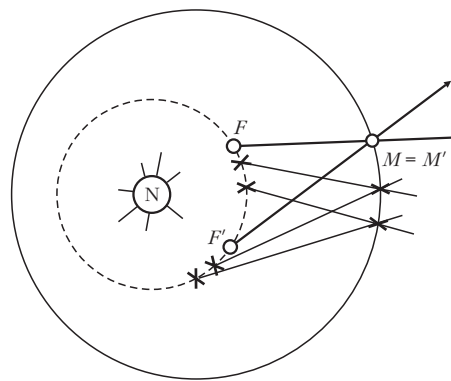
Ezt a pontot pedig meg lehet szerkesztetni, ha ismerjük a Nap–Föld és a Mars–Föld irányt. Újabb 687 nap múlva a Mars ismét ugyanebben a helyzetben lesz, míg a Föld pályájának egy másik, F'' pontjában, amely szögmérések segítségével ismét megszerkeszthető. És így tovább, vagyis anélkül, hogy a Mars pályájáról a keringési időn túl bármi egyebet tudnánk, a földpálya alakja megszerkeszthető.

A távolságok itt és a későbbiekben is relatív távolságok. Minden távolság a Föld Naptól mért távolságához viszonyítva van kifejezve.

A Mars pályája

A földpálya ismeretében határozta meg Kepler a Mars pályáját (7. ábra). Az egyes pontok megszerkesztéséhez a következő gondolatmenetet használta: előzetes tudásként ismét felhasználta, hogy a Mars Nap körüli mozgásának periódusideje 687 nap. Tehát 687 naponként a Mars ugyanabban a térbeli helyzetben van. Válasszunk ki két, egymástól 687 napnyi „távolságban” lévő helyzetet a földpályán. Ha mindkét helyzetben megmérjük a Mars irányát, akkor a két irányvonal metszéspontja kijelöli a Mars pályája egyik pontját.

A fent említett szerkesztést sok esetben kell elvégezni, hogy minél több pont legyen az ismeretlen görbén.



7. ábra. A Mars pályájának szerkesztése a földpálya és a marsi keringési idő ismeretében.

A hosszú évekig tartó mérésorozatot nem Kepler végezte el, hiszen Brahe adatai rendelkezésére álltak, „mindössze” megfelelően csoportosítva kellett kiválogatnia a számára szükségeseket. Vagyis a 687 naponkénti adatpárokat kereste ki és megszerkesztette az egyes pontokat. Így kapta meg a pálya „nyomképét”, amelyből a bolygó pályára menti sebessége és annak változása is „látható” volt. (Az azonos időszakos végpontjaiban kapott pontok sűrűsége alapján.) Ez a magyarázata annak, hogy Kepler a róla elnevezett 2. törvényt hamarabb fogalmazta meg, mint az első.

Nem volt könnyű feladat megtalálni, hogy ezek a mérési eredmények milyen görbére illeszthetők. A kúpszeletekkel, így az ellipszissel már az ókori görögök is sokat foglalkoztak. Ezt a tudást felhasználva lehetett azonosítani a pálya alakját, mint ellipszist.

Ugyanakkor Brahe példájából az látható, hogy *hiába végez valaki rendkívül pontos megfigyeléseket, gyűjt össze nagyon sok tapasztalatot, csupán csak a mérési adatokból nem tud törvényszerűségeket kiolvasni*. Koestler igen szellemesen a következőt írja [11] (444. o.):

„Tudni kell használni az észleleteket; a nehézséget az okozza, hogy mikor vegyük figyelembe az egyiket, s mikor a másikat.”

Galileo Galilei

Galilei munkásságának két fő vonulata különíthető el, az első a csillagászat, a második a dinamika témaköréhez köthető. Mindkét esetben érdekes momentumok fedezhetők fel az oktatás számára is.

Galilei, a csillagász

Galilei volt az első, aki – 1609-ben – a csillagászati megfigyelésekhez távcsövet használt. Ennek 400. évfordulója a csillagászat éve volt. Galilei csillagászati megfigyelési módszerének újdonsága a nem szabad szemmel, hanem egy *műszeren keresztüli megfigyelés* volt, amely problémát vetett fel. A tapasztalatok befogadásához ugyanis nem csak csillagászati ismeretek voltak szükségesek, hanem a műszer működéséről való, esetünkben optikai ismeretek is (megfigyelési elmélet). Tudjuk a korabeli leírásokból, hogy többen belenézni sem voltak hajlandók Galilei távcsövébe,

mondván, az ott látható foltok nem az égen lévő objektumok leképeződései, hanem a műszerben keletkeznek.

Az eszköz segítségével olyan részleteket is – mint például azt, hogy a Tejút csillagok sokaságából áll – láthatott, amelyet addig nem lehetett megfigyelni. A Jupiter körül látott holdak helyzetének viszonylag rövid idejű, néhány napos megfigyeléssorozatából azok égi helyzetének megváltozása észlelhető volt. És ebből a tényből, mint *tapasztalatból*, Galilei azonnal levonta a *következtetést*: azok a Jupiter körül mozognak. Ráadásul rögtön tovább is gondolta, ha nem minden mozgás középpontja a Föld, akkor Kopernikusz-nak igaza lehet: a bolygók a Nap körül keringhetnek.

Galilei *Párbeszédekben* leírt modelljében csak Nap-középpontú koncentrikus körök szerepelnek, némi *tapasztalati* hivatkozással az oppozíciókra és a bolygók távcsővel megfigyelhető fázisváltozásaira [12]. Arra azonban ki sem tért, hogy ezek a tapasztalatok mással is, nem csupán a kopernikuszi modellel magyarázhatók. E megfigyelések, mint már említettük, a Brahe által használt modellel is értelmezhetők. Továbbá Kopernikusz matematikai modelljében sok epikiklus is szerepel, és nem egyszerűen a körök középpontjába képzelte el a Napot. A Kepler által felismert ellipszis alakú pályáról nem is beszélve, amelyet ismernie kellett, hiszen korábban leveleztek. (Kepler már nem élt, mire Galilei könyve 1632-ben megjelent.)

Vagyis Galilei könyvében egy igencsak *leegyszerűsített modellt* tárt az olvasók elé! A paradigmaváltás egy részét megtette, de a körköröség eszméjén nem tudott túllépní.

Galilei a dinamika „atyja”

Az arisztotelészi dinamika felváltásának egy fontos szakasza is Galilei nevéhez köthető, amely Newton munkássága során vált uralkodó paradigmává. A mozgásokkal kapcsolatban Galilei volt az, aki először leírt egy elvégezhető és feltehetően általa ténylegesen megvalósított kísérletet / méréssorozatot úgy, hogy részletesen leírta a körülményeket is, ahogyan ma egy tudományos közleményben elvárjuk [12].

A házi őrizetben írt könyvének harmadik fejezetében (Harmadik nap) *saját tervezésű eszközökkel* (állítható hajlásszögű hosszú lejtő, az időméréshez a kifolyt víz tömegének mérése) végzett méréssorozatok és az eredményül kapott *saját mérési eredmények* összefoglalása található, nem pedig egyszerű megfigyelések. Továbbá ezek függvénykapcsolat-jellegű összegzése, majd az $s(t)$ útfüggvény „levezetése” a feltételezett $v(t)$ sebességfüggvényből. Hibaszámításnak nyoma sincs, bár feljegyzései alapján tudjuk, hogy Galilei nem minden esetben kapott azonos mérési eredményeket. De a kapott számértékeket ő mégis mintegy „idealizálta”.³

³Galilei nyomában a Kopernikusz oldalon, a http://rad8012.members.iif.hu/index_elemei/kopernikusz.htm webhelyen lévő docx file-ban található több idézet a könyvből, a témához tartozó, *A lejtőn mozgó test* cím alatt, középiskolás szintű feldolgozási javaslatlalt.

Galilei úgy alkotta meg kísérleti/mérési eszközét, hogy abban minél kisebb szerepe legyen azon tényezőknél, amelyeket el akart hanyagolni. Tehát maga a kísérleti szituáció létrehozása, a jelenség előidézéséhez szükséges *berendezés megalkotása* már egy *modellalkotási folyamat* eredményének tekinthető.

Galilei fogalmazásában érdekesség a „természet szerinti” kifejezés használata – amely arisztotelészi maradványnak tekinthető –, miszerint minden testnek megvan a természetes helye és e felé „igyekszik”. Ezen nem kell csodálkozni, hiszen Galilei az arisztotelészi fizikát tanulta, sőt pályája kezdetén tanította is.

Mi tekinthető *tapasztalatnak* Galilei lejtős kísérletében?

A konkrét mérési eredmények? Vagy az időtől való négyzetes függés kimondása?

Véleményem szerint ez utóbbi már inkább a következtetés. Hiszen ennek kimondásához már matematikai ismeretek szükségesek, ezt le is vezette a sebesség-idő függvényből.

Marie Curie mérései

A korszak tudományos problémái a következők voltak

Honnan származik a Becquerel-féle sugárzás? Egyáltalán hányféle sugárzás van? Hogyan keletkezik az atomok színképe, és miért vonalas?

Becquerel megelégedett azzal, hogy az uránszurok-érc nyomot hagy a fényképezőlemezen akkor is, ha nem teszi ki a napsugárzásnak. Marie Curie ellenben a jelenséget szisztematikus vizsgálat tárgyává tette.

Marie Curie kutatási kérdései

Mely anyagok bocsátanak ki sugárzást? Mitől függ, hogy egy anyag mennyi sugárzást bocsát ki? Hogyan lehet azt mérhetővé tenni?

Mérési lehetőségek

A radioaktivitás felfedezését követően az első fontos probléma a különböző, *mennyiségi összehasonlításokra* lehetőséget adó *mérési módszerek* kidolgozása volt. A sugárzás erősségére például az általa a levegőben okozott elektromos vezetőképeség (ionizáció) mérése alapján lehet következtetni. Marie Curie módszere [13, 14]:

„Az alkalmazott módszer a levegőnek radioaktív anyagok behatolása alatt nyert elektromos vezetőképeségének lemerésében áll, ezen eljárás előnye, hogy gyorsan végezhető és hogy számokat szolgáltat, a melyek egymással összehasonlíthatók.”

Az *e célra konstruált „műszer”* lényegében egy lemezes kondenzátor volt. Az aktív anyagot az egyik lemezre – egyenletesen elosztatva, por alakban – viték föl. A kibocsátott radioaktív sugárzás vezetővé tette a lemezek közti levegőréteget. A mérési feladat ezután e vezetőképeség mérése volt. A rendkívül kicsi (pikoamper nagyságrendű) *áramok pontos mérésére* alkalmas mérőberendezést *Pierre Curie* készítette a fivérével közösen felfedezett piezoelektromosság jelenségének felhasználásával.

Tehát ebben az esetben sem lehetett egyszerű vizuális tapasztalatokra hagyatkozni, hiszen a *sugárzás maga nem is látható*, sőt egyéb érzékszervünkkel sem észlelhető, amely tényleges észlelési nehézséget jelent. A fényképezőlemez megfeketedésének észleléséhez azt elő kell hívni, így ez, mint műszer, kémiai ismereteket feltételez. A mennyiségi összehasonlítást lehetővé tevő eszköz megkonstruálásához tehát elektromosságtani és kristálytani ismeretek is szükségesek voltak (megfigyelési elmélet).

A fenti módszerrel Marie Curie egy sor fémét, sőt, oxidot és ásványt vizsgált meg. Cikkében és doktori értekezésében csak azon anyagokat foglalta táblázatba, amelyeknél sikerült kimutatni a jelenséget. A tapasztalatok megfogalmazásához és a következtetések levonásához segítségképp most nem táblázatosan, hanem ábrázolva közöljük a mért adatokat (8. ábra).

A mérési tapasztalatok összefoglaló leírása:

- Minden megvizsgált uránvegyület aktív volt, és általában annál aktívabb, minél több uránt tartalmazott.
- A tórium és vegyületei is emittálnak ionizáló sugárzást.
- Egyes uránércek aktivitása nagyobb, mint a fém uráné és uránoxidé.

Következtetések

A radioaktivitás atomi tulajdonság, az urán- és a tóriumatomok tulajdonsága. Mivel a radioaktivitás atomi tulajdonság, ezért egy érc aktivitása csak akkor lehet nagyobb, mint a tiszta uráné, ha az érc más radioaktív elemet is tartalmaz.

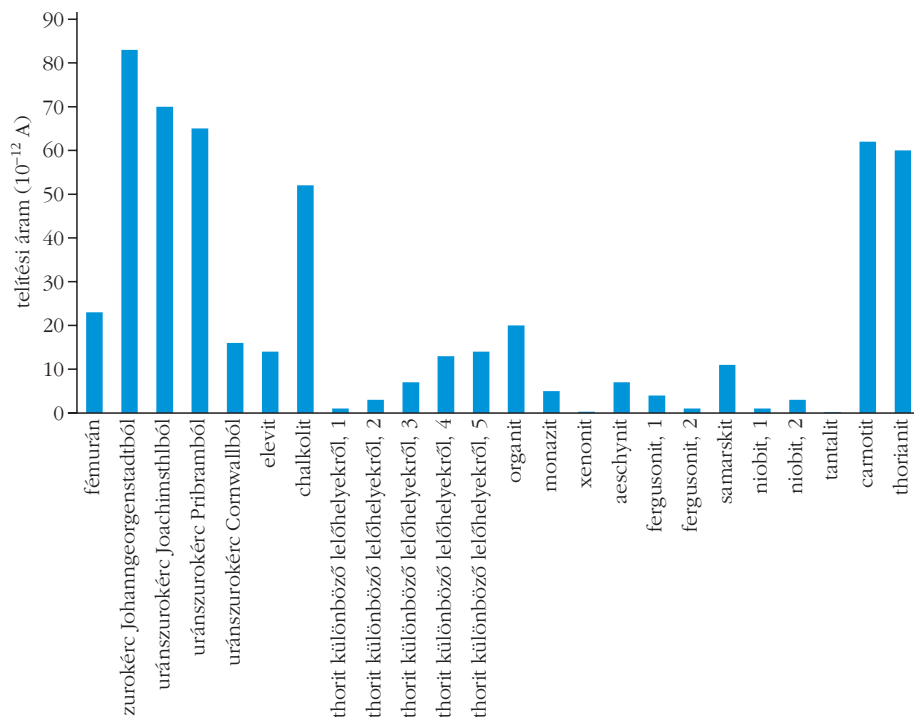
További kutatások a kapott eredmények alapján

Marie Curie fontos, további kutatási feladatnak tekintette, hogy ezeket az új elemeket megtalálja.

A további kutatások irányát kijelölő hipotézis

„... úgy gondoljuk, hogy az uránszurokércből általunk kivont anyag olyan fémét tartalmaz, amelyet eddig még nem írtak le...” [14].

A fent megfogalmazott hipotézis teljes mértékben illeszkedett a korszak tudományos gondolkodásához. Elfogadott volt, hogy *Mengyelejev* (ekkor még élt) periódusos rendszerében vannak üres helyek, amelyekbe addig még fel nem fedezett elemek kerülhetnek. És mint tudjuk, a polónium és rádium felfedezése a Curie-család érdeme.



8. ábra. Marie Curie mérési adatai.

Összefoglalás

Jelen írásban a tudományos ismeretszerzés módszerével foglalkoztam történeti kontextusban, néhány konkrét példát elemezve, amely reményeim szerint hozzájárulhat a fizikaoktatás mai körülmények közti újragondolásához.

Irodalom

1. NAT 2020. *Magyar Közlöny* 2020. évi 17. szám.
2. Kerettantervek 2020. *Oktatási Hivatal* https://oktatas.hu/koznevels/kerettantervek/2020_nat
3. 2021 évi fizika érettségi feladatsorok közép- és emelt szinten https://oktatas.hu/koznevels/erettsegi/feladatsorok/kozepszint_2021tavasz/kozep_12nap https://oktatas.hu/koznevels/erettsegi/feladatsorok/emelt_szint_2021tavasz/emelt_12nap
4. Holtzer Péter, Szamány Csaba, Szalay Luca: Mi a kémiaoktatás valódi problémája – avagy hová lettek a kémiaatanárok? *Magyar Kémikusok Lapja* LXXVI/4 (2021) 117–122.
5. Korom Erzsébet, Radnóti Katalin (szerk.): *Gondolkodtató természettudomány-tanítás: Fizika*. MTA–SZTE Természettudomány Tanítása Kutatócsoport, Mozaik Kiadó, Szeged (2020)
6. Simson Ndadaleka Shaakumeni: *Development, adaptation and validation of instruments for assessing Namibian students' beliefs about nature of science*. PhD értekezés, Szeged (2020)
7. Hobson, Art: *Physics Concepts and Connections*. Upper Saddle River, New Jersey (1998)
8. Hobson, Art: Mindenki számára „releváns” fizika. *Fizikai Szemle* 48/5 (1998) 177. <http://www.epa.oszk.hu/00300/00342/00101/hobson.html>
9. Nahalka István: A gyermektudomány elemei a fizikában. In: Radnóti Katalin, Nahalka István (szerk.): *A fizikatanítás pedagógiája*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest (2002) 159–188. http://members.iif.hu/rad8012/fizika/fizikatanitas_pedagogiaja.pdf
10. Simonyi Károly: *A fizika kultúrtörténete*. Gondolat Kiadó, Budapest (1978)
11. Koestler, Arthur: *The Sleepwalkers*. Hutchinson and Co., London (1959). Magyarul: *Alvajárók*. (fordította: Makovecz Benjamin) Európa Kiadó, Budapest (1996)

12. Galilei, Galileo: *Párbeszéddek. A két legnagyobb világrendszerről a ptolemaiosziról és a kopernikusziról.* (fordította: M. Zemplén Jolán) Kriterion Könyvkiadó, Bukarest (1983)
Galilei, Galileo: *Matematikai érvelések és bizonyítások két új tudományág, a mechanika és a mozgások köréből.* (fordította: Dávid Gábor) Európa Könyvkiadó, Budapest (1986)
13. Skłodowska Curie, Marie: *Radioaktív anyagokra vonatkozó vizsgálatok.* (fordította: Zemplén Győző) Franklin Társulat, Budapest, 1906.

14. Curie, P., Curie, Mme P.: Sur une substance nouvelle radio-active, contenue dans la pechblende. (Az uránszurokérc egyik radioaktív anyagáról.) *Compt. Rend.* 127 (1898) 175.
Curie, P., Curie, Mme P., Bémont, G.: Sur une nouvelle substance fortement radio-active, contenues dans la pechblende. (Beszámoló egy új, erősen radioaktív anyagról, amely az uránitben található.) *Compt. Rend.* 127 (1898) 11215.
<http://www.kfki.hu/chemonet/hun/olvaso/histchem/viz/curie.html>

HÍREK – ESEMÉNYEK

IDÉN LETT VOLNA 75 ÉVES, DE MÁR 10 ÉVE NINCS KÖZÖTTÜNK KAJCSOS ZSOLT

Kajcsos Zsolt 1970-ben végzett az ELTE fizikus szakán. Ezt követően, 2011-ben tragikusan hirtelen bekövetkezett haláláig az MTA Központi Fizikai Kutatóintézetben, majd annak egyik jogutódjában, az MTA KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézetében dolgozott, 2003 és 2010 között az intézet igazgatóhelyettese volt.

Kutatási területe különleges magfizikai kísérleti módszerek, és azok közül is kiemelten a pozitronannihilációs spektroszkópia és a Mössbauer-spektroszkópia különböző változatainak fejlesztése, a módszerek szilárdtestek, felületek, amorf, kristályos és porózus anyagok tulajdonságainak és a bennük lejátszódó fizikai folyamatok vizsgálata volt. Szakmai kiválósága és az együttműködések létrehozásában megnyilvánuló kivételes képessége számos rangos külföldi meghívást is eredményezett. Nevéhez fűződik többek között az időfüggő Mössbauer-spektroszkópia létrehozása a mainzi Gutenberg Egyetemen, majd azzal a Co/Fe Mössbauer-átmenet-hez kapcsolódó töltésátadási és relaxációs folyamatok vizsgálata, a jülichi KFA Szilárdtest-fizikai Intézetében pedig a konverziós elektron Mössbauer-spektrométer kifejlesztése, amelyet mágneses vékonyrétegek és felületek felületérzékeny, mélységfüggő vizsgálatára használt. Gyakori vendége volt a Coimbrai Egyetemen, amely külső professzori címmel tüntette ki. A magyar fizika hírnevét is öregbítette azzal, hogy megszerezte Magyarország számára az ICPA-9 konferencia (9th International Conference on Positron Annihilation, Szombathely, 1991) rendezési jogát, amelynek elnöke is volt. Szervezőképességének és diplomáciai érzékének ékes bizonyítéka, hogy sikerült díszven-

dégnék és előadónak megnyernie *Teller Ede* professzort, aki akkoriban romló egészségi állapota miatt már csak egészen kivételes esetben vett részt nemzetközi konferencián.

Szakmai elismertségét és a nemzetközi együttműködésekben szerzett tapasztalatait az európai tudományos diplomácia színterén is hasznosította. Különösen jelentős szerepe volt az EU Co-operation in Science and Technology (COST) különböző vezető testületeiben. A testületi tudományos diplomácia mellett külső szakmai értékelője volt egy sor EU pályázatnak, amelyek sorából is kiemelkedik az Európai Kutatási Tanács (ERC) két nagy presztízsű, millió eurós nagyságrendű támogatásokat adó pályázati felhívására, az ERC Starting Grant és az ERC Advanced Grant felhívásokra benyújtott pályázatok bírálatában való részvétele.

Kiváló érzéke volt az emberi kapcsolatok építéséhez. Közösségben szeretett dolgozni. Tisztelte, igényelte és nagyra becsülte a vele dolgozók tudását, munkáját. Kitüntetésnek vette és támaszkodott is mérnök munkatársainak közreműködésére, segítségére, és ragaszkodott ahhoz, hogy a tudományos közleményeken az ő nevük is szerepeljen.

Szeretettel méltó ember volt, aki gyermeki örömmel és apai büszkeséggel tette nemzetközileg ismertté imádott kislánya összefogódzó pozitron–elektron párt ábrázoló kedves rajzát.

Születésének 75. és halálának 10. évfordulóján ezzel a rövid írással emlékezzünk Rá!

Szőkefalvi-Nagy Zoltán

ELKH Wigner Fizikai Kutatóközpont



»BONIS BONA – A NEMZET TEHETSÉGEIÉRT« ÉLETMŰDÍJAT KAPOTT KOVÁCS LÁSZLÓ ÉS VARGA BALÁZS DOMOKOS

A bonis bona discere, azaz jótól jót tanulni – tartja a latin közmondás. Ennek szellemében, négy kategóriában összesen 54 díjazott személy vehette át 2021. szeptember 9-én a „Bonis Bona – A nemzet tehetségeiért” díjat a Budapest Music Centerben megrendezett gálán. A különösen rangos „Életműdíj” három kitüntetettje közül kettő fizikatanár kollégánk volt.

Kovács László

Matematika–fizika tanári oklevelét az ELTE-n szerezte 1965-ben. A KLTE-n doktorált (1972), a fizikai tudomány kandidátusa lett (1988), habilitált (2000). A nagykanizsai Landler Gimnázium tanára (1965–1983) és igazgatóhelyettese volt (1968–1973). 1970-ben elindította a Zemplén Győző Országos Fizikaversenyeket. 1973-tól 1995-ig fizikai diákolimpiai szakkörök vezetőjeként három megye legkiválóbb tanulóit képezte. Tanítványai sorban nyerték a *KöMaL* kísérleti pályázatokat. A letehetségesebbeket az eszközépítésben és cikkek írásában munkatársakká nevelte. Sokan az ő hatására lettek sikeres matematika–fizika tanárok, illetve egyéb rokon területek kiváló szakemberei. 1983-ban megalapította a Szombathelyi Tanárképző Főiskola Fizika Tanszékét. A pécsi Öveges József Általános Iskola által 1999-től évenként megszervezett Öveges-versenynek Kovács László tanár úr a védnöke és kísérletbemutatója. Tanártovábbképzéseken, nemzetközi konferenciákon számos előadást tartott, rengeteget publikált. Jelentősebb elismerései: Fizikai Szemle díj (1972), Mikola Sándor-díj (1973), Pápai Egyetem ezüst Volta-érme (1999), Eötvös-érem



Kovács László az életműdíjjal.¹

(1999), Rátz László Tanár Úr Életműdíj (2012), In memoriam Gábor Dénes-díj (2016), Pécsi Önkormányzata *Kovács László-díjat* alapított (2018), Marx György Felsőoktatási Életműdíj (ELFT 2020).

Varga Balázs Domokos

Pályakezdő kora óta a Budapest V. Kerületi Eötvös József Gimnázium meghatározó pedagógusa. Kiváló tanári munkájával felkeltette az érdeklődést a fizika iránt, így csoportjaiból mindig kiválasztott eredményesen versenyző, illetve *KöMaL* feladatokat megoldó diákokat. A gimnázium 30 éve működött nyári tehetséggondozó tábor, amelynek meghatározó személyisége. Korábban a tábor vezetőjeként, az utóbbi években a fizikaszekció irányítójaként dolgozott/dolgozik benne. A táborban új kísérleti eszközöket is terveznek és próbálnak ki. Minden évben maga köré gyűjtötte a fizika iránt érdeklődő diákokat és szakkörön is segítette fejlődésüket. 2014 óta nyugdíjas, de visszajár: óraadó tanárként fakultációt tart, szakkört vezet, segíti a tehetséggondozást, amelynek eredményességét az utóbbi tanévekben a diákjai által elért versenyhelyezések is bizonyítják. 2019-ben egyik tanítványa 1. helyet ért el a fizika OKTV-n, 2020-ban 26., 2021-ben 11. helyezést szerzett egy-egy diákja. Ma már három volt tanítványa dolgozik az Eötvös Gimnáziumban fizikatanárként. A pálya csökkenő vonzereje miatt ez különösen kiemelkedő teljesítmény.

Varga Balázs Domokos a friss Bonis Bona-díjas.



¹A díjátadásról további képek a <https://ntk.hu/atadtak-az-idei-bonis-bona-es-tehetsegbarat-onkormanyzat-dijakat-honlapon-talalhatok>.

AZ EÖTVÖS LORÁND FIZIKAI TÁRSULAT 2021. ÉVI KÜLDÖTTGYŰLÉSE

Az ELFT 2021. szeptember 4-én tartotta meg Küldöttgyűlését az ELTE TTK Eötvös-termében. A hagyományos napirend előtti előadást *Sólyom Jenő*, a Társukat elnöke tartotta néhány kerek évfordulóról és az idén elhunyt fizikusokról megemlékezve, majd megnyitotta a Küldöttgyűlést. Megállapította, hogy a gyűlés határozatképes. Elmondta, hogy a Társulat jelenleg érvényes Alapszabályát a 2019-es Vándorgyűlésen fogadta el. A Covid-19 világjárvány okozta változások miatt felmerült, hogy változtatni kellene rajta, de személyes véleménye szerint erre nincs szükség. Az új Elnökségnek egy bevált, jól működő Alapszabályt adnak át, és az Ügyrendet is 2020 februárjában fogadta el az Elnökség, így bízunk abban, hogy ezek segítségével továbbra is rendezetten tud működni a Társulat. Egy dolog maradt függőben, ez pedig a Csodák Palotájával való kapcsolat. Ez az intézmény önállóan működik, ám a Társulatnak a felügyeletével kapcsolatban van szerepe. A különböző pénzügyi változások miatt a Társulat részesedése egyre kisebb lett, de formálisan megmaradt a beleszólási jogunk. Végül is az Elnökség úgy döntött, hogy meg kell szüntetni az BSC Alapítványt, a bíróság ezt már ki is mondta, de az anyagi vonatkozások rendezése még nem történt meg a járvány miatt, és az sem volt világos, hogy a Csodák Palotája a továbbiakban működni fog-e egyáltalán. Ezzel a függőben maradt helyzettel majd foglalkozni kell, minden más le van zárva. A most lezáruló 4 éves időszaknak volt része az is, hogy az Eötvös Társulat szélesebb körben igyekezett nyitni két irányba. Egyrészt az iparban dolgozó fizikusok felé, ennek köszönhetően létrejött az Ipari Fizikusok csoportja. Reméli, hogy ez működni fog, mivel az iparban dolgozó fizikusok valóban fontos szegmense a fizikus társadalomnak. A másik irány a fiatalok, egyetemisták bevonása a Társulat életébe. Úgy érzi, hogy ezen a területen nem voltak sikeresek, ezen meg kell próbálni változtatni.

2019-ben nagyon fontos esemény volt a Vándorgyűlés. Az új Elnökségnek a következő Vándorgyűlés megszervezése lesz az egyik fontos feladata 2022-ben. Azt reméli, hogy ebben az évben már a szokásos módon be tudnak indulni a rendezvények és a következő évtől, akár helyre is állhat a régi állapot. A Társulat életében újjászületésnek kell bekövetkeznie, hiszen nagyon sok minden hibernálódott e másfél évben, ezek felélesztése, amennyiben a járványhelyzet megengedi, kiemelt fontosságú.



Vesztéseinkre emlékezett a Küldöttgyűlés.

Főtitkári beszámoló

A napirend, a szavazatszámológok és jegyzőkönyv-hitelesítők elfogadása után következett *Groma István főtitkár beszámolója*, aki először a gazdálkodásról beszélt. A 2020-as év gazdasági szempontból rendkívül gyenge volt, a tagdíjakból és a személyi jövedelemadók 1%-ából származó bevétel az előző évhez képest közel 6 millió forinttal csökkent, így a tárgyévi eredmény mindössze 79 000.- Ft volt. Még rosszabbnak ígérkezik a 2021-es év, amikor a Társulat költségterve -2 585 eFt hiányt tartalmaz. Ha még idén vissza tudunk térni a normális kerékvágásba, akkor remélhetőleg ezt a hiányt 1 vagy 2 év alatt le fogjuk tudni dolgozni.

Fontos megemlíteni, hogy a Covid hullámai alatt a Társulat nagyon nehéz anyagi helyzetbe került, hiszen bevételeire gyakorlatilag nem tett szert. A bevételek egy igen nagy részét a *Fizikai Szemle* adja, amelyet a tagok tagdíj fejében kapják.

Groma István ezután az ELFT közhasznú tevékenységéről számolt be az alapcél szerinti tevékenységi területeknek megfelelően:

Tudományos tevékenység, kutatás

A tudományos tevékenység és kutatás területén az alapvető cél a tudományos eredmények közzétételének, azok megvitatásának színteret adó tudományos konferenciák, iskolák, előadások, valamint más tudományos rendezvények szervezése és lebonyolítása, amit a tavalyi évben a COVID-19 járvány erősen megnehezített. A rendezvények egy kis részét sikerült lebonyolítani, például Online Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam, egyes szemináriumok.

Az alábbi tudományos rendezvények maradtak el:

– Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam (2020 áprilisában lett volna Hajdúszoboszlón)



A mindig segítőkész Titkárság: Soós Hajnalka és Pónya Melinda.

– Fizika Mindenkié rendezvény (2020 áprilisában lett volna országos szinten)

– Fizikus Doktoranduszok Országos Konferenciája (2020 májusában lett volna Balatonvilágoson)

A területi és szakcsoportok által szervezett előadások, szemináriumok nagy része is csak online került megrendezésre.

Szakmai folyóiratok, kulturális örökség megóvása

– A Társulat hivatalos folyóirata az 1951 óta havonta megjelenő *Fizikai Szemle* a 2020. évben a 70. évfolyamába lépett. A Társulat tagjai a tagdíj fejében kapják a folyóiratot. Egyre több tagunk választja az elektronikus kiadást (493 fő).

A *Fizikai Szemle* honlapját folyamatosan bővítjük, fejlesztjük. 2018-tól megtalálhatók a *Fizikai Szemle* honlapján – a <http://fizikaiszemle.hu/mellekletek> címen – a csak interneten keresztül elérhető anyagok. Ezzel lehetőséget adunk például prezentációk, képek, videók stb. közzétételére.

A Covid-19 járvány miatti iskolazárások időszakában, a tanárok és tanulók helyzetének segítésére az interneten szabadon hozzáférhetővé tettük a *Fizikai Szemle* valamennyi megjelent anyagát.

– A Középiskolai Matematikai és Fizikai Lapok társtulajdonosaként részt veszünk a folyóirat megjelentetésében.

– Kulturális örökségünk megóvása részeként rendszeresen koszorúzzuk fizikus nagyjaink síremlékeit. 2020-ban a járványhelyzet miatt ezekre sajnos nem kerülhetett sor.

Tehetséggondozás, képességfejlesztés, ismeretterjesztés

A Társulat versenyei megmérettetési lehetőségeket kínálnak a fizika iránt érdeklődő általános iskolás diákoktól kezdve az egyetemi oktatásban részt vevő hallgatókig.

– A Társulat az alábbi országos és helyi fizikaversenyeket szokta megrendezni: Öveges József-, Eötvös Loránd-, Ortvy Rudolph nemzetközi, Szilárd Leó-, Mikola Sándor-, Bay Zoltán-, Budó Ágoston-, Hatvani István-, Lánosz Kornél-fizikaversenyek, valamint a Varázstorony vetélkedő. 2020-ban a járványhelyzet

miatt ezen versenyek nagy részét sem lehetett megtartani. Segítettük a felkészítő tanárok munkáját az Ifjú Fizikusok Nemzetközi Versenyére, amely szintén korlátozott lehetőségekkel valósult meg.

– A Társulat Tehetségpontja alkalomszerűen tart foglalkozásokat gyermekeknek. 2020-ban sajnos ezek a foglalkozások is elmaradtak.

Köznevelés, tanártovábbképzés

– A tanártovábbképzés a Társulat oktatási szakcsoportjai, valamint területi csoportjai szervezésében folyik. Az Oktatási Szakosztály 2020-ban is megszervezte az akkreditált továbbképzésként elismert *Országos Fizikatanári Ankét és Eszközbemutatót*, amelyet Vácon tartottunk volna meg 150 tanár részvételével, de a járvány miatt sajnos ez is elmaradt. Reméljük, hogy idén – a többi rendezvénnyel együtt – ezt is sikerül pótolni.

Az Ankét új ismeretek megszerzésének lehetőségét, módszertani segítséget, valamint tapasztalatcserét kínál a tanárok számára. Ezen kívül bemutatathatják a saját maguk által készített eszközöket is.

– A fizikának és általában a természettudományoknak a közoktatásban betöltött szerepével kiemelten foglalkozunk.

– MyDAQ pályázatot hirdettünk meg fizikatanároknak a National Instruments Hungary-val közösen. Az adminisztrációs feladatokat a Társulat látta el.

– Az Ericsson-díjjal, valamint a Rátz Tanár Úr Életműdíjjal jutalmazott fizikatanárok kiválasztását a Társulat ezzel foglalkozó díjbizottsága végezte.

A 2020. évben társulati díjjal jutalmazottak névsora: Prométheusz-díjat *Jarosievitz Beáta*, Bozók László-díjat *Deme Sándor*, Budó Ágoston-díjat *Lenk Sándor*, Jánossy Lajos-díjat *Pásztor Gabriella*, Gyulai Zoltán-díjat *Temleitner László*, Schmid Rezső-díjat *Kutasi Kinga*, Marx György Felsőoktatási-díjat *Kovács László*, *Fizikai Szemle* Nívódíját *Bokor Nándor* és *Patkós András*, Mikola Sándor-díjat *Szabó László Attila* és *Tóth Pál* érdemelte ki.

Groma István végül megköszönte a Titkárság egész éves munkáját.

A Felügyelő Bizottság jelentése

A főtitkári beszámoló után *Theisz György* ismertette a *Felügyelő Bizottság jelentését* a Társulat 2020. évi működéséről. A jelentés egyebek között megállapítja, hogy a beszámolási időszakban jutott a Csodák Palotája helyzetének rendezése abba a fázisba, hogy a Társulatlak e kérdésben már nincs teendője. A BSC Alapítvány elérte az alapítók célját, ezért megszűnik. Ezzel a Csodák Palotája és a Társulat között is megszűnik mindenféle szervezeti kapcsolat. A Felügyelő Bizottság felhívja a megválasztandó új vezetés figyelmét arra, hogy a kialakult helyzetben felmerülhetnek tisztázatlan – nem vagyoni – kérdések (névhasználat, a történet értelmezése, esetleg valamiféle együttműködés), amelyeket célszerű volna mihamarabb tisztázni.

A Felügyelő Bizottság a Társulat – azon belül az Elnökség és a Titkárság – működését jogszerűnek ítélte meg, a pénzügyi-gazdasági tevékenységét szabályszerűnek minősítette. Ennek alapján az Elnökség pénzügyi-gazdasági beszámolóját és a 2021. évi pénzügyi tervét elfogadni ajánlja.

A Felügyelő Bizottság most készített jelentése szerint az Elnökség a járványhelyzet kezelésében az aktuális jogrend szerint járt el, így – a Felügyelő Bizottság e jelentésével együtt – ezt az eljárást is elfogadásra ajánlja.

Vita és hozzászólások

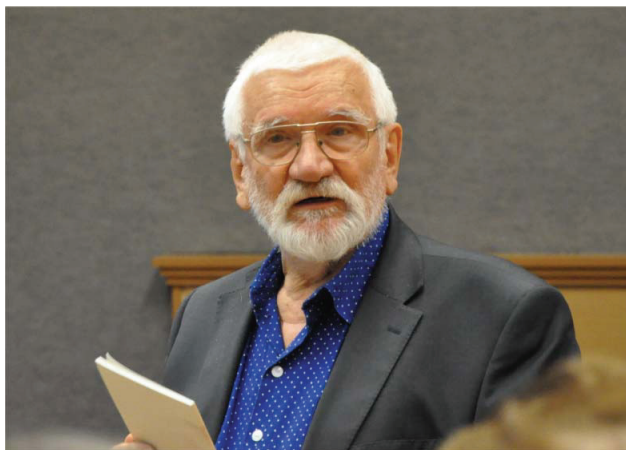
A beszámolókról szóló vita megnyitása után a főtitkári beszámolót a küldöttgyűlés egy tartózkodással elfogadta. A Küldöttgyűlés egyhangúlag elfogadta a Felügyelő Bizottság jelentését is. Ezzel a Küldöttgyűlés tudomásul vette azt az eljárási rendet, hogy az Elnökség beadta a beszámolót és most a Küldöttgyűlés megerősítette azt, hogy az Elnökség szabályszerűen járt el májusban.

Sólyom Jenő ezután megkérdezte, hogy van-e valakinek kérdése, megjegyzése a Társulat tevékenységével kapcsolatban. Elmondta, hogy Társulatunk könyvet adott ki *Wigner Jenő* magyarországi látogatásairól, illetve tudományos tevékenységéről. A könyvet köszönjük *Mibály Katalinnak*, *Lévai Péternek*, *Kormos Istvánnak* és *Kármán Tamásnak*.

Kádár György hozzászólásában ugyancsak egy könyv megjelenéséről szólt. *Bay Zoltán* – kinek tavaly ünnepeltük születése 120. évfordulóját – legfontosabb kísérlete a Hold-radarviszhang volt. A Bay Zoltán Tudomány- és Technikatörténeti Alapítvány 2020. november 13-án konferenciát szervezett a kerek évforduló okán. Az itt fellépő körülbelül 10 előadó az előadásokról elkészítette az írott anyagot és ez jelent meg könyv formájában. A könyvekből hozott magával és bárki ingyen elvehette.

Groma István előrevetítette, hogy ebben az évben sajnos semmilyen anyagi támogatást sem fogunk tudni adni a szakcsoportoknak/szakosztályoknak, hiszen a Társulat anyagi helyzete ezt nem teszi lehetővé.

Kádár György a Bay Zoltánról szóló könyvvel.



Szavaznak a küldöttek.

Móróné Tapody Éva: évek óta tapasztaljuk a létszám csökkenést, aminek megállítása csak új tagok bevonásával lehetséges. Arra kérdésre kell tudnunk jó választ adni, hogy miért érdemes a Társulat tagjának lenni.

Harmat Péter: kívülről nézve 2-3 terület a Társulat húzóereje, bízunk benne, hogy a középiskolások és az egyetemisták bevonása az ipari fizikába segíthet egy újabb, fiatalabb csapat létrehozásában.

Sólyom Jenő megköszönte a hozzászólásokat. Mivel további hozzászóló nem jelentkezett, a napirendi pontot lezárta.

Az Elnökség visszaadja a megbízatását a Küldöttgyűlésnek

Sólyom Jenő, a Társulat leköszönő elnöke azzal adta vissza a mandátumát, hogy ő is megköszönte a Társulat Titkárságának segítségét az elmúlt négy év folyamán. Kérte a Küldöttgyűlést, hogy fogadja el a mandátum visszaadását, és megkérte *Rácz Zoltánt*, a Jelölőbizottság elnökét, hogy mostantól kezdve ő vezesse tovább az ülést. A régi elnökségnek egy feladata lesz még, a társulati díjak átadása.

A Jelölőbizottság előterjesztése és az új tisztségviselők megválasztására

Rácz Zoltán ismertette a Jelölőbizottság javaslatait, majd titkos szavazással megválasztották az új tisztségviselőket. Ezután rövid szünet következett a szavazatszámolás idejére. A szünet után *Rácz Zoltán* a 44 beérkezett szavazócédula alapján kihirdette a szavazás eredményét.

A Küldöttgyűlés egyhangúlag megszavazta Sólyom Jenőt tiszteletbeli elnöknek.

Az új elnök *Ormos Pál* 43 igen szavazattal, alelnök *Oláh Éva* egyhangú szavazattal, főtitkár *Groma István* egyhangú szavazattal. A Felügyelő Bizottság: *Deme Iлона*, *Zubonyainé Pelka Zsuzsanna*, *Katona Gábor*, *Vida Ádám*, *Merkel Dániel*. Elnökségi tagok: *Nagy Anett*, *Sükösd Csaba*, *Pántyáné Kuzder Mária*, *Fülöp Zsolt*, *Újfalu Balázs*, *Varga István*, *Pesznyák Csilla*.



A Marx György Felsőoktatási-díjat Farkas Zsuzsanna a leköszönő elnöktől, Sólyom Jenőtől veszi át.

Társulati díjak

A szavazatszámllálásra beiktatott szünet adott alkalmat a Társulat 2021. évi díjainak átadására. A 2021-es díjakat a Díjbizottság elnöke, *Kamarás Katalin* és Sólyom Jenő adta át.

A Társulat legnagyobb kitüntetését, az ELFT érmet (posztumusz) az idén év elején elhunyt *Tichy Géza-nak* ítelték.

JÁNOSSY LAJOS-DÍJ: *Csanád Máté* (ELTE Atomfizikai Tanszék) kutatásainak középpontjában a nagyenergiás ütközésekben keletkező anyag téridőbeli szerkezetének vizsgálata áll. Elméleti eredményeit a brookhaveni PHENIX együttműködés keretében mérések is alkalmazták.

DETRE LÁSZLÓ-DÍJ: *Frey Sándor* (Földmérési és Távérzékelési Intézet) kutatócsoportjával 2003-tól kezdve a legnagyobb felbontást nyújtó nemzetközi rádiócsillagászati interferométeres (VLBI) hálózatok segítségével feltérképezte az Univerzum legtávolabbi ismert (újonnan felfedezett, $z \sim 6$ vöröseltolódás fölötti) rádiósugárzó aktív galaxismagjainak (kvazárjainak) parszek skálájú szerkezetét.

Ormos Pál, a Társulat új elnöke.



GYULAI ZOLTÁN-DÍJ: *Makk Péter* (BME Fizika Tanszék) nagy tisztaságú grafén áramkörök vizsgálatában úttörő szerepet játszott. Számos új technika kifejlesztésében is tevékeny szerepe volt, amiket például molekuláris elektronikában széleskörben alkalmaznak napjainkban, vagy amivel kétdimenziós van der Waals heterostrukturákból kialakított áramköröket lehet mechanikai feszültség alatt vizsgálni. Fiatal kora ellenére az európai 2D nanoelektronika közösség meghatározó alakja.

SCHMID REZSŐ-DÍJ: *Koltai János* (ELTE TTK Biológiai Fizika Tanszék) sűrűségfüggvény-elméleten alapuló kvantumkémia programok (elsősorban VASP és Gaussian) segítségével különböző anyagokat – főként szén nanoszerkezeteket (fullerén, kubán, grafén, nanocsövek, nanobambusz) vizsgált. A geometriák, elektronikus sáv szerkezetek kiszámolásán kívül elsősorban a rezgési tulajdonságok meghatározása a fő szakterület.

GOMBÁS PÁL-DÍJ: *Palotás Krisztián* (Wigner FK SZFI) több saját fejlesztést végzett a kvantummechanikai alagúteffektuson alapuló pásztázó alagútmikroszkópi és -spektroszkópi (STM/STS) elméleti és szimulációs módszereken. Ezek felhasználásával anyagi felületek széles spektrumát vizsgálta, kiemelt tekintettel azok mágneses és fizikai-kémiai tulajdonságaira, és számos jelentős hozzájárulása volt kísérleti STM/STS eredmények elméleti értelmezéséhez.

NOVOBÁTZKY KÁROLY-DÍJ: *Szép Zsolt* (MTA–ELTE) jelentős eredményeket ért el a kölcsönható részecske-rendszerek termodinamikai fázisainak meghatározásában, elsősorban különféle felösszegezési és renormálási eljárások kidolgozásával, paraméterezésével és numerikus eljárások fejlesztésével.

MARX GYÖRGY FELSŐOKTATÁSI-DÍJ: *Farkas Zsuzsanna* (SZTE JGYPK Ált. és Körny. Fizika Tanszék)

PROMÉTHEUSZ-DÍJ: *Horváth Ákos* (ELTE Atomfizika Tanszék)

FIZIKAI SZEMLE NÍVÓDÍJ: tanítás kategóriában *Ujfalu-di László* (Eszterházi Károly Tanárképző Főiskola), általános kategóriában *Veszprémi Viktor* (Wigner FK).

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat az általános iskolai oktatási szakcsoport kezdeményezésére két emlékdíjat alapított. Idén mind a CSÁKÁNY ANTALNÉ EMLÉKDÍJAT, mind a RÓNASZÉKI LÁSZLÓ EMLÉKDÍJAT *Horváth Norbert*, a Baár-Madas Református Gimnázium, Általános Iskola és Kollégium tanára kapta.

A Társulat új elnökének zárszava

Ormos Pál megköszönte a megtisztelő bizalmat, és elmondta, hogy minden erejével azon lesz, hogy ezt a nagy hagyományú Társulatot jó irányba vigye tovább. A most leköszönő Elnökség kiváló munkát végzett, bízik benne, hogy továbbra is jó munkakapcsolat marad köztük. Ami működik, azt nem kell megváltoztatni. Látja, hogy vannak teendők, bízik benne, hogy a járvány következő hulláma már nem lesz ennyire leújtó a Társulatra nézve.

HUMOR A TUDOMÁNYBAN, TUDOMÁNY A HUMORBAN

Horváth Dezső
Wigner FK

Mottó: *Általános szabály, hogy az okos ember hülyéskedik, 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.

Nagy emberek anekdotái, mondásai

Vannak nagy tudósok, akikhez rengeteg legenda és szellemes mondás fűződik. Közülük is kiemelkedik *Richard Feynman*, a Nobel-díjas univerzális tudós, aki a vele évekig együtt dolgozó, ugyancsak Nobel-díjas *Murray Gell-Mann* szerint óriási energiát fektetett anekdoták és legendák gyártásába saját magáról. Sok ilyen olvasható „Tréfál, Feynman úr?” című könyvében.

Paul A. M. Dirac

Dirac a váróteremben ülve a vele szemben kötögető hölgy kezét figyelte. Otthon eldicsekedett vele, hogy kidolgozott egy sokkal racionálisabb módszert, mire a felesége, miután meghallgatta az új módszert: – Gratulálok, kitaláltad a lusta kötést!

„Talán leírhatjuk a helyzetet úgy, hogy Isten nagyon magas rendű matematikus és nagyon haladó matematikát használt a világ felépítéséhez.”

„Azt hiszem, értem az egyenletet, amikor meg tudom jósolni az eredmény tulajdonságait anélkül, hogy igazából megoldanám.”



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.

„Ha fogékony vagy és szerény, a matematika kézen fogva fog vezetni.”

Stephen Hawking

„Valami újdonság kell. Nem tudjuk, mi az, mert ha tudnánk, már megtaláltuk volna.”

„A számítógépvírust új életformának kell tekintenünk. Azt hiszem, mond valamit az emberiségről, hogy az egyetlen életforma, amelyet tényleg mi teremtettünk, tisztán romboló. Saját képünkre teremtettük.”

Leon Lederman

„Gyorsító: a részecske energiáját növelő berendezés. Mivel $E = mc^2$, a gyorsító csak nehezíti a részecskét.”

„Kísérleti fizikus: fizikus, aki kísérletet végez. Elméleti fizikus: fizikus, aki nem végez kísérletet.”

„Fiatalember, ha meg tudnám jegyezni annak a rengeteg részecskének a nevét, botanikusnak mentem volna.” (*Enrico Fermi*, Lederman szerint)

Niels Bohr

„A jóslás bonyolult dolog, főleg ha a jövőről van szó.”

„Ha nem döbbsen meg a kvantummechanika, nem is igazán értem.”

„Minden, amit valóban létezőnek tartunk, olyasmiből áll, ami nem tekinthető létezőnek.”

„Tévedsz, ha azt hiszed, a fizika a Természetről szól. A fizika arról szól, hogy mi mit mondunk a Természetről.”

Tanítványai a háza kapujára szögezett szerencsét hozó lópatkót látva megkérdezték: – Professzor úr hisz e babonában. Mire Bohr: – Én ugyan nem, de a állítólag azoknak is használ.

Ernest Rutherford

„El kell ismernem, hogy igencsak váratlan volt, és megdöbbsenem, hogy átalakultam vegyészé.” (Amikor megtudta, hogy megkapta az 1908. évi kémiai Nobel-díjat.)

„A tudományos kutatás vagy fizika, vagy csak bélyeggyűjtés.”

„Nem ér semmit az az elmélet, amelyet egy pincérnek nem lehet elmagyarázni.”

Richard P. Feynman

„Ha meg tudnám magyarázni az átlagembernek, nem ért volna Nobel-díjat.” (Ez éppen az ellenkezője annak, amit Rutherford mondott.)

„Nem tudom megfogalmazni, mi az igazi probléma, tehát lehet, hogy nincs is valódi probléma, de abban sem vagyok biztos.”

„Fiatal koromban Dirac volt a hősöm. Új fizikai módszerrel talált ki, valóságos áttörést. Vette a bátorságot, hogy megtippelje egy egyenlet alakját, amelyet most Dirac-egyenletnek hívunk, és csak azután próbálja értelmezni.”

„A tudás hatalom, hogy jót vagy rosszat cselekedjünk, de nincs hozzá kezelési utasítás.”

„Ha meg akarod ismerni a természetet, értened kell a nyelvet, amelyen szól.”

„A paradoxon mindössze ellentmondás a valóság és a között, amilyennek szerintünk a valóságnak lennie kellene.”

„Ha valaki kételkedik benne, hogy a fizikusok is csak emberek, gondoljanak arra a sok eszement mértékegységre, amelyet az energia mérésére használunk.”

„Az elektron egy elmélet, amelyet használunk. Olyan hasznos a természet leírásában, hogy szinte már valószínűnek tekinthető.”

„A fizika olyan, mint a szex: nyilván van gyakorlati haszna, de mi nem azért műveljük.” (Feynmannak tulajdonítva)

És még néhányan...

„A számítógép megvert sakkban, de kick-boxban én nyertem.” (*Emo Philips*)

Jean-Paul Sartre-hoz fűzik a következőt: – Kávét kérek tejszín nélkül. Pincérnő: – Tejszínünk nincs, hozhatom tej nélkül?

„Csak annak a statisztikának hiszek, amelyet magam javítottam.” (*Winston Churchill*)

„Úgy néz ki, hogy a fizika egyenletei több szimmetriát tartalmaznak, mint a való világ.” (*Frank Wilczek*)

„Fekete lyuk: Isten nullával osztott.” (*Steven Wright*)



Gyakrabban kellene e-mailt olvasnod, két hete elbocsátottalak.

„Régen azt kívánták, hogy olyan egyszerű legyen a számítógépet használni, mint a telefont. Meglett: én már nem is tudom, mi mindenre alkalmas a telefonom.” (*Bjarne Stroustrup*, a C++ programozási nyelv alkotója)

„A matematika úgy viszonyul a számítástechnikához, mint a hidrodinamika a vízvezeték-szereléshez.” (*Stan Kelly-Bootle*)

„Newtoni világban élünk Einstein fizikájával, amelyet Frankenstein logikája vezérel.” (*David Russell*)

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

„Nem tudom elhinni, hogy Isten gyenge balkezes!” (*Wolfgang Pauli*, értesülve a tükröszimmetria sértésének felfedezéséről.)

Fizikai-matematikai jellegű idézetek, vicckultúra

A matematikus *Lewis Carroll* Alice-regényei kimeríthetetlen tárháza a szellemes idézeteknek, de nagyon sok található *Douglas Adams* Galaxis-útikalauz regényciklusában is (amely Adams szerint a világ legfurcsább trilógiája, amennyiben öt kötetből áll).

Lewis Carroll: Alice Tükkörországban
(*Révbiro Tamás* fordítása)

– Szép, szép – mondta [Alice], amikor a végére ért –, csak egy picit nehéz megérteni! ... Valahogy mindenfélével teli lesz tőle a fejem, csak épp azt nem tudom, hogy mivel.

Alice nevetett.

– Nincs értelme – mondta –, a lehetetlent nem lehet el az ember!

– Szerintem nincs elég gyakorlatod – mondta a Királynő. – Én a te korodban naponta fél órát csak ezt gyakoroltam. Volt úgy, hogy már reggeli előtt hat lehetetlen dolgot elhitttem.

„Gyenge az a memória, amelyik csak visszafelé működik.”



Nővér, lépjen be az internetre és az operacio.com-on kattintson a „Teljesen elvesztél?” ikonra!

– Ha már a dombnál tartunk – vágott közbe a Királynő –, én tudnék neked olyan dombokat mutatni, amelyekhez képest ez völgy.

– Ugyan már – mondta Alice ... –, a domb soha sem lehet völgy. Ez butaság...

A Fekete Királynő megrázta a fejét.

– Nyugodtan nevezheted butaságnak, ha úgy tetszik – mondta –, de én hallottam már akkora butaságot, hogy ahhoz képest ez oly értelmes, mint egy lexikon.

Douglas Adams

– Nagyon gondosan ellenőriztem – mondta a számítógép –, és meggyőződésem, hogy ez a helyes válasz. Azt hiszem, a probléma az, hogy nem vagyok tisztában a kérdéssel. (A Föld-méretű számítógép, miután közölte, hogy a létezés végső válasza „42”.)

„A relativitáselméletben az anyag megmondja a térnek, hogyan görbüljön, a tér meg az anyagnak, hogyan mozogjon.”

„Ahogy felfelé emelkedtek, elméjük extázisban volt, hogy ez vagy tökéletesen, teljesen és igazán lehetetlen, vagy a fizikára nagy feladatok várnak.”

„Az alapvető különbség a között a dolog között, amely elromolhat és a között, amely semmiképpen nem romolhat el, általában az, hogy az utóbbit semmiképpen nem lehet megjavítani, amikor mégis elromlik.”

„Általános tévedés, amikor szakemberek teljesen hülyék számára terveznek bombabiztos szerkezetet, hogy mélységesen alábecsülik a teljesen hülyék leleményességét.”

Chuck Norrisról

Az amerikai vicckultúra szerint Chuck Norris, a nagy hollywoodi verekedő, a matematikában, a fizikában és az informatikában is mindenható. Azon kívül ugyanis, hogy (1) elkapta ugyan a koronavírust, de aztán mégis elengedte, (2) csaknem hidat neveztek el róla Budapesten, és (3) megnyerte a póker-világ bajnokságot egy káró pubival, egy dzsókerrel, egy tök felsővel, egy „Húzzál kettőt” Uno- és egy „Szabadulás a börtönből” Monopoly-kártyával, a következőkre képes:

- El tud számolni nullától végtelenig. Kétszer.
- Tudja a π utolsó számjegyét.
- Tud nullával osztani.
- Nyer kötélhúzásban egy fekete lyuk ellen.
- Tágul a Világegyetem, mert előle menekül.
- Gyémántból grafitot tud csinálni: széthúzza a kristály két sarkát.
- Üres képernyőről is tud képernyőfelvételt készíteni.
- Nagyság szerint rendezve felírja az első 1000 véletlen számot.
- A billentyűzetén nincs törlőgomb, nincs rá szüksége, mert a programja félelmében saját magát javítja.

Informatika és számítógépek

Az igazi programozó nullától kezdi a számolást.

- Találd ki, milyen számra gondoltam!
- Egy?
- Nem.
- Akkor nulla!

Mi a különbség az extrovertált és introvertált programozó között?

Az extrovertált a *te* cipődet nézi, amikor hozzád beszél.

Ha egy millió majom pötyög egy millió billentyűzeten, egyikük majd véletlenül ír egy Java programot. A többi meg Perl-t.

A Unix rendkívül felhasználóbarát, csak megválogatja, kivel barátkozik.

Az informatikust vásárolni küldi a felesége: – Hozzál egy üveg mézet, és ha van tojás, hozzál tízet. Megjön 10 üveg mézzel: – Volt tojás!

A hibakeresés lépései a számítógépprogramban: (1) Na ne mondd, ilyen egyszerűen nem létezik! (2) Nálam ez nem fordulhat elő. (3) Ennek igazából nem is szabadna előfordulnia. (4) Hogy lehet, hogy mégis? (5) Aha, megvan! (6) Egyáltalán hogyan működhetett ezzel a programom?





Országos Szilárd Leó Fizikaverseny



A XXV. Országos Szilárd Leó Fizikaverseny meghirdetése

A Magyar Nukleáris Társaság (Budapest), az Energetikai Technikum és Kollégium (Paks), a Szilárd Leó Tehetséggyondozó Alapítvány (Paks), az Eötvös Loránd Fizikai Társulat (Budapest) és a BME Nukleáris Technikai Intézet (BME NTI) meghirdeti a XXV. Országos Szilárd Leó Fizikaversenyt.

Nevezhetnek a határon innen és túl magyar nyelven fizikát tanuló, általános és középfokú oktatásban résztvevő diákok iskolái korcsoportjuknak megfelelő kategóriában a sukosd@reak.bme.hu címre küldött e-mailben a következő linken található Jelentkezési Lap (Excel-fájl) kitöltésével és elküldésével:

<http://sukjaro.eu/SzilardVerseny/JelentkezesiLap.xlsx>

Nevezési díj nincs, a nevezés határideje: 2022. január 16.



Az első forduló időpontja: 2022. február 21., 14:00–17:00,
helyszíne: a benevezettek iskolája.

A második (döntő) forduló időpontja:
2022. április 22–24. (péntek déltől vasárnap délig),
helyszíne: Paks, Energetikai Technikum és Kollégium
Covid-19 járvány esetén a versennyel kapcsolatos
módosulásokról a honlap ad tájékoztatás.

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

Az Országos Szilárd Leó Fizikaverseny célja a modern fizikai ismeretek iránti érdeklődés felkeltése és annak minél szélesebb és mélyebb megismertetése.

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

Várjuk a kihívást vállaló, tehetséges fiatalok jelentkezését!

A Versenybizottság nevében

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

