

fizikai szemle

2019/5

EÖTVÖS LORÁND MŰSZEREI AZ EMLÉKGYŰJTEMÉNYBEN – 2.

Balatoni inga (1898)

Eötvös Loránd a sikeres Ság-hegyi mérés után élete végéig műszere további tökéletesítésén dolgozott. Hogy eredeti célkitűzését – a nehézségi erőter potenciálfelületének minél részletesebb vizsgálatát – véghez tudja vinni, olyan műszerre volt szüksége, amely nemcsak a laboratóriumban, de terepen is könnyen kezelhető. Így született meg 1898-ban az egyszerű nehézségi variométer, későbbi nevén a Balatoni inga, amivel 1900-ban a Párizsi Világkiállításon díjat nyert. A műszer – a könnyebb alkalmazhatóság érdekében – egybeépített optikai leolvasóberendezéssel készült. Eötvös és munkatársai ezzel végezték az első nagyobb területre kiterjedő felmérést 1901 és 1903 telén a Balaton jegén, amit azért választottak, mert a felszíni topográfia nagymértékben befolyásolja az Eötvös-inga mérési eredményeit. Számbavétele ugyan kellő pontossággal megtehető, de fárasztó feladat, ami a számítógép előtti korszakban nagy számolási feladatot jelentett. A sík jégfelület mindentől megkímélte a résztvevőket és csak a Tihanyi-félsziget gravitációs hatását kellett meghatározniuk. (Forrás: Szabó Zoltán: Az Eötvös-inga története. *Magyar Geofizika* 40/1 [1999] 26–38.) (Fotó: Kármán Tamás)



Eötvös Loránd Emlékgyűjtemény
Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat
1145 Budapest, Columbus utca 17–23.
telefon: 06-1-2524999
e-mail: muzeum@mbfsz.hu
web: <https://mbfsz.gov.hu/kiallitasok/eotvos-lorand-emlekgyujtemeny>



Dávid Gyula



Cserti József



Király Andrea



Varga Dezső



Koltai János



Vigh Máté

50. ORTVAY FIZIKAVERSENY EÖTVÖS ÉVÉBEN – és 5 (+1) kérés a kollégákhoz

Tisztelt kollégák!

Az *Ortvay Rudolfról* elnevezett Fizikai Feladatmegoldó Versenyt 1970 őszén indította útnak – még ifjú oktatóként – *Tichy Géza* és a közülünk már sajnos eltávozott *Major János*. A versenyen fizikával foglalkozó egyetemi hallgatók és doktoranduszok indulhatnak a szokásos egyetemi anyagnál nagyobb kihívást jelentő, általában igen érdekes feladatok megoldásával. A kezdetben stencilezett feladatok ma már az interneten jelennek meg, a magyar mellett angol nyelven is, mert a verseny immár húsz éve nemzetközi, jelentős számú külföldi résztvevővel zajlik.

A fenti dátum alapján 2019 őszén következik az Ötvenedik Ortvay Rudolf Fizikai Feladatmegoldó Verseny (október 25. – november 4.). Mivel 2019 Eötvös-év, ezért a versenyen főleg Eötvös Loránd tudományos életművéhez – akár áttételesen – kapcsolódó feladatokat szeretnénk kiadni.

Első kérésünk a kollégákhoz tehát az, hogy tanítványaik körében népszerűsítsék a versenyt, hívják fel minél több hallgató figyelmét az Ortvay-versenyen való részvételre.

A második kérés: kérjük meg a verseny ismertetésére és népszerűsítésére külföldi ismerőseiket, kutatótársaikat is. Hiszen a fizika nemzetközi, és az angolul kiadott feladatokkal a világ bármely táján tanuló fizikushallgatók egyforma eséllyel foglalkozhatnak.

Harmadik kérésünk: várjuk a kollégák által beküldött, érdekesebbnél érdekesebb kitűzendő feladatokat a fizika bármely területéről! Kérjük, hogy a feladatokat magyar és angol nyelven megfogalmazva küldjék el a dgy4242@gmail.com és cserti@elte.hu címekre.

Negyedik kérésünk a feladatok kitűzőihez szól: felkérjük őket, hogy a versenyre beérkező megoldásokat nézzék át, és pontozzák le. Eredményhirdetés és a megoldások megbeszélése december 5-én.

Ötödik, rendhagyó kérdésünk a jubileumhoz kapcsolódik: kérjük a korábbi feladatki-tűzőket, írják meg nekünk, melyik volt a kedvenc saját feladatuk! A korábbi versenyzők pedig írják meg, melyik volt a kedvencük az általuk megoldott feladatok közül! Az egykori feladatok felidézését segítheti, hogy weblapunkon (www.ortvay.elte.hu) az összes verseny összes feladata pdf-formátumban elérhető.

A kedvenc feladatok listáját és szövegét megjelentetjük a weblapon. Reméljük, ezzel is minél több mai hallgatónak csinálunk kedvet az érdekes fizikai feladatok tanulmányozásához, megoldásához, esetleg kiötléséhez.

Extra kérésünk azokhoz szól, akik befolyással rendelkeznek bizonyos pénzfolyamok áramlására: örömmel fogadjuk az Ortvay-verseny szponzorálására vonatkozó felajánlásokat.

További részletek a weblapon lesznek olvashatók.

Itt ragadjuk meg az alkalmat, hogy gratuláljunk Tichy Gézának, a verseny egyik alapítójának, és megköszönjük ezt a kiváló ötletet.

Reméljük, méltó módon – sok érdekes feladattal, sok megoldóval és értékes díjjal – sikerül megünnepelnünk az Ortvay-verseny fél évszázados jubileumát.

Az Ortvay-verseny mai szervezői

Dávid Gyula, Cserti József, Király Andrea, Varga Dezső, Koltai János, Vigh Máté

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

Műszaki szerkesztő:
Kármán Tamás

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

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

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



A címlapon:
A Budapesti Állat- és Növénykert napsütötte zebrajának hőképe. Horváth Gábor és szerzőtársainak cikkét lásd a 147–154. oldalakon.

TARTALOM

<i>Dávid Gyula, Cserti József, Király Andrea, Varga Dezső, Koltai János, Vigh Máté:</i> 50. Ortway Fizikaverseny Eötvös évében	146
<i>Horváth Gábor, Pereszlényi Ádám, Száz Dénes, Barta András, Jánosi Imre Miklós, Gerics Balázs, Susanne Ákesson:</i> Zebracsíkok feltételezett hűtő hatásának kísérleti cáfolata – 2. rész <i>A szerzők kísérletekkel cáfolják azt a hipotézist, hogy a zebrák csíkosságának oka a fehér-fekete mintázat hűtő hatása lenne.</i>	117
<i>Tóth Gyula:</i> Az Eötvös–Pekár–Fekete ekvivalenciamérések szabályos hibája <i>A cikk röviden ismerteti az EPF-mérés elvét és rámutat a fellelt szabályos hiba okára, hatására és jelentőségére.</i>	155
<i>Trócsányi Zoltán:</i> Mit kezdjünk az új nemzetközi mértékegységrendszerrel? <i>2018-ban az SI alapegységeinek jelentős újradefiniálásáról döntöttek. Az új szabályzat 2019. május 20-án lép életbe, ezért érdemes megfontolni, hogy mit tanítsunk a különböző fokú iskolákban az alapmennyiségek mértékegységeiről.</i>	158
<i>Király Beáta, Angeli István:</i> Versailles-tól Versailles-ig – Debrecen érintésével. Az SI mértékrendszer reformja – 1. rész <i>A méterrendszer 1791-es bevezetésétől a 2018. november 13–16. között megrendezett 26. Általános Súly- és Mértékügyi Értekezleten elhatározott jelentős változásokig vezető utat mutatja be az írás.</i>	160
A FIZIKA TANÍTÁSA	
<i>Stonawski Tamás:</i> Mozgásszimulációk a légkörben – 1. rész Hogyan írjunk érdekes szimulációkat középiskolában? <i>Megismerhetjük az egyszerű szimulációk írásának technikáját, és betekintést nyerhetünk a továbbfejlesztés fogásaiba is.</i>	163
<i>Radnóti Katalin, Nguyen Quang Chinh:</i> Tanulói tévképzetek vizsgálata az elektromosságtan témakörében <i>Általános megfontolások a tanulói tévképzetekről és részletes elemzés az elektromosságtani kérdésekre adott válaszok alapján.</i>	169
<i>Holics László:</i> Egy téveszme felbukkanása oktatásunkban <i>Neves tudósok is terjesztik azt a téveszmét, hogy az újszülöttek először fordítva látják a világot, majd tanulási folyamat eredményeként az agy állítja azt talpra.</i>	174
<i>Borbélyné Bacsó Viktória:</i> Értük, róluk, nekik... – a 62. Középszintű Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató	176
HÍREK – ESEMÉNYEK	
Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Küldöttgyűlése	180

Gy. Dávid, J. Cserti, A. Király, D. Varga, J. Koltai, M. Vigh: 50th Ortway Competition in Physics in the year of Eötvös
Gy. Tóth: Systematic error in the EPF equivalence measurements
Z. Trócsányi: How to use the new international measuring system?
B. Király, I. Angeli: From Versailles to Versailles – through Debrecen.
Reform of the SI Measurement System – Part 1

TEACHING PHYSICS

T. Stonawski: Motion simulations in the atmospheres – Part 1
How to Write Interesting Simulations in High School?
K. Radnóti, Q. C. Nguyen: Students' misconceptions in electrodynamics
L. Holics: Emergence of a misconception in the teaching
V. Borbély-Bacsó: Report on the 62nd Conference of Hungarian physics teachers

EVENTS



ZEBRACSIKOK FELTÉTELEZETT HŰTŐ HATÁSÁNAK KÍSÉRLETI CÁFOLATA – 2. rész

Horváth Gábor, Pereszlényi Ádám, Száz Dénes

ELTE Biológiai Fizika Tanszék

Barta András

Estrato Kutató és Fejlesztő Kft., Budapest

Jánosi Imre Miklós

ELTE Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék

Gerics Balázs

Állatorvosi Egyetem, Tájanatómiai Intézet, Bécs, Ausztria

Susanne Ákesson

Lundi Egyetem, Biológia Tanszék, Svédország

Eredmények

Léghőmérséklet és szélesség

A vízzel töltött hordók T_{mag} maghőmérsékletét befolyásoló két legfontosabb tényezőnek a $T_{\text{lég}}$ léghőmérsékletet és a w szélességet tekintettük. A négy kísérlet minden napján a léghőmérséklet a napfelkeltét követően emelkedett, kora délután volt a legmagasabb, majd csökkent. A vártak megfelelően, a szélesség ugyanezt a mintázatot követte. A $T_{\text{lég}}$ és w közti erős pozitív korreláció (ami egy jól ismert meteorológiai jelenség és Afrikára is általánosítható) csökkentti annak valószínűségét, hogy a zebracsíkok fölött kialakuló légörvényeknek hűtő hatása van: a legmelegebb időszakban, amikor hűtésre van szük-

sége az állatnak, a nagyobb sebességű szelek könnyen elfújhatják a légörvényeket.

Konvektív légörvények csak a közel vízszintes fekete és fehér csíkok határán alakulhatnak ki, amikor a szomszédos fekete és fehér csíkok közti ΔT_{f-f} hőmérséklet-különbség kellően nagy és a szélesség kellően kicsi. Kísérleteink alatt nem volt lehetőségünk folyamatosan mérni a ΔT_{f-f} -t, azonban erős pozitív korreláció van a $T_{\text{lég}}$ és ΔT_{f-f} között: minél nagyobb az előbbi, annál nagyobb az utóbbi. Ezért a légörvények kialakulási gyakoriságának megbecsléséhez kilistáztuk azon meteorológiai helyzetek számát, amikor kísérleteink során a $T_{\text{lég}} > T^*$ és $w < w^*$ feltételek együttesen teljesültek. Azt találtuk, hogy a kis ($w < w^* = 2$ km/h) szélességű időjárási helyzetek száma csökkent a növekvő T^* küszöbhőmérséklet hatására. Erősebb hűtés melegebb ($T_{\text{lég}} > 25$ °C) időben szükséges, azonban 25 °C fölött elsősorban nagyobb ($w > 5$ km/h) szélességek fordultak elő, ami megakadályozta a zebracsíkok fölötti légörvények kialakulását. Mindazonáltal a zebrát – izzadsága gyorsabb párologtatásával – a megnövekedett

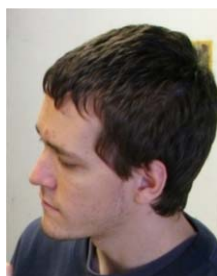
Hálásak vagyunk *Simon Istvánnak*, hogy a gödi Szálender lovastanyán megengedte a terepkísérleteink elvégzését. Köszönjük a Fővárosi Állat- és Növénykertnek, hogy hőkamerával vizsgálhattuk az ott élő zebrákat. Horváth Gábor kutatásait az NKFIH K-123930 (*Zebracsíkok termofiziológiai vizsgálata: új magyarázat a zebracsíkok szerepére*) pályázat, Száz Dénes kutatómunkáját pedig az Emberi Erőforrások Minisztériuma Új Nemzeti Kiválósági Programjának 17-3. számú pályázata támogatta.



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



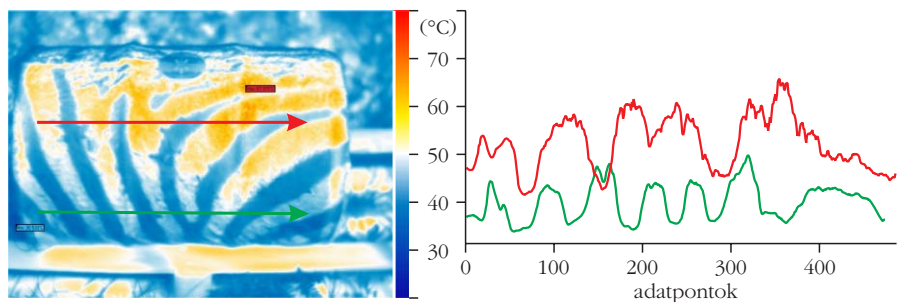
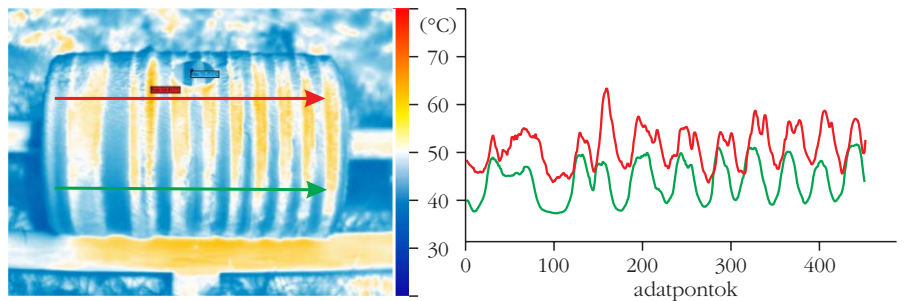
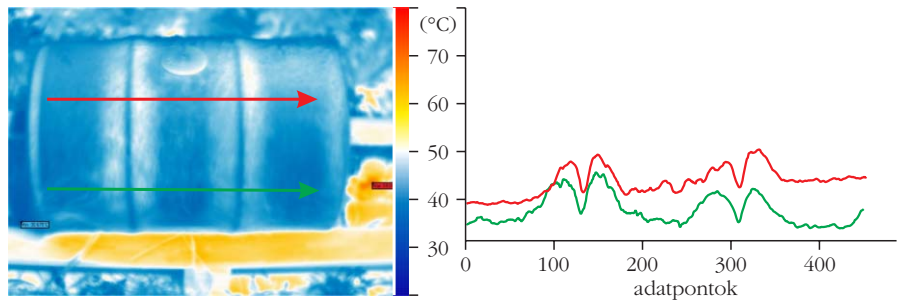
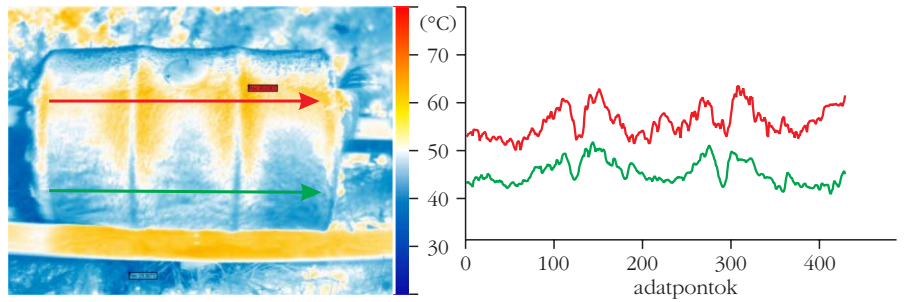
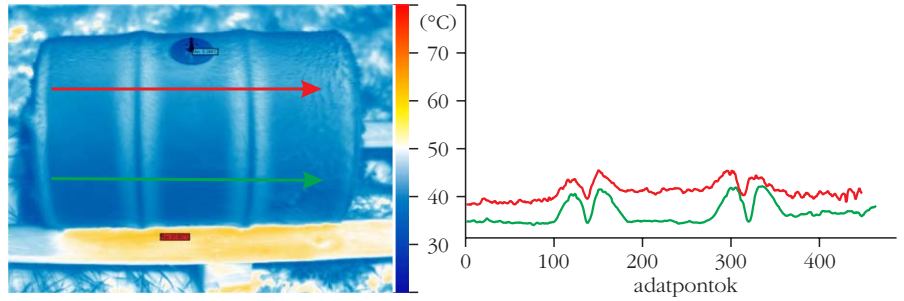
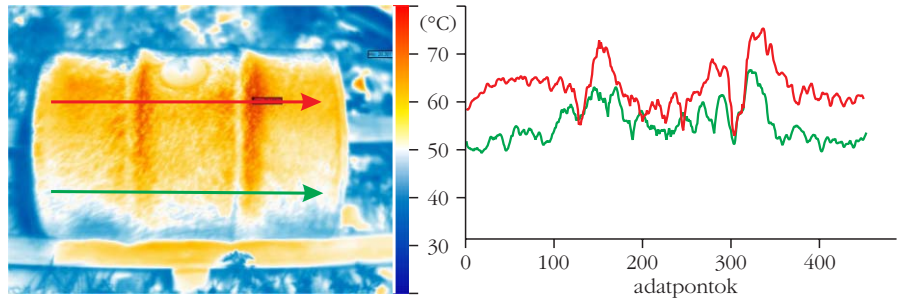
Száz Dénes 2013-ban végzett biofizika mesterszakon az ELTE-n. A Biológiai Fizika Tanszéken 2018-ban doktorált. Kutatásai felölelik a dunavirág kérszék kivilágtott hidaknál történő fénycsapdázódását, a vikingek égpolarizációs navigációját és a poláros fényszennyezést. 2017-től az ELTE szombathelyi Savaria Egyetemi Központjának fényszennyezés-kutatásaiban is részt vesz, az éjjeli fényszennyezés csillagászati és ökológiai vonatkozásaival foglalkozik. OFKD I. helyezést és Ernst Jenő biofizikai pályadíjat is nyert.

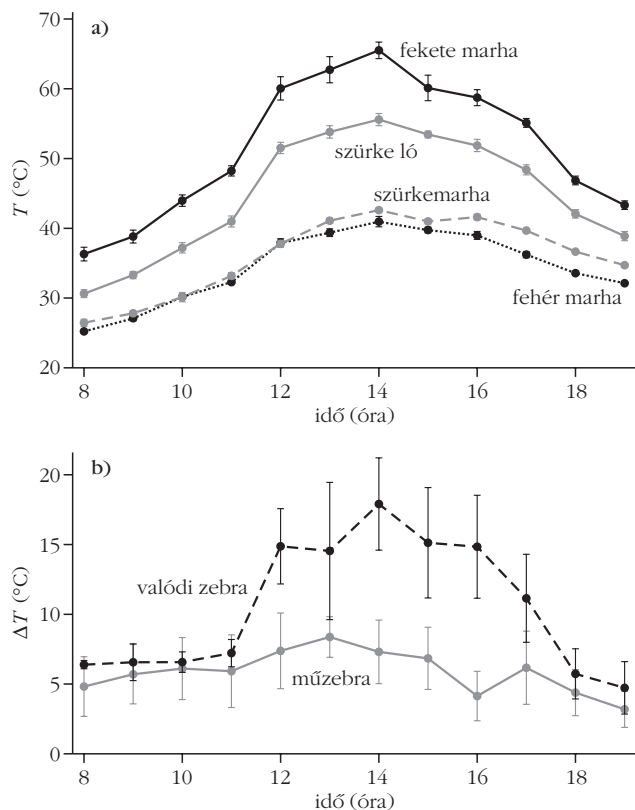


Pereszlényi Ádám az ELTE-n végzett biológus, jelenleg doktorandusz az ELTE Biológiai Fizika Tanszék Környezetoptika Laboratóriumában. Emellett a Magyar Természettudományi Múzeum Madárgyűjteményében segédmuzeológus. A biológiai és biofizikai kutatások mellett állatpreparálás is foglalkozik.



Barta András az ELTE-n végzett fizikusként, majd ugyanott szerzett PhD-fokozatot biofizikából a Biológiai Fizika Tanszék Környezetoptika Laboratóriumában. A bio- és környezetoptikával kapcsolatos alap kutatásokon kívül ipari műszerek, elsősorban minőségellenőrző eszközök fejlesztésével foglalkozik az Estrato Kutató és Fejlesztő Kft. vezetőjeként. Számos kutatásfejlesztési pályázat előkészítésében és megvalósításában vett és vesz részt.





4. ábra. a) A homogén színű állatbőrökkel fedett hordók felületi hőmérsékletének T (°C) átlaga (pontok) $\pm \sigma_T$ (°C) standard deviációja (függőleges pálcikák). b) A zebracsíkos bőrökkel borított hordók szomszédos fekete és fehér csíkjai közti felületi hőmérséklet-különbség ΔT (°C) átlaga (pontok) $\pm \sigma_{\Delta T}$ (°C) szórása (függőleges pálcikák) napközben az idő (UTC + 2 óra) függvényében. A hordók felületi hőmérsékletét hőkamerával mértük 2017. augusztus 15-én. Az így kapott termogramokból a napsütötte hordók palástjának tején egy egyenes mentén vettük a hőmérsékleti adatokat.

szélesebbség önmaga is hűti, így a nagyobb szélesebbég hatékonyabban hűtheti az állatot, mint a csíkos felület fölött feltételezett légörvények.

Az állatbőrökkel burkolt hordók hőképe

A homogén színű bőrökkel bevont hordók $T \pm \sigma_T$ (átlag \pm szórás) felületi hőmérsékletét és a csíkos bőrökkel borított hordók szomszédos fekete és fehér csíkjai közti $\Delta T_{f-f} \pm \sigma_{\Delta T}$ hőmérséklet-különbségeket három napon, 2017. július 18-án és 30-án, valamint augusztus 5-én mértük egy hőkamerával (3. és 4. ábra). A hőmérsékletértékek kiértékelését a hordók

3. ábra az előző oldalon. A 3. és 4. terepkísérletben használt, különböző állati (fekete marha, fehér marha, szürke ló, szürkemarha, müzezebra, valódi zebra) bőrrel borított hat napsütötte hordó fényképe és hőképe (színskódolt hőmérséklet-eloszlása, termogramja), valamint a hordók T (°C) felületi hőmérsékletének változása a termogramokon két, nyíllal jelölt egyenes vonal mentén. A felső és alsó vonal a hordópalást napsütötte, illetve árnyékos részén fut. A nyílak kezdő- és végpontja (feje) a T görbék első és utolsó adatpontjának felel meg. Az e) és f) ábrán jól látszanak a szomszédos fekete és fehér csíkok közti nagy hőmérséklet-különbségek a termogramokon és a T görbékben egyaránt. A fényképek a termogramoktól függetlenül készültek, ezért rajtuk nem teljesen azonos a hordók helye.

azonos részein, egy vízszintes vonal mentén végeztük. A fekete, szürke és fehér hordók T felületi hőmérséklete 8 órától 14-15 óráig folyamatosan (de nem mindig monoton módon) emelkedett, majd a tetőzést követően a mérés befejeztéig csökkent. A vártnak megfelelően mindig a fehér és fekete bőrfelületek voltak a leghidegebbek, illetve a legmelegebbek, míg a szürke bőrfelületek hőmérsékletei a kettő közé estek. Hasonlóan, a fekete és fehér csíkok közti hőmérséklet-különbségek 8 órától 14-15 óráig nőttek, majd csökkentek. A valódi zebrabőrön mért hőmérséklet-különbségek általában magasabbak voltak, mint a mű zebrabőrön. 11 és 17 óra között a valódi zebrabőrön a csíkok közti hőmérséklet-különbség 7–18 °C volt, míg a mű zebrabőrön 6–12 °C. Ezekből az eredményekből megállapítható, hogy a fekete-fehér csíkok közötti hőmérséklet-különbségek a napsütéses napokon 6 órán keresztül voltak magasak, így a csíkok fölötti légörvények kialakulásának egyik előfeltétele, azaz a kellően magas hőmérséklet-különbség, biztosított volt e 6 órában.

Az 5. ábra a Budapesti Állat- és Növénykertben napon vagy árnyékban lévő zebrák (*Equus burchelli boehmi*) fényképeit és hőképeit, továbbá a hőképeken jelölt egyenes vonalak mentén mért hőmérséklet-változásokat mutatja. Az eredményekből (5. ábra) egyértelműen megállapítható volt, hogy a csíkok között magas hőmérséklet-különbség csak akkor



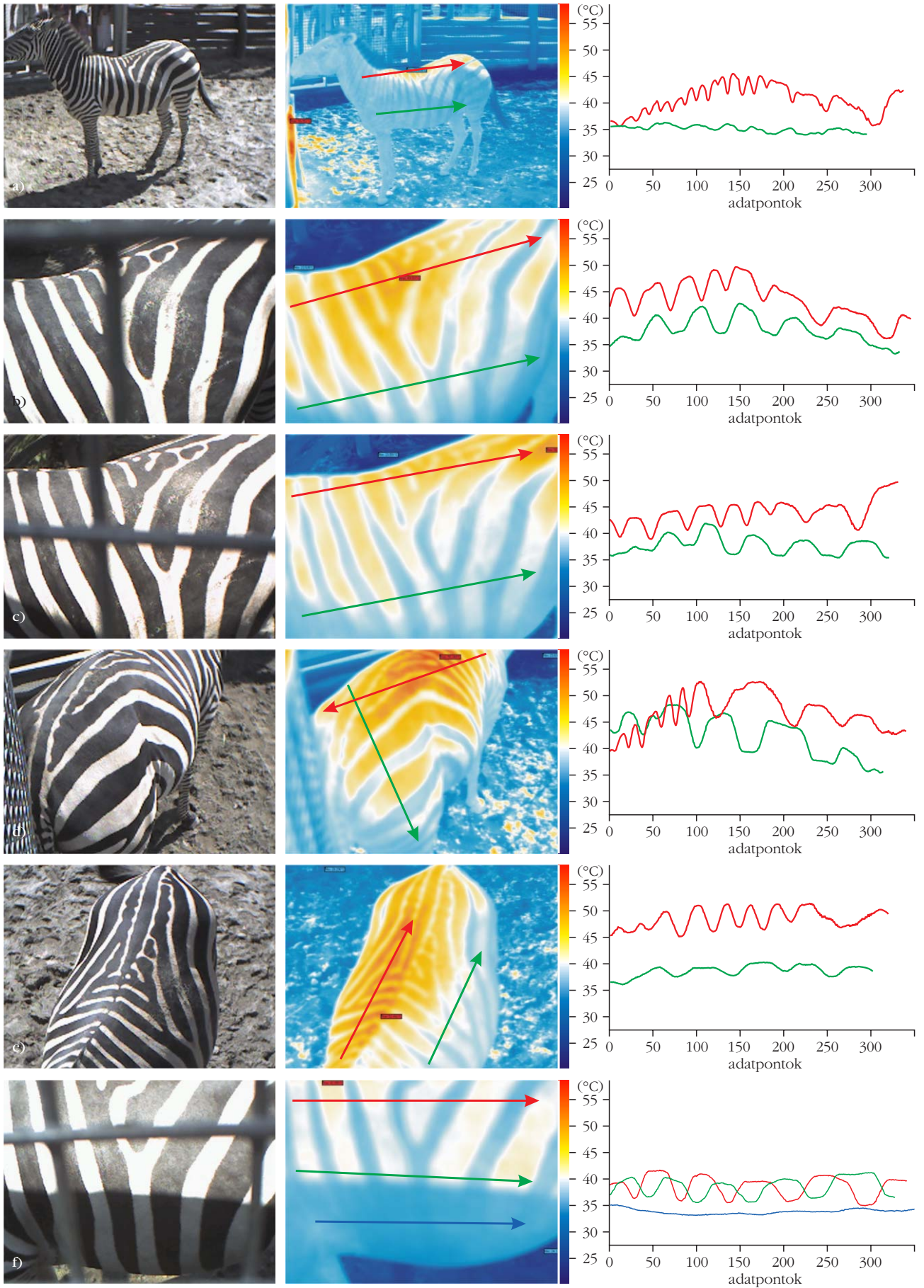
János Imre Miklós fizikus, az MTA doktora, az ELTE Komplex Rendszerek Fizikája Tanszéken egyetemi tanár, a Kármán Környezeti Áramlások Laboratórium egyik alapítója. Érdeklődési területei a geofizikai hidrodinamikával kapcsolatos jelenségek modellezése és elemzése, nemlineáris idő-sor-analízis, légköri és óceáni adatbankok „bányászata”. Az ELTE Környezettudományi Doktori Iskola vezetője.

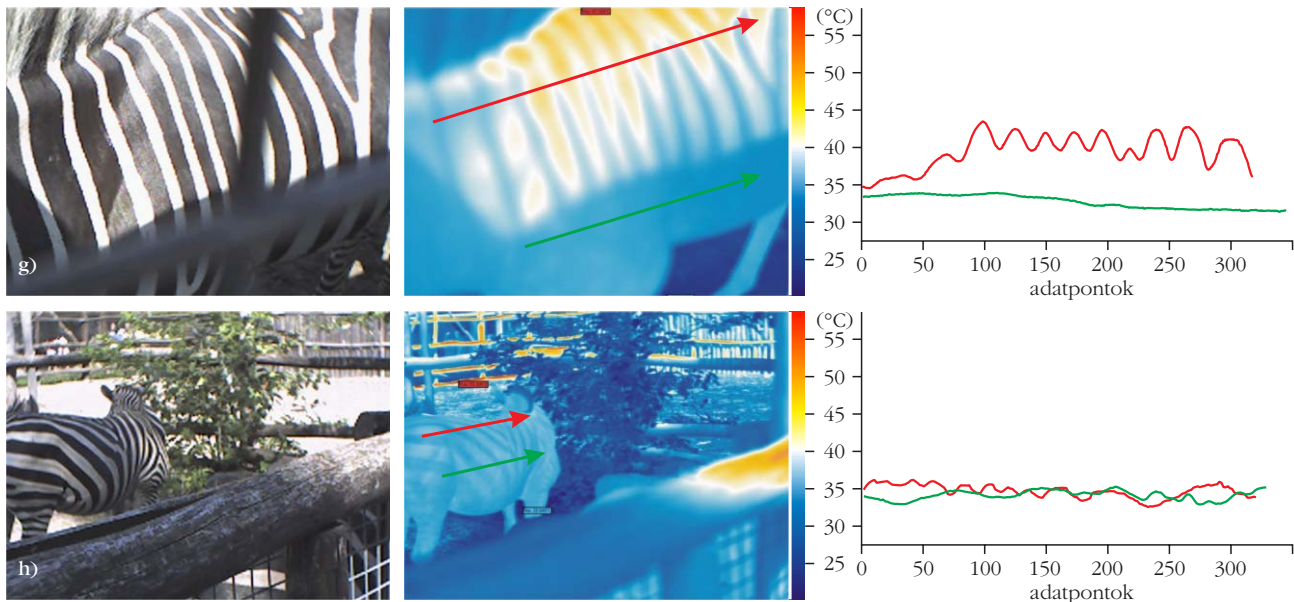


Gerics Balázs állatorvosi diplomáját Berlinben, a Humboldt Egyetemen szerezte 1988-ban. 30 évig Budapesten, jelenleg Bécsben oktatja házi emlősök funkcionális és alkalmazott anatómiáját. Korábban az idegrendszer funkcionális morfológiai változásait kutatta. Az utóbbi években a lovak patkolásához kapcsolódó témákkal foglalkozik.



Susanne Åkesson a svéd Lundi Egyetem Biológia Tanszékének biológus-ökológus professzora és a lundii Centre for Animal Movement Research igazgatója. Nemzetközi tudományos expedíciók szervezője-résztevője, amelyeken főleg a madarak orientációját vizsgálja. Az állatok (különösen a rovarok és madarak) navigációjának, mozgásának és ökológiájának neves kutatója. Számos szakcikk és több szakkönyv szerzője. Rangos szakmai kitüntetések – többek között a fizikai Ig Nobel-díj – birtokosa.





5. ábra az előző oldalon és itt. A Budapesti Állat- és Növénykert napsütötte a)–g) és árnyékos h) zebráinak (*Equus burchelli boebei*) fényképe és hőképe, valamint a zebrák $T(^{\circ}\text{C})$ felületi hőmérsékletének változása a termogramokon nyilakkal jelölt egyes vonalak mentén. A felső és alsó vonal a zebratest napsütötte, illetve árnyékos részén fut. A nyilak kezdő- és végpontja (feje) a T görbék első és utolsó adatpontjának felel meg. Jól látszanak a napsütötte fekete és fehér zebracsíkok közti hőmérséklet-különbségek a termogramokon és a T görbéken egyaránt. A fényképek és a termogramok közti kis helybeli eltérések oka az optokamera és a hőkamera látóterének kis eltérése. Mivel az optokamera közvetlenül a hőkamera alatt volt, ezért a b), c), d) és g) ábrán az optokamera látta a zebrakarám kerítésének (vízszintes, függőleges) fém rudjait, míg e rudak a hőkamera látóterén kívülre estek.

alakult ki, amikor közvetlen napfény érte a zebrákat. A zebratest árnyékos felületrészein gyakorlatilag ($\Delta T_{f-f} < 0,2^{\circ}\text{C}$) nem volt hőmérséklet-különbség. Ez azzal magyarázható, hogy a fekete csíkok csak napfényen tudnak fölmelegedni, amikor sokkal több napfényt nyelnek el, mint a fehér csíkok.

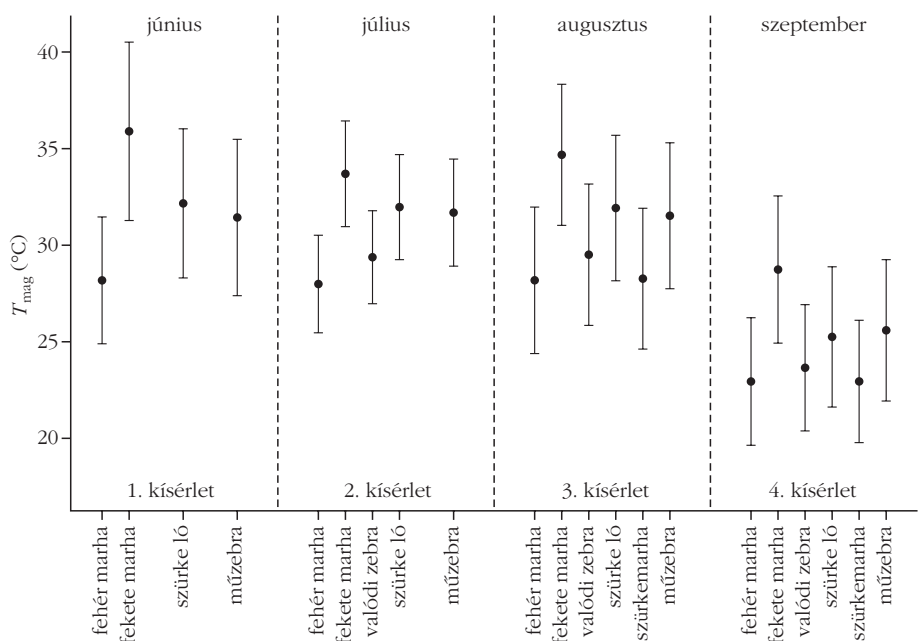
A hőképek vizsgálatából (3–5. ábra) megállapítottuk, hogy a kísérleteinkben használt, csíkos bőrökkel borított hordók felszíni hőmérséklet-eloszlásai jól modellezték az élő zebrák testfelszíni hőmérséklet-mintázatait.

A hordókat borító állatbőrök visszaverődési spektruma

A mű zebrabőr fekete és fehér marhabőr-csíkokból készült, így a mű zebrabőr fekete és fehér csíkjainak visszaverődési spektruma megegyezett a fekete, illetve fehér marhabőrökével. A valódi zebrabőr fekete csíkjai sötétbarnák voltak, amelyek a legtöbb fényt 600 és 750 nm között verték vissza. A valódi és a mű zebrabőrök átlagspektrumaik gyakorlatilag

azonosak voltak a szürkemarhabőrrel. A szürke ló bőr kissé barnás volt, ezért a $600 < \lambda < 650$ nm között verte vissza a legtöbb fényt. Ha a bőrök fehérségi fokát a fehér marhabőréhez ($w_b = 1$) viszonyítjuk, akkor a szürkemarha-, valódi zebra-, szürke ló- és fekete marhabőr fehérsége rendre a következő volt: $w_b = 0,55$,

6. ábra. A hordók T_{mag} maghőmérsékletének forró napokra számított átlaga (pontok) \pm szórása (függőleges pálcikák), amikor az átlagos napi léghőmérséklet 25°C fölött volt (amikor a zebracsíkok fölötti, hűtő hatású konvektív légörvények kialakulásának esélye a legnagyobb volt) 12:00 és 18:00 óra (UTC + 2 ó) között júniusban (1. kísérlet), júliusban (2. kísérlet) és augusztusban (3. kísérlet), valamint 12:00 és 17:00 óra között szeptemberben (4. kísérlet).



0,53, 0,43, 0,25, 0,03. Így a valódi zebrabőr fehérsége (0,53) gyakorlatilag megegyezett a szürkemarháéval (0,55), míg a mű zebrabőrnél (0,43) és a szürke lóbőrnél (0,25) nagyobb (világosabb) volt.

A hordók maghőmérsékletének időkésése a léghőmérséklethez képest

A négy kísérlet legmelegebb napjain (június 28., július 20., augusztus 10., szeptember 1.) a 6:00 és 20:00 óra közti időszakokra minden hordónál meghatároztuk, hogy a hordó maghőmérsékletének változása mekkora Δt időkéséssel követi a léghőmérséklet változását. A meteorológiai körülményektől és a hordót borító bőrtől függően Δt 15 és 120 perc között változott, általában a fekete hordónál volt a legrövidebb. Δt nagy ingadozása miatt a további számításainkat $\Delta t = 0, 30, 60, 90$ és 120 percre végeztük el.

A hordók maghőmérsékletének összehasonlítása az összes napon

A 6. ábra a hordók T_{mag} maghőmérsékletének meleg napokra (amikor a léghőmérséklet átlaga magasabb volt 25 °C-nál) számolt átlagát és szórását mutatja. Nem találtunk statisztikailag szignifikáns különbségeket a szürke ló-, mű zebra-, valódi zebra- és szürkemarhabőrrel fedett hordók maghőmérsékletei között. A fekete és fehér marhabőrökkel fedett hordók maghőmérsékletei szignifikánsan különböztek a homogén szürke és csíkos bőrökkel fedettekétől. Ahogy vártuk, a fehér hordó maghőmérséklete mindig szignifikánsan alacsonyabb volt a feketéénél. A statisztikailag szignifikáns maghőmérséklet-különbségeket az 1. táblázatban foglaltuk össze.

A hordók maghőmérsékletének összevetése T^* és w^* szűrővel

A 7.a ábrán a görbe azon napok számát mutatja, amikor a w szélesség és a $T_{lég}$ léghőmérséklet értékei egyszerre teljesítették a $w < w^*$ és $T_{lég} > T^*$ feltételeket a 3. kísérletben. A 7.b ábra görbéje azon meteorológiai helyzetek számát mutatja, amikor a $w < w^*$ és $T_{lég} > T^*$ környezeti feltételek együttesen teljesültek a 3. kísérletben. Mind a napok száma, mind a meteorológiai helyzetek száma drasztikusan csökkent, amikor a w^* szélességküszöb 3 km/h-nál kisebb volt. Ez azt jelenti, hogy kis szélességeknél a hordók maghőmérséklet-különbségeit csak jóval kevesebb adatból számolhattuk, mint nagy szélességeknél.

A 7.c ábra egy adott (i) bőrrrel bevont hordó és a mű zebrabőrrel burkolt hordó maghőmérsékletei közötti $\Delta T = T_i - T_{müzebra}$ különbségek átlagát és szórását mutatja a 3. kísérletben $\Delta t = 60$ perc időkésés mellett. A 7.c ábrán a szélesség w^* küszöbértéke 10 és 1 km/h között, míg a léghőmérséklet T^* küszöbértéke 25 és 37 °C között változik. Hangsúlyozzuk, hogy a $w < w^*$ és $T_{lég} > T^*$ körülmények kedveznek a zebra-csíkok fölötti hűtő légáramok kialakulásának. A 7.c

1. táblázat

Az 1.–4. terepkísérletben használt hordók T_{mag} maghőmérsékletei közti, statisztikusan szignifikáns különbségi relációk* minden napra és csak a forró napokra történő hordópáronkénti összehasonlításban.**

összehasonlítás minden napra	1. kís.	feh < szl, feh < mz, szl < fek, mz < fek
	2. kís.	feh < szl, vz < fek
	3. kís.	vz < fek, szm < fek
	4. kís.	szm < fek
összehasonlítás csak a forró** napokra	1. kís.	feh < szl, feh < mz, szl < fek, mz < fek
	2. kís.	feh < szl, feh < mz, vz < fek
	3. kís.	vz < fek, szm < fek
	4. kís.	vz < fek, szm < fek

Jelmagyarázat: feh: fehér, fek: fekete, szl: szürke ló, mz: müzebra, vz: valódi zebra, szm: szürkemarha, kís.: kísérlet

* < jelentése: kisebb, mint

** $T_{lég} > 25$ °C átlagos léghőmérsékletű

ábrán látható, hogy a fekete hordó maghőmérsékletének átlaga 3-3,5 °C-kal mindig magasabb volt a mű zebrabőrös hordónál. A mű zebrabőrrel burkolt hordó maghőmérsékletéhez viszonyítva a fehér marhabőrrel és szürkemarhabőrrel bevont hordók maghőmérséklete mindig 3-3,5 °C-kal alacsonyabb volt, a szürke lóbőrrel borított hordó 0-0,5 °C-kal melegebb volt, és a valódi zebrabőrrel bevont hordó 1,5-2,5 °C-kal volt hidegebb.

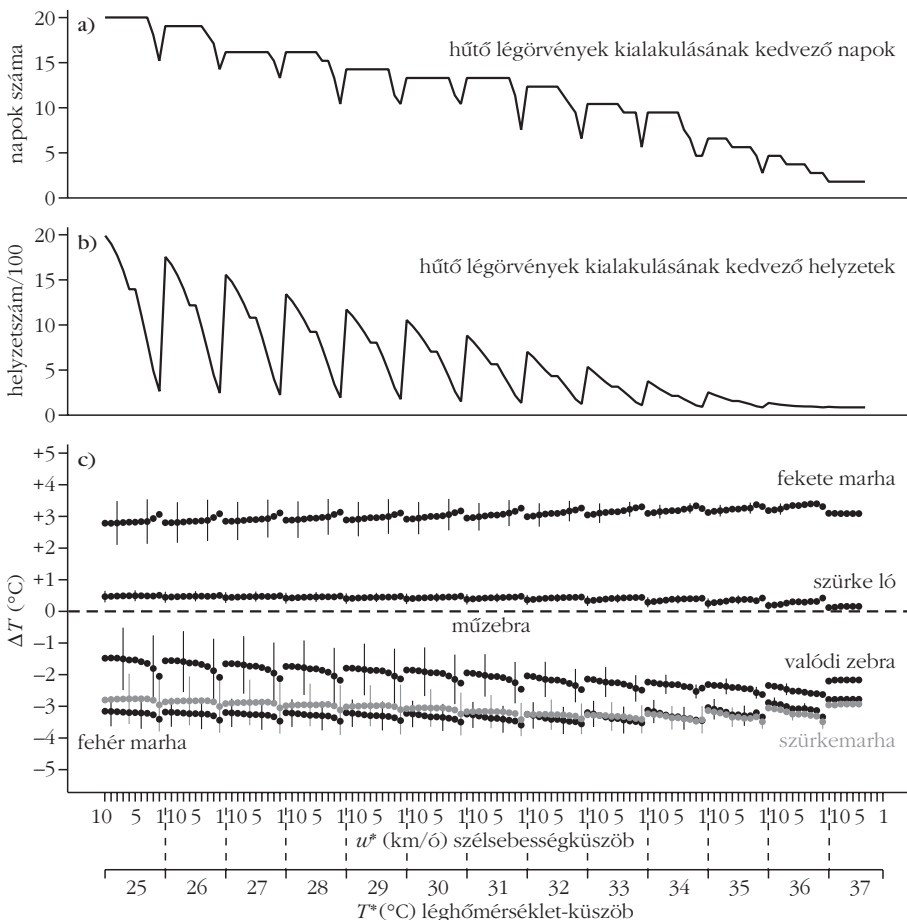
A Δt időkéséstől függetlenül, a páros Wilcoxon-teszt erősen szignifikáns különbséget mutatott ($p < 0,00001$) a következő hordópáronál: müzebra/szürke ló, müzebra/szürkemarha, müzebra/valódi zebra. Azonban e szignifikáns különbségek csupán annyit jelentenek, hogy a hordók maghőmérséklete egymáshoz képest szinkronizáltan változott. Még abban az esetben is, amikor a ΔT_{mag} maghőmérséklet-különbség csupán 0,1 °C vagy kisebb, a páros Wilcoxon-teszt eredménye erősen szignifikáns. Ezért ez a statisztikai eredmény csak az állandóan fennálló hőmérséklet-különbségeket bizonyítja.

E maghőmérsékleti különbségek egyszerűen magyarázhatók a hordókat fedő bőrök fehérségi foka által meghatározott napfényelnyelés melegítő hatásával: minél kisebb a bőr átlagos fehérsége (minél sötétebb a szürkése), annál több napfényt elnyelve, egyre nagyobb a hordó maghőmérséklete. A hordók fehérségi foka csökkenő sorrendben a következő volt: fehér marha ($wh = 1$), szürkemarha (0,55), valódi zebra (0,53), müzebra (0,43), szürke ló (0,25), fekete marha (0,03). A hordók átlagos maghőmérséklete emelkedő sorrendben ugyanezt a sorrendet követte: fehér marha < szürkemarha < valódi zebra < müzebra < szürke ló < fekete marha (7.c ábra).

Figyelemre méltó, hogy a hordók egymáshoz viszonyított maghőmérsékletei függetlenek voltak a Δt (= 0, 30, 60, 90, 120 perc) időkéséstől, valamint a szélesség és léghőmérséklet w^* és T^* küszöbértékeitől (7. ábra). w^* és T^* változásai csak csekély hatással voltak a

maghőmérsékletekre: csökkenő w^* csupán enyhe ívet eredményezett a $\Delta T(w^*, T^*)$ görbéken, általában növekvő maghőmérséklet-különbséggel, míg a növekvő T^* hatására kissé nagyobb lett a maghőmérséklet-különbség. Csökkenő w^* és növekvő T^* hatására a $w < w^*$ és $T_{\text{légg}} > T^*$ feltételek együttes teljesülését biztosító meteorológiai helyzetek N száma drasztikusan csökkent mindegyik kísérletben. Kis N esetén a véletlen meteorológiai hatásoknak nagyobb befolyása volt a maghőmérséklet-különbségekre. Ahogy N csökkent (párhuzamosan a napok számával, amikor a $w < w^*$ és $T_{\text{légg}} > T^*$ feltételek teljesültek), a ΔT szórása szintén csökkent. A növekvő Δt időközés picivel kisebb maghőmérséklet-különbségeket eredményezett. Mind a négy kísérletben a $\Delta t = 0$ és 120 perces időközéssel számított $\Delta T(w^*, T^*)$ görbéket összehasonlítva, a ΔT különbségek minden esetben kisebbek voltak 0,5 °C-nál.

7. ábra. A hordók maghőmérsékleteinek összehasonlítása. a) Azon napok száma, mikor a w napi átlagos szélesség és a $T_{\text{légg}}$ napi átlagos léghőmérséklet a $w < w^*$ és $T_{\text{légg}} > T^*$ feltételeket teljesítette a 3. kísérlet során, amely meteorológiai viszonyok kedveztek a zebracsíkos felületek fölötti hűtő légörvények kialakulásának. b) Azon meteorológiai helyzetek száma, mikor a pillanatnyi w és $T_{\text{légg}}$ a $w < w^*$ és $T_{\text{légg}} > T^*$ feltételeket teljesítette a 3. kísérletben. c) Egy adott i állati (fekete pontok, i : fekete marha, szürke ló, valódi zebra, fehér marha; szürke pontok, i : szürkemarha) bőrrel fedett hordó T_i átlagos maghőmérséklete és a mű zebrabőrrel borított hordó $T_{\text{műzebra}}$ átlagos maghőmérséklete közti $\Delta T = T_i - T_{\text{műzebra}}$ (fekete vagy szürke pontok) különbség a 3. kísérletben a t idő függvényében $\Delta t = 60$ perc időközés mellett. A $\Delta T = 0$ °C-nál húzódo vízszintes vonal a viszonyítási alapul szolgáló mű zebrabőrrel fedett hordót jelenti. A vízszintes tengely felső skálája alatt a szélesség w^* küszöbértéke látható, ami periodikusan csökken 10 km/h-ról 1 km/h-ra 1 km/h lépéssel az alsó skálán feltüntetett léghőmérséklet egy állandó T^* küszöbértéke mellett, amely 25 °C-ról 37 °C-ra nő 1 °C lépésként. A függőleges pálcikákkal ábrázolt szórást – a könnyebb átláthatóság kedvéért – csak minden 5. adatpontra tüntettük fel.



Elemzés

Sokak feltételezése szerint napsütésben fel- és leszálló légáramlatok alakulnak ki a zebrák fekete, illetve fehér csíkjai fölött [4, 5]. Larison és munkatársai [5] is megjegyezték, hogy ezek az áramlások csak vízszinteshez közeli csíkos felületek fölött keletkezhetnek. (Ha a zebrát nem éri közvetlen napsugárzás, akkor ezen légörvények nem formálódhatnak, hiszen hiányzik a szomszédos fekete-fehér csíkok közti hőmérséklet-különbség.) Az ilyen konvektív légörvények hűthetik a napsütötte zebratestet, ami forró, napos időjárásakor előny. Napfényben – főleg szélcsendes időben – a csíkos bőrökkel bevont hordóink csaknem vízszintes, legfelsőbb sávja fölött ilyen légörvények alakulhattak ki. Napsütésben a csíkos hordóink reprodukálták a napsütötte zebrák testfelszíni hőmérséklet-mintázatát. Ezért terepkísérleteinkben két hordóknak csíkozásának némi hűtő hatása volt várható. Arra számítottunk, hogy a csíkos hordóknak a víz lényegesen alacsonyabb hőmérsékletű lesz, mint a hasonló átlagos fehérségű szürke hordóknak. Legfontosabb kérdésünk az volt, hogy a zebrák törzsét modellező, napsütötte fekete-fehér csíkos bőrökkel borított, hengeres testek (vízzel töltött hordók) fölött esetleg kialakuló légörvények hatékony hűtőhatással bírnak-e. A négy kísérletünk egyikében sem találtunk ilyen feltételezett hűtő hatást.

Bár a csíkos hordóink fölött esetleg kialakulhattak konvektív légörvények, ezek hűtő hatása nem érvényesült a bennük lévő víz maghőmérsékletének alakulásában. A maghőmérsékletet sokkal inkább a hordókat borító állatbőrök átlagos fehérsége – azaz a napfény átlagos elnyelődése – határozta meg. Vizsgálataink szerint, napsütésben a fekete lovak és szarvasmarhák szenvedik meg leginkább a napsugárzás melegítő hatását, míg a fehérek a legkevésbé. A zebrák, valamint szürke lovak és marhák e tekintetben középpontot foglalnak helyet a kísérleteinkben használt szürke hordóinkhoz hasonlóan. E következtetésünket támasztják alá Caro [3] fekete bivalyokon, csíkos zebrákon, világosbarna impalákon és foltos zsiráfokon mért terepi adatai is.

Meleg, napsütéses időben a zebrák, sok más patás állathoz hasonlóan [8], izzadással tudják hűteni magukat, mert verejtékük párologtatása csökkenti bőrük hőmérsékletét. Alternatívaként, egy emlős módosíthatja egyes testrészeinek véráramlását (mint például az afrikai elefántok füleinek hőleadása hőségben, vagy a lovak patáinak időszakos hőszigetelése hóban). Kísérleteinkben nem modelleztük a verejtékezés és vérkeringés hűtő hatását. Elsősorban ez magyarázhatja, miért volt a csíkos hordóink palástjának legfelső sávján nagyobb a szomszédos fekete és fehér csíkok közti hőmérséklet-különbség (5–16 °C), mint a vizsgált élő zebrák hátán (2–10 °C).

Caro [3] szerint a zebracsíkok hőszabályozási szerepének ellentmondó további érvek a következők: (i) Termográfiai terepi mérési adatok. (ii) Szeles időben, vagy a zebrák mozgásakor nem alakulhatnak ki a test fölötti légörvények. (iii) A meleg és száraz környezetben élő emlősök többsége világos szőrzetű. (iv) A zebrákkal azonos környezetben élő többi növényevő nem csíkos, pedig a testük hűtésére nekik is szükségük van. (v) A nagyon forró éghajlaton élő többi lófélé (például az ázsiai és az afrikai vad szamár) sem csíkos. (vi) A hegyi zebrák hátán fekete-fehér rácsos mintázat van, ami nem segíti elő fölöttük a konvektív légörvények kialakulását.

Terepkísérleteinkben azt találtuk, hogy napsütésben a zebracsíkos állatmodelleink (hordóink) maghőmérsékletei soha sem különböztek jelentősen a hasonló átlagos fehérségű homogén szürke modellekétől. Ez olyan kísérleti bizonyíték, ami nem támasztja alá a fekete-fehér csíkok hűtő hatásáról szóló, széles körben elterjedt feltételezést.

Kísérleteinkben nem alkalmaztunk a lovak, zebrák és szarvasmarhák lábait modellező függőleges támasztékokat: hordóink 10 cm magasságban voltak a füves talaj fölött, ami befolyásolhatta a hordók körüli légmozgásokat. Mivel a szélesebbég némileg nagyobb lehet a zebrák testmagasságában (1-1,5 m), mint a talaj közelében, ezért a szelek hűtő hatása jobban érvényesülhet a zebráknál, mint hordóinknál. Minthogy mindegyik hordóink egy adott időpontban ugyanolyan szélviszonyoknak volt kitéve, ezért maghőmérsékletüket a szelek egyformán befolyásolhatták. Másrészt pedig, ha hordóink a zebratesthez hasonlóan lábakon álltak volna, akkor a körülöttük várhatóan erősebb légmozgások jelentősebb hatással bírhattak volna. A földközeli elhelyezett zebracsíkos hordóink fölött így könnyebben alakulhattak ki konvektív légörvények. Ennek ellenére e lehetséges örvények hűtő hatásának semmi jelét sem tudtuk kimutatni.

A vérkeringés hatékonyan homogenizálja a melegvérű emlősök testhőmérsékletét. A hordóink belsejében lévő víz sem volt nyugalomban, mert már kis vízszintes hőmérséklet-különbségek is vízmozgást keltettek bennük. Ilyen hőmérséklet-különbség a hordók hossz tengelyének kelet-nyugati irányulásából adódott, mivel a hordópalást alsó, északi negyedét soha nem érte közvetlen napfény.

Meg kell jegyeznünk, hogy a zebrák törzsének és nyakának oldalán, valamint lábain (amelyek ferde

vagy függőleges felületek) a fekete csíkok előfordulása a hőhátartás szempontból hátrányos, mivel e csíkok napfényelnyelés miatti melegítő hatását konvektív légörvények nem ellensúlyozhatják, mert ilyenek semmilyen körülmények között sem alakulhatnak ki ott. Az a tény, hogy a zebrák oldalai és lábai is csíkozott mintázatúak, szintén ellentmond a csíkok hűtő hatásáról szóló hipotézisnek.

Az emlősök számos módját alkalmazzák testhőmérsékletük szabályozásának, beleértve szőrzetük színét, szerkezetét és testük néhány fiziológiai folyamatát [8]. Terepkísérleteink azt mutatták, hogy a zebrák csíkjai nem hűtik a testüket.

Következtetések

Négy terepkísérletünk eredményei alapján az alábbi következtetésekre jutottunk:

– A maghőmérséklet mindig a fekete hordóban volt a legmagasabb.

– A maghőmérséklet mindig a fehér hordóban volt a legalacsonyabb.

– A két zebracsíkos hordó és a homogén szürke hordó maghőmérsékletei a fehér és a fekete hordókéi között voltak.

– A szürke lóbőrrel bevont hordó átlagos maghőmérséklete 0,5 °C-kal volt magasabb, a valódi zebra-bőrrel borított hordó pedig 1,5-2,5 °C-kal volt alacsonyabb, mint a mű zebrabőrrel borítotté. A számos (55) forró napon (átlaghőmérséklet > 25 °C) sem volt szignifikáns különbség a csíkos és a szürke hordók maghőmérsékletei között. Ezt a légmozgás és az aktuális léghőmérséklet sem befolyásolta.

– A léghőmérséklet és a szélesebbég küszöbértékeit változtatva sem módosult jelentősen a szürke és a csíkos hordók maghőmérsékleteinek különbsége. Azonos maradt az időkésés is, amivel a forró napokon a mag- és léghőmérsékletek változásai egymást követték. Ez arra utal, hogy a napsütötte csíkos hordók fölötti esetleges légörvények nem befolyásolták e hordók maghőmérsékletét. A csíkos és szürke hordók maghőmérsékletei közti jelentéktelen (1,5-2,5 °C-nyi) különbség egyszerűen a napfény elnyelését meghatározó átlagos felületi fehérséggel magyarázható.

Mindezen kísérleti eredmények cáfolják a zebracsíkok hűtő hatására vonatkozó hipotézist, hiszen a csíkos szőr nem tartja a test maghőmérsékletét alacsonyabban, mint az azonos átlagos fehérségű homogén szürke szőr.

Irodalom

8. K. Cena, J. L. Monteith: Transfer processes in animal coats. I. Radiative transfer. II. Conduction and convection. III. Water vapour diffusion. *Proceedings of the Royal Society of London B* 188 (1975) 377–393., 395–411., 413–423.

HELYESBÍTÉS

Ezen írás első részében, a 120. oldalon – a műszaki szerkesztő tévesztése miatt – „≤” helyett következetesen „≥” szerepel, amelyért a szerzőktől és az olvasóktól is elnézést kér.

AZ EÖTVÖS–PEKÁR–FEKETE EKVIVALENCIAMÉRÉSEK SZABÁLYOS HIBÁJA

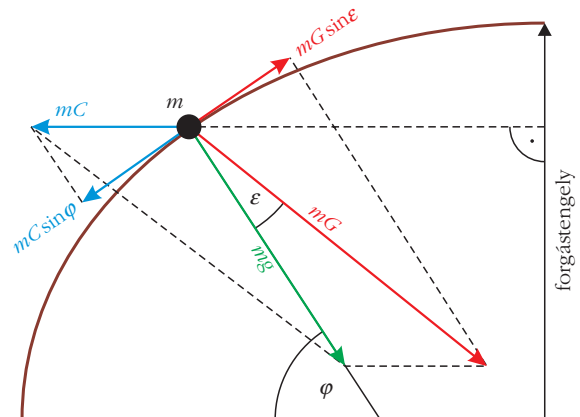
Tóth Gyula
BME ÉMK Általános és Felsőgeodézia Tanszék

Eötvös Loránd és munkatársai, Pekár Dezső és Fekete Jenő 1906-tól több méréssorozatot végeztek (EPF-mérések) a súlyos (gravitációs) és a tehetetlen tömeg arányosságára vonatkozóan [1]. A mérésekben olyan szabályos hibát találtunk, amely indokoltá teszi a kísérletek megismétlését a mai korszerű technikai lehetőségek által kínált jobb feltételek mellett [2]. A továbbiakban röviden ismertetjük az EPF-mérés elvét és rámutatunk a fellelt szabályos hiba okára, hatására és jelentőségére.

Az EPF-mérés elve

Az mg földi nehézségi erő az mG tömegvonzási (gravitációs), az mC forgási centrifugális és az mA árapálykeltő erők eredője, így a gravitációs erő a nehézségi erőnek csupán egyik összetevője. Az EPF-kísérletek során az mA árapálykeltő erők elhagyhatók, mivel látni fogjuk, hogy a kísérletben használt eszközre kifejtett hatásuk elhanyagolhatóan kicsi. A Földdel együtt forgó testekre ható mC centrifugális erő merőleges a Föld forgástengelyére, és vízszintes irányú összetevője (az északi féltekén) déli irányba mutat (1. ábra). Az összetevő nagysága, $mC\sin\varphi$ függ a hely φ földrajzi szélességétől. Ezzel az erővel egyensúlyban van az északra mutató $mG\sin\varepsilon$ erő, ami a testre ható mG tömegvonzási erő vízszintes síkba eső vetülete. Az ε szög az mg nehézségi erő (a gravitációs és centrifugális erő eredője) és az mG tömegvonzási erő által bezárt szög, maximális értékét, $5'57''$ -et a 45° -os földrajzi szélességen éri el. Az EPF-kísérletet Budapesten végezték, ott a $G\sin\varepsilon$ gyorsulás értéke 1,69 Gal (1 Gal = 1 cm/s²).

Eötvös feltételezte, hogy a C centrifugális gyorsulás független az anyagi minőségtől, viszont a G tömegvonzási (gravitációs) gyorsulás függhet tőle. Az anyagi minőségi tényezőt η -val jelölve, a gravitációs erő nagysága az $(1+\eta)mG$ összefüggés szerint változik, ha valamilyen referenciaanyagra (például víz) az $\eta = 0$ értéket vesszük fel. Ha $\eta \neq 0$, akkor a gravitációs



1. ábra. Az Eötvös–Pekár–Fekete ekvivalenciamérés elve.

erő és tehetetlen tömeg eltérése miatt megszűnik az egyensúly, ezért egy kicsiny $\eta mG\sin\varepsilon$ északi irányú erő fog jelentkezni. Ez az erő az Eötvös-féle torziós inga karjának elfordulását okozza. Ismeretes, hogy Eötvös torziós ingája egy torziós szálon függő merev rúdhoz erősített felső és alsó tömeget tartalmaz, amelyben az alsó tömeget a rúdról egy fonálon lelógatva helyezte el. Eötvösök kísérletének lényege az volt, hogy miután az inga karján lelógatott tömeget kicserélték egy, a felső tömegetől eltérő, másik anyagból készített tömegrre, vajon tapasztalható-e az inga karjának elcsavarodása.

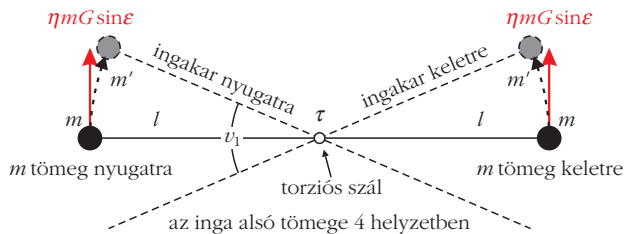
Mivel az észlelendő erő északi irányba mutat, ezért ez az erő a kelet–nyugati irányban álló ingakar tömegeire hatva fejt ki maximális nyomatékot. A torziós száltól keleti, illetve nyugati irányban l távolságban elhelyezkedő tömegek esetében a súlyos és tehetetlen tömeg különbözősége miatt fellépő $\eta mG\sin\varepsilon$ nyomatékok egymással ellentétes előjelűek, így világos, hogy az ingakar szöghelyzetének változása egyenesen arányos lesz a keresett nyomatéki hatás kétszeresével (2. ábra). Az arányossági tényező a torziós szál τ csavarási állandója reciproka. Ezt a v_1 elfordulást pontosan megmérve kiszámítható az anyagi minőségi tényező η különbsége az adott anyagpárra az inga l fél karhossza és az m tömeg nagyságának függvényében:

$$\eta = -\frac{\tau v_1}{2 m l G \sin\varepsilon}. \quad (1)$$

A mérés során figyelembe kell venni, hogy a kelet–nyugati irányban álló ingarúd tömegeire a gravitációs erők különbségéből adódóan is keletkezik nyomaték (3. ábra), ugyanis a gravitációs erő a térben pontról-pontra változik. A kísérlet szempontjából az egység-



Tóth Gyula egyetemi docens, a műszaki tudomány kandidátusa földmérőmérnöki szakon végzett 1985-ben. Azóta a BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszékén oktat és kutat. Kutatási területe a fizikai és matematikai geodézia, azon belül a Föld matematikai alakja, a geoid meghatározása. Ez irányú kutatásaiért 2011-ben Akadémiai Díjban részesült.



2. ábra. A torziós inga karjának v_1 elfordulása, felülnézetben ábrázolva, ha nem teljesül a súlyos és tehetetlen tömeg ekvivalenciája. Az ábrán az inga alsó tömegét láthatjuk négy különböző helyzetben. Először az m tömeg a torziós szálhoz képest keletre, majd nyugatra látható. Miután ezt az m tömeget kicseréljük egy másik anyagból készült m' tömegré ($m = m'$), az eltérő η anyagi minőségi tényezők miatt mind keleti, mind nyugati irányban jelentkezik egy kis $\eta m G \sin \epsilon$ erő, amely elforgatja az inga karját és vele együtt az m' tömeg is új helyzetbe kerül.

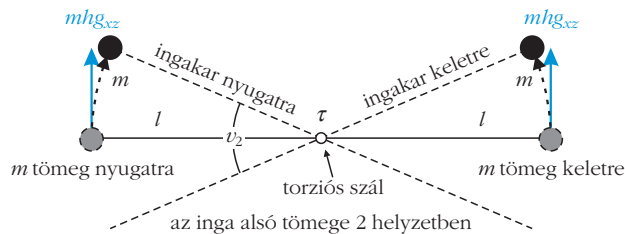
nyi tömegré ható gravitációs erő g_x, g_y vízszintes összetevőinek változása lényeges, mert ezek okozhatnak olyan nyomatékokat, ami az inga karjának elcsavarodását eredményezi. A kelet–nyugati irányban álló ingarúd elcsavarodását viszont csak az északi vagy déli irányba mutató g_x összetevő változása okozhatja. A g_x összetevő a térben akár x , akár y , akár z irányban megváltozhat. Azonban csak a lejjebb levő tömeg esetében tapasztalható z irányú és első közelítésben az $mg_x(z) = mg_{xz}z$ lineáris összefüggéssel leírható gravitációserő-változás okozhat nyomatékkülönbséget a keleti és nyugati helyzetben álló ingarúdra.

Beláttuk tehát, hogy az ingakar v_2 szögelfordulása a gravitációs erő magasság szerinti megváltozása miatt

$$v_2 = -\frac{2}{\tau} m l h g_{xz} \quad (2)$$

ahol h az Eötvös-inga lejjebb levő tömegének távolsága az inga karjától, g_{xz} pedig a g_x összetevő magassági gradiense, azaz magasságfüggő változásának mértéke. Ez a tapasztalt elfordulásból akár ki is számítható. Egyébként Eötvös torziós ingáját eredetileg éppen az ilyen gradiensek mérésére fejlesztette ki. (Itt jegyezzük meg, hogy az említett mA árapálykeltő erő gradiense igen kicsi, mivel – a Földhöz képest – ezen tömegek az ingától igen távol vannak. Ezért ezen erők nem okoznak a torziós ingával észlelhető nyomatékokat.)

A (2) formula két lényeges szempontra világít rá. Mivel a (2) egyenlettel kifejezett gradienshatás nagyságrendekkel nagyobb lehet a gravitációs és tehetetlen tömeg eltéréséből várható hatásnál, ezért az inga alsó tömegének cseréje után, illetve a mérés közben is nagy pontossággal biztosítani kell a torziós szál τ csavarási állandója, a próbatest m tömege, az l fél karhossz, valamint a h függőleges távolság állandóságát, vagy pontosan kell ismerni ezeket. Minden ilyen változás meghamisíthatja a mérés eredményét, mivel az (1) összefüggés miatt az alsó tömeg cseréje után a v elfordulás értékében tapasztalt változás értelmezhető lenne úgy is, mint a gravitációs és tehetetlen tömegek különbözősége. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy az alsó tömeg cseréje előtt és után gondosan meg kell mérni az értékeket, és az esetleges kis eltéréseket az eredményekben korrekcióba kell venni.



3. ábra. A torziós inga karjának v_2 elfordulása – a 2. ábrához hasonlóan – felülnézetben. Az ábrán az inga alsó tömegét láthatjuk két különböző helyzetben. Az inga alsó tömegére akár keleti, akár nyugati helyzetében északra mutató erő hat a gravitációs erő mg_x összetevőjének változása miatt. Ez az $m h g_{xz}$ erő abból adódik, hogy a torziós inga alsó tömege h -val lejjebb van, és az inga karját északi irányban mozdítja ki. Ha az m tömeg kicserélése után csak egy kicsit is megváltozik ez az erő, a tapasztalt hatás hamisan úgy értelmezhető, hogy – a 2. ábrához hasonlóan – nem teljesül a súlyos és tehetetlen tömeg ekvivalenciája.

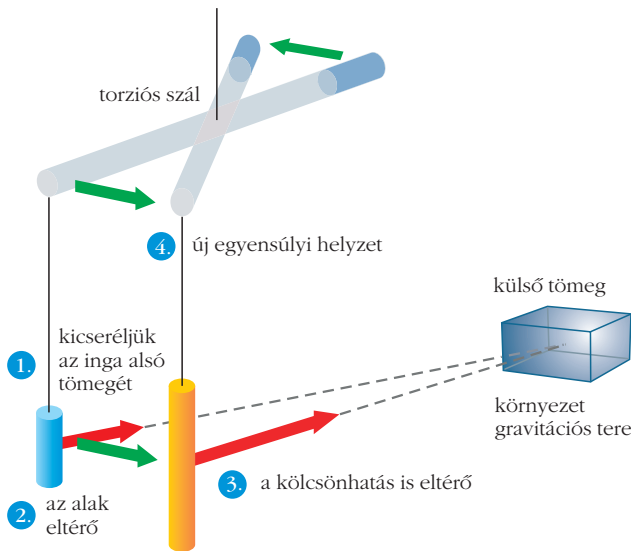
Eötvös és munkatársai egy ügyes ötlettel kihasználták azt a tényt, hogy az észak–déli irányban álló ingarúdra nincs anyagi különbség miatt fellépő forgató hatás, viszont van gradienshatás, amelyből számítható w ingakar-elfordulás a (2)-hez teljesen hasonló

$$w = \frac{2}{\tau} m l h g_{yz} \quad (3)$$

összefüggéssel írható le, csak most az mg_y erőösszetevő $mg_y(z) = mg_{yz}z$ magasságtól függő változása számít. Megjegyezzük, hogy a (2) és (3) egyenletek jobb oldalainak előjele azért különbözik egymástól, mert a pozitív értelmű mg_x és mg_y erők forgató hatása egymással ellentétes irányú.

Ötletük lényege az, hogy v/w hányados már nem tartalmazza a kritikus τ paramétert, ami a mérés során változhat, viszont e hányados – alsó tömeg kicserélése utáni – megváltozásából a keresett η továbbra is kiszámítható. Ez azért van így, mert a v/w hányadosban szereplő v , vagyis a kelet–nyugati irányban álló ingakar teljes elfordulása kétfajta erő hatását tükrözi. Egyrészt a gravitációs és tehetetlen tömeg eltérése miatti $\eta m G \sin \epsilon$ erőt (2. ábra), amely miatt v_1 elfordulás adódik. Másrészt a gravitációs erő megváltozása miatti $m h g_{xz}$ erő hatását (3. ábra), amely miatt v_2 elfordulás keletkezik. A teljes v/w hányados tehát $(v_1 + v_2)/w$. Amennyiben a tömeg kicserélése után nem változott meg sem az $m h g_{xz}$, sem az $m h g_{yz}$ erő, akkor v_2 és w értéke azonos marad, tehát a hányados változása valóban csak a v_1 változását, vagyis az anyagi minőségi tényező változását tükrözi. Ez volt Eötvösök 2. módszere.

Most lássuk a másik lényeges szempontot. A (2) formulából az is látható, hogy a g_{xz} gradiens megváltozása a kísérlet során befolyásolja, így akár meg is hamisíthatja a kapott eredményt. Ezért Eötvösök úgy javítottak ezen (a legjobb, általuk 3. módszernek nevezett változatban), hogy a g_{xz} gradiens megváltozása se hasson a kísérlet eredményére. Ezt úgy érték el, hogy egy kettős torziós ingával szimultán észleltek a kétfajta tömeggel. Így a g_{xz} esetleges időbeli változása azonos mértékben hatott a két tömegré: az elcsavarodások, pontosabban a v/w hányadosok különbségéből



4. ábra. Az Eötvös-kíséletben az inga alsó tömege különböző anyagú próbatestekre lett kicsérélve. A próbatest alakjának változása miatt megváltozott a külső tömegek okozta gravitációs kölcsönhatási erő. Ezért az inga szükségszerűen új egyensúlyi helyzetbe került még akkor is, ha az ekvivalenciaelv sem sérült és a külső tömegek sem változtak meg.

a hatás kiesett. A két inga között felcserélték a tömegeket, és megismételték a szimultán mérést. Ezzel elérték, hogy a két inga kis mértékben eltérő paramétereit és beállítása ne befolyásolja a végeredményt.

Az EPF-mérés szabályos hibája

A (2) összefüggés mind pontszerű m tömegre, mind pedig az EPF-kíséletben alkalmazott homogén sűrűségű henger alakú próbatestekre érvényes abban az esetben, ha az l és h hosszúságok a próbatest tömegközéppontjára vonatkoznak. Az utóbbiról integrálással magunk is könnyen meggyőződhetünk.

Mi van azonban akkor, ha a g_x változása nem teljesen egyenletes, vagyis a $g_x(z) = g_{xz}z + g_{xzz}z^2$ összefüggés nem teljesen pontosan írja le ezt a magasságfüggő változást? A következő lehetőség ezt a változást a $g_x(z) = g_{xz}z + g_{xzz}z^2$ másodfokú képlettel közelíteni. Például egy henger alakú próbatestre (ilyeneket használtak Eötvösök a kísérlet során) a teljes erőhatást az így módosított $g_x(z)$ függvény z szerinti integrálásával lehet meghatározni. Ezért a (2) képlet az alábbiak szerint módosul

$$v_2 = -\frac{2}{\tau} \int_{z_1}^{z_2} m_z l g_x(z) dz, \quad (4)$$

ahol z_1 , z_2 a próbatest felső és alsó határoló lapjának magasságát jelöli és m_z az elemi keresztmetszet tömege. Az integrálás könnyen elvégezhető és $H = z_2 - z_1$ magasságú próbatestre az eredmény

$$v_2 = -\frac{2}{\tau} m l \left(h g_{xz} + \left[h^2 + \frac{H^2}{12} \right] g_{xzz} \right). \quad (5)$$

Ez a formula mutatja meg azt, hogy nem teljesen egyenletesen változó mg_x gravitációs erő esetén az EPF-kíséletben szabályos hiba fog fellépni. Miért? Azért, mert a fellépő nyomaték és ezért a v_2 elfordulás függ a felhasznált próbatest H magasságától is. Az eredeti EPF-kíséletben éppen ez volt a helyzet. A felhasznált próbatestek H magasságai lényegesen eltérők voltak (4. ábra). Például a platinahenger magassága 6 cm, a magnárium (Mg-Al ötvözet) hengeré 11,9 cm, a kígyófából készült hengeré pedig 24 cm volt. (Megemlítjük, hogy a részletes levezetés szerint az (5) összefüggés csak vékony hengerek esetében érvényes, a pontosabb összefüggésben a henger R sugarától is függő $H^2/12 - R^2/4$ kifejezés szerepel, de a lényegen ez nem változtat.)

Az (1) és (5) képletekből látható, hogy ha az alsó tömeg kicsérése után a próbatest H magassága H' értékűre változik, akkor emiatt

$$\eta = -\frac{g_{xzz}}{12 G \sin \varepsilon} (H^2 - H'^2) \quad (6)$$

nem zérus anyagi tényező adódik, vagyis az ekvivalenciaelv látszólag sérül.

Mekkora ez a szabályos hiba? A (6) összefüggés szerint egyenesen arányos g_{xzz} értékével. Ez, mint láttuk a g_x gyorsulás magasság szerinti nemlineáris változásának mértékére utal. Minél nagyobb g_{xzz} , annál erősebb a nemlinearitás mértéke. Tapasztalataink szerint g_x változása leginkább a nagy sűrűségkülönbségű határfelületek közelében erősen nemlineáris, vagyis g_{xzz} nem tekinthető állandónak [4]. Akár kisebb tömegek is okozhatnak viszonylag erős nemlinearitást, ha közel vannak a próbatömegekhez. Az eredeti kísérleti mérések helyszínén, a mérésekhez használt torziós ingák közelében található tömegeket, azok nagyságát, elrendezését sajnos egyáltalán nem ismerjük, így ez a hatás utólag pontosan már nem számszerűsíthető. Sem a kísérletről készült rajzok, sem az eredeti mérési jegyzőkönyvek nincsenek meg, amelyek tisztázhatnák ezt a kérdést.

Így csak találgathatunk, hogy az eredeti EPF-kísélet végeredményét vajon ez a hatás milyen mértékben befolyásolhatta. Annyit azért elmondhatunk, hogy mérések és modellszámítások szerint falak, padló, nagyobb tömegek közelében a g_{xzz} akár a $0,5-3$ nGal/cm² értéket is elérheti. Ennélfogva a kísérlet eredményében jelentkező hatás – az erőtértől és a hengerek alakjától függően – zérustól egészen a $8 \cdot 10^{-8}$ értékig terjedő tág tartományban változhat. Azt azonban megállapíthatjuk, hogy az EPF-kísélet eredményeit, az Eötvösök által kiszámított $\eta = \pm 1-6 \cdot 10^{-9}$ értékeket [1] ez a szabályos hiba elérheti, sőt kedvezőtlen esetben meg is haladhatja.

Az ekvivalenciakísélet megismétlése tehát nem csak azért indokolt, mert további szempontokat adhat a Fischbach és munkatársai [3] által az EPF-kíséletben talált kötési energiától függő szabályos eltérés okára. Azért is fontos ellenőrzött körülmények között és jól dokumentált módon megismételni

a kísérletet, mert láttuk, hogy a próbatetek alakjától függően jelentkező szabályos hatás mennyire befolyásolhatja a mérés eredményét. A jó hír az, hogy a most ismertett szabályos hiba viszonylag könnyen kézben tartható a próbatetek alakjának megfelelő megválasztásával. Ha csak olyan henger alakú próbatömegeket használunk a kísérletben, amelyek esetében a $H^2/12 - R^2/4$ értéke állandó, akkor – mint láttuk – ez a szabályos hiba, függetlenül a gravitációs erőter szerkezetétől, nem lép föl.

Összefoglalás

Az ekvivalenciakísérlet szabályos hibája, ahogy láttuk, abból adódik, hogy a próbatest méretével összevethető távolságon a gravitációs erő megváltozása már nem tekinthető egyenletesnek, így számít a próbatetek alakja is. Eötvösök eredeti ekvivalenciakísérlete anynyira érzékeny volt, hogy már egy ilyen kicsiny, másodrendű gravitációs hatás is megjelenhetett az eredményekben, amire ők akkor nem gondoltak. Az ekvi-

valenciakísérlet megismétlése modern körülmények között – elképzelésünk szerint – segíthet megérteni azokat az okokat, amelyek az Eötvös–Pekár–Fekete-kísérletben felhasznált anyagok kötési energiájától függő szabályos eltéréseihez vezettek, illetve a megismételt kísérlet már mentes lehet a próbatetek alakjától és a gravitációs tér szerkezetétől függő, a jelen cikkben tárgyalt szabályos hibától. Az érdeklődő olvasó további részleteket találhat az [5] cikkben.

Irodalom

1. Eötvös R., Pekár D., Fekete E.: Beiträge zum Gesetze der Proportionalität von Trägheit und Gravität. *Annalen d. Physik* 373/9(1922) 11–66.
2. Péter G., Deák L., Gróf Gy., Kiss B., Szondy Gy., Tóth Gy., Ván P., Völgyesi L.: Az Eötvös–Pekár–Fekete ekvivalenciaelv-mérések megismétlése. *Fizikai Szemle* 69/4 (2019) 111–116.
3. Király P.: A 100 éves Eötvös–Pekár–Fekete kísérletek és máig tartó hatásuk. *Fizikai Szemle* 57/1 (2007) 1–6.
4. Völgyesi L., Ultman Z.: A nehézségi gradiensek linearitás vizsgálata a Mátyás-barlangban. *Geomatikai Közlemények XIII/2* (2010) 123–128.
5. Tóth Gy.: Explanation of the EPF experiment in terms of gravity gradients. *arXiv* (2018) <https://arxiv.org/abs/1803.04720>

MIT KEZDJÜNK AZ ÚJ NEMZETKÖZI MÉRTÉKEGYSÉGRENDSZERREL?

Trócsányi Zoltán

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Elméleti Fizikai Tanszék

A fizikai gondolkodásmód alapját a fizikai mennyiségek képezik. Bármely fizikai mennyiségnek két lényeges része van: a mérőszám és a mértékegység. A helyes fizikai gondolkodást azzal lehet kialakítani, ha sikerül elfogadni a két dolog szerves egységét. Nem elegendő a mérőszámokkal számítási műveleteket végezni. Az is könnyen félrevezető lehet, ha a fizikai mennyiségnek csupán a jelét tekintjük a mennyiséget képviselő elemnek valamely fizikai egyenletben, bár a mérőszám és mértékegység egyetlen jelbe olvasztása is hangsúlyozza a két elem egységét.

Adott fizikai mennyiség esetén a mérőszám nagyságát a mértékegység határozza meg, tehát az utóbbit nagyon pontosan kell definiálnunk. Ugyanarra a fizi-

kai mennyiségre vonatkozó mértékegységre többféle definíció adható. Ebből a szabadságból néha vicces, időnként komoly félreértések adódnak (lásd például Horváth Dezső cikkét a *Fizikai Szemle*ben [1]). A mértékegységek egységesítésének és pontos definíciójának jelentőségét a Francia Forradalom idején ismerték fel, és az első metrikus rendszert 1799-ben vezették be. 1875-ben alakult meg az Általános Mértékügyi Értekezlet, amely 1960-ban alkotta meg a Nemzetközi Mértékegységrendszert (SI). Az értekezlet rendszeresen összeül, és a különböző mennyiségek mérési pontosságának javulását figyelembe véve pontosítja az egységek definícióját. Ez történt 2018 őszén is, amikor az SI alapegységeinek jelentős újradefiniálása történt [2]. Az új meghatározások az SI történetének talán legnagyobb horderejű változását jelentik. Az új szabályzat 2019. május 20-án lép életbe, ezért időszerű elgondolkozni azon, hogy mit kezdjünk az új SI-vel.

Természetesen a tudományos és műszaki életben az új SI alapegységeit tudomásul vesszük, hiszen nem jelentenek mást, mint a korábban definiált alapegységek kicserélését olyan természeti állandók értékének abszolút pontos meghatározására, amelyekről jelenlegi tudásunk alapján azt mondhatjuk, hogy a Világ-



Trócsányi Zoltán fizikus, az MTA rendes tagja, az ELTE Elméleti Fizika Tanszékének egyetemi tanára, az erős kölcsönhatás elméletének nemzetközileg elismert kutatója. Demény Andrással társszerzője a *Fizika I.* egyetemi tankönyv Mechanika részének, Horváth Dezsővel pedig a *Bevezetés az elemi részek fizikájába* című, 2019-ben angolul is megjelent tankönyvnek. Emellett ismeretterjesztő előadások és művek rendszeres szerzője. Tudományos közleményeire százezernél több független hivatkozást kapott.

egyetemben helytől és időtől független állandók. Az új rendszer szerint:

1. a cézium-133 atom alapállapotának finomszerkezeti felhasadásában mérhető energiaszintek közötti átmenet frekvenciája $\Delta\nu_{Cs} = 9\,192\,631\,770$ Hz;
2. a fénysebesség üres térben $c = 299\,792\,458$ m/s;
3. a Planck-állandó $h = 6,626070\,15 \cdot 10^{-34}$ J s;
4. az elemi töltés $e = 1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$ C;
5. a Boltzmann-állandó $k_B = 1,380\,649 \cdot 10^{-23}$ J/K;
6. az Avogadro-állandó $N_A = 6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}$ mol⁻¹;
7. az $540 \cdot 10^{12}$ Hz frekvenciájú monokromatikus fényt kibocsátó fényforrás fényhasznosítási értéke (spektrális hatásfoka, vagy egységnyi kisugárzott teljesítményre eső fényárama) $K_{cd} = 683$ lm/W.

Két dolgot fontos hangsúlyozni. Egyrészt az *SI alaplammennyiségei nem változtak*. Így a fenti alapegységek meghatározásában szereplő hertz (Hz), joule (J), coulomb (C), lumen (lm) és watt (W) mértékegységek a másodperc (s), méter (m), kilogramm (kg), amper (A), kelvin (K), mól (mol) és candela (cd) mértékegységekkel a megszokott módon fejezhetők ki: Hz = s⁻¹, J = kg m²/s², C = A s, lm = cd m²/m² = cd sr és végül W = kg m²/s³. Másrészt az új alapegység definíciókban a hangsúly az abszolút pontosságon van, amelyet azonban olyan módon határoztak meg, hogy a metrikus mértékrendszerben, az eredetileg bevezetett SI-ben elfogadott hagyományokhoz ragaszkodtak.

Tehát az *SI alaplammennyiségeinek korábbi definiáláshoz szükséges mennyiségek és állandók értékei a hétköznapi életben szükséges pontosságon belül változatlanok maradtak* (szintén 2019. május 20-tól):

- a nemzetközi kilogrammetalon tömege $m_{etalon} = (1 \pm 10^{-8})$ kg, ahol a relatív bizonytalanság az új meghatározás elfogadásának idején a Planck-állandó mérési pontosságából származtatott bizonytalanság, és értéke a jövőben elvégzett pontosabb mérések esetén a most megadott relatív bizonytalanságon belül változhat;
- az üres tér $\mu_0 = (4\pi \pm 2,3 \cdot 10^{-3}) \cdot 10^{-7}$ H/m mágneses permeabilitása, ahol a relatív bizonytalanság az új meghatározás elfogadásának idején az α finomszerkezeti állandó mérési pontosságából származtatott bizonytalanság, és értéke a jövőben elvégzett pontosabb mérések esetén a most megadott relatív bizonytalanságon belül változhat (H = henry);
- a víz $T_{hp} = (273,16 \pm 3,7 \cdot 10^{-7})$ K hármasponti hőmérséklete, ahol a relatív bizonytalanság az új meghatározás elfogadásának idején a Boltzmann-állandó mérési pontosságából származtatott bizonytalanság, és értéke a jövőben elvégzett pontosabb mérések esetén a most megadott relatív bizonytalanságon belül változhat;
- a szén-12 $M(^{12}C) = (12 \pm 4,5 \cdot 10^{-7}) \cdot 10^{-3}$ kg/mol moláris tömege, ahol a relatív bizonytalanság az új meghatározás elfogadásának idején az Avogadro-állandó mérési pontosságából származtatott bizonytalanság, és értéke a jövőben elvégzett pontosabb mérések esetén a most megadott relatív bizonytalanságon belül változhat.

Az új SI alapegységei közül csak négy új, három már korábban bevezetésre került hasonló szellemben. Az *alaplammennyiségek mértékegységeinek definíciója* az új SI-ben a következő:

1. az idő (jele t) mértékegysége a másodperc, (jele s, de a hétköznapi használatban az mp is elfogadható), amely meghatározása szerint az alapállapotú cézium-133 atom két hiperfinom energiaszintje közötti átmenetnek megfelelő sugárzás 9 192 631 770 periódusának időtartama;
2. a távolság (jele l) mértékegysége a méter, (jele m), amely meghatározása szerint annak az útnak a hosszúsága, amelyet a fény üres térben a másodperc 299 792 458-ad része alatt megtesz;
3. a tömeg (jele m) mértékegysége a kilogramm (jele kg), amely meghatározása szerint akkora, hogy a Planck-állandó értéke pontosan $6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}$ kg m²/s;
4. az elektromos áram (jele I) mértékegysége az amper (jele A), amely meghatározása szerint akkora, hogy pontosan $1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$ A s az elemi töltés értéke;
5. a hőmérséklet (jele T) mértékegysége a kelvin (jele K), amely meghatározása szerint akkora, hogy pontosan $1,380\,649 \cdot 10^{-23}$ kg m²s⁻²K⁻¹ a Boltzmann-állandó értéke;
6. az anyagmennyiség (jele n) mértékegysége a mól (jele mol), amely meghatározása szerint pontosan $6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}$ darab elemi egységet (atomot, molekulát, iont, elektront, vagy más jól meghatározott részecskét) jelent, tehát az Avogadro-állandó értéke pontosan $6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}$ db/mol;
7. az adott irányban mért fényintenzitás (jele I_v) mértékegysége a candela (jele cd), amely meghatározása szerint az 1 cd fényintenzitású, $540 \cdot 10^{12}$ Hz frekvenciájú monokromatikus fényt kibocsátó fényforrás K_{cd} fényhasznosítási értéke pontosan 683 lm/W (tehát sugárzási teljesítménye $P = 1/683$ W/sr, mert $I_v = K_{cd} P$). Vegyük észre, hogy minden olyan alaplammennyiség mértékegysége, amely más mértékegységre támaszkodik, csak korábban meghatározott (alacsonyabb sorszámú) mértékegységet használ.

Látjuk, hogy az alapegységek és az alaplammennyiségek egységei elszakadtak egymástól, ami lényeges történelmi pillanatot fejez ki a fizikában. A metrikus rendszer bevezetésekor még sokkal szűkebb ismeretek voltak a fizikai jelenségekről, különösen az elektromosság és a mikrovilág törvényeiről, hiszen azok felfedezése a 19. és a 20. században történt. Az elmúlt 220 év során a tudomány és a technológia egymással karöltve fejlődött, és tette lehetővé az alapvető természeti állandók felismerését, és értékének egyre pontosabb meghatározását. Most érkezett el az idő, amikor a mérések pontosságának fokozása azért nem lehetséges, mert az SI alaplammennyiségeinek a mértékegységeit nem tudtuk kellő pontossággal. Hétköznapi hasonlattal: ha a magasugrás arról szól, hogy mekkora magasságbeli távolságot tud valaki áthidalni, akkor az igazán pontos méréshez lényeges tudni az elrugaszkodás helye között fennálló magasságkülönbségeket is.

A hétköznapi életben szerencsére nincs szükség ilyen pontosságra, azonban a tudomány további fejlődéséhez igen. Ezért vált szükségessé az említett elszakadás, aminek eredményeként az alapmennyiségek definíciói elvonttá, a tanulók és nem szakemberek számára felfoghatatlanná váltak. Így van ez akkor is, ha a régi alapegységek az újakkal egyértelmű, viszonylag egyszerű kapcsolatba hozhatók, mert a kapcsolatok hátterét mély fizikai törvények adják. Ezért felmerül a kérdés, hogy mit tanítsunk a különböző fokú iskolákban az alapmennyiségek mértékegységeiről.

Ahogy fent megjegyeztem, az SI alapmennyiségeinek korábbi definiálásához szükséges mennyiségek és állandók értékei a hétköznapi életben szükséges pontosságon belül változatlanok maradtak. Ezért úgy vélem, hogy a nem fizikusok és fizikatanárok utánpótlását célzó oktatásban felesleges az új SI tárgyalása. A fizikai világszemlélet elsajátításához a fizikai mennyiségek, mint gondolati elemek elsajátítása szükséges, amelyekben a mérőszámok és mértékegységek szerves egységén van a hangsúly. Ebben az értelemben a mértékegységek pontos meghatározása a hétköznapi mérőeszközök pontosságával a rámutatás erejéig elegendő: „a stopperóra szerint ennyi ideig tart egy másodperc”, „a mérőrudon ilyen hosszú egy méter”, „ekkora tömeg éppen egy kilogramm” (amelyet érzékelné súly alapján tudunk), „a hőmérő

szert ennyi egy kelvin hőmérsékletváltozás”, „ennyi vízben ugyanannyi molekula van, mint ahány atom 12 g szénben”, „az árammérő szerint itt most éppen egy amper elektromos áram folyik”. A fényintenzitás kilóg a sorból, mert mérésére csak közvetett lehetőségünk van, ugyanis a fénymérők fényáramsűrűséget (egysége 1 lux = 1 lm/m²) mérnek.

Az ilyen rámutatás alapját az képezi, hogy a testek meghatározott fizikai tulajdonságaik alapján ekvivalenciaosztályokba sorolhatók, amelyeket egyetlen reprezentáns elemük egyértelműen képvisel. A mértékegység kijelöléséhez csupán ki kell választani egy osztályt, amelynek tetszőleges képviselője lesz a mértékegység. A rámutatáson alapuló definícióhoz azonban már középfokon is érdemes kiegészítésként hozzátenni, hogy az SI alapegységeit olyan egyetemes fizikai állandók értékének abszolút pontos megadása adja, amelyek helytől és időtől függetlenek. Ezek segítségével az alapmennyiségek mértékegységei is abszolút pontossággal adhatók meg, és így a rámutatáson alapuló mértékegységek pontossága véges, nem abszolút.

Irodalom

1. Horváth Dezső: Kedvenc mértékegységeim. *Fizikai Szemle* 57/4 (2007) 127–131.
2. Bureau International des Poids et Mesures: *26^e CPM: Résolutions adoptées*. Versailles 13–16 novembre 2018.

VERSAILLES-TÓL VERSAILLES-IG – DEBRECEN ÉRINTÉSÉVEL

Az SI mértékrendszer reformja – 1. rész

Király Beáta

MTA Atommagkutató Intézet, Debrecen

Angeli István

Debreceni Egyetem, Kísérleti Fizikai Tanszék

Versailles-tól Versailles-ig

A mértékegységek egységesítéséről Párizs jut eszünkbe, induljunk el azonban egy másik francia városból, Versailles-ból. A fényűzése miatt Napkirálynak is nevezett XIV. Lajos (uralkodott 1643–1715) tette meg Versailles-t királyi rezidenciává, és ezt a státusát a kastély megőrizte egészen a Nagy Francia Forradalomig



Király Beáta az MTA Atomki tudományos titkára. Matematika-fizika szakon végzett a Debreceni Egyetemen; neutronfizikával, majd töltött részecske-indukált magreakciók hatáskeresztmetszetének vizsgálatával foglalkozott. Jelenleg pályázati projekteket koordinál és az Atomki ismeretterjesztő tevékenységét irányítja, az intézetbe érkező látogatócsoportok programjárt is felel.

(1789). Versailles pompás palotáját és parkját számos európai uralkodó és főnemes tekintette mintának. Létrehozása és fenntartása rengeteg költséget emésztett fel, de szerencsére a királynak volt egy tehetséges pénzügyminisztere, *Jean-Baptiste Colbert* (hivatalban 1665–1683). Colbert komolyan vette feladatát és célul tűzte ki – többek között – a francia manufaktúrák fejlesztését. A megtermelt javak értékesítését azonban



Angeli István a Debreceni Egyetem ny. egyetemi tanára. Az ELTE TTK fizikus szakán végzett 1955-ben. Részt vett azokban a kísérletekben, amelyek a magyarországi szene urántartalmának elődúsítására irányultak. Munkatársaival totális neutron-hatáskeresztmetszeteket mért; az értelmezéshez kifejlesztették az optikai modell félklasszikus változatát. A töltéssugárban héj- és deformációs effektusokat tártak fel. 2004-ben és '13-ban magsugártáblázatokat közölt az *Atomic Data and Nuclear Data* folyóiratban.



1. ábra. A méter tiszteletére 1800-ban vert érme; felirata: „à tous les temps, à tous les peuples”, azaz „minden időnek, minden népnek”.

jelentősen megnehezítette, hogy a francia hercegségek és grófságok különböző mértékrendszereket használtak, amiktől nem voltak hajlandók eltérni.

A felvilágosodás eszméinek terjedésével divatossá vált a természettudománnyal való foglalatzkodás, és a tehetős úri családok körében létrejöttek a házi laboratóriumok. Néhányan oly mélyen beleásták magukat e munkába, hogy egzakt méréseket is végeztek. Közülük kiemelkedett *Antoine Laurent de Lavoisier* (1743–1794), aki először foglalkozott komolyan a kémiai reakciók során tapasztalható tömeg- és térfogatviszonyok törvényszerűségeivel. A kor másik nagyhatású egyénisége, *Voltaire* (1694–1778) a maga nézeteivel sokak ellenszenvét kivívta, és csak kevesen tudják róla, hogy *Newton* tanait Franciaországban ő terjesztette el. A felpezsdülő tudományos-szellemi élet létrehozta az igényt egy mindenki számára hozzáférhető, egységes mértékrendszer bevezetésére.

1789. július 14-én Párizsban kitört a forradalom. Augusztus 4-én éjszaka az Alkotmányozó Nemzetgyűlés eltörölte a főúri monopóliumokat, ezzel a sok-sok önálló vám-, mérték- és súlyrendszert. Egész Franciaországra kiterjesztették az „egy király, egy súly, egy mérték” elvét. 1790-ben a mértékrendszer megújításáról szóló javaslat került a Nemzetgyűlés elé, ebben szerepel először a *mètre*, azaz a méter szó. E javaslatban fogalmazódott meg a decimális felosztás igénye is, ami szintén forradalmi áttörésnek számított. Ezen ma már csodálkozunk, hiszen természetesnek vesszük a tízes alapú rendszert. Régen azonban nem volt magától értetődő, és ha belegondolunk, életünknek még ma is van olyan része, ahol nem tízes alapon számolunk (1 perc = 60 másodperc, 1 óra = 60 perc, 1 nap = 24 óra).

1791-ben a Francia Akadémia (alapítva 1634-ben) javaslatot tett a méter definíciójára. Korábban felmerült, hogy az inga lengésével határozzák meg a métert: legyen 1 méter azon inga hossza, amelynek lengésideje egy adott idő. Ezt azonban elvetették, mivel a hosszúság egységét az idő egységéből származtatná, így nem lenne attól független. Majd megszületett a definíció: legyen a méter a Föld negyed-délkörének tízmilliomod része. Miért pont ennyied része? Mert így a méter egy emberi léptékű méret lett. Lavoisier, aki részt vett a méterrendszer megalkotásában, ezt írja:

„Soha nagyobbbat, egyszerűbbet, koherensebbet ember nem alkotott.”

A méterrendszer bevezetésének jelentőségét nem lehet túlhangsúlyozni. Ennek emlékére 1800-ban érmét vertek, amelynek felirata: „minden időnek, minden népnek” (1. ábra). Ez kifejezi egyrészt az időbeli stabilitást, azaz hogy ma és holnap is ugyanazt a hosszt jelentse, másrészt a térbeli stabilitást és hozzáférhetőséget, azaz hogy a földkerekség bármely pontján ugyanazt a hosszt értsék alatta.

Nemrégiben Versailles újra a figyelem középpontjába került, legálábbis a mérésügyi szakemberek körében. 2018. november 13–16. között itt rendezték meg a 26. Általános Súly- és Mértékügyi Értekezletet (francia rövidítéssel után a továbbiakban CGPM), ami igen jelentős változásokat hozott a korábbiakhoz képest [1]. Jelen cikk az ide vezető út néhány lépését kívánja bemutatni, a 2018 decemberében Atomki-szeminárium keretében elhangzott előadás [2] nyomán.

Mértékrendszerváltás

Az SI mértékegységrendszert (Système International d’Unités) a 11. CGPM 1960-ban fogadta el, amit Magyarország lényegében azonnal átvett, majd 1976-ban egy minisztertanácsi rendelet kötelezővé is tette használatát. Érdekes, hogy az USA-ban és néhány más országban máig nem tették kötelezővé az SI használatát, így a hétköznapi életben hivatalosan is találkozhatunk más egységekkel; a tudományos élet nemzetközisége azonban ma már mindenhol megköveteli az SI-t.

Korábban a műszaki-tudományos életben a CGS rendszert, majd az MKSA rendszert alkalmazták. A CGS rendszer a centiméter, gramm, szekundum mennyiségeket tekintette alapnak, míg az MKSA rendszer a méter, kilogramm, szekundum és amper mennyiségeket. A jelenlegi SI alapegységek a méter, kilogramm, szekundum, amper, kelvin, mol és candela.

A 24. CGPM 2011-ben hozott határozata szerint a mértékegységeket általános fizikai állandókkal fogják definiálni, ehhez 2018-ban *bét általános természeti állandó értékét rögzítik*. A hét közül kettő, a cézium-133 hiperfinom-szerkezeti átmenete során kibocsátott fény ν_{cs} frekvenciája és a fény c sebessége már korábban is mérési bizonytalanság nélkül rögzített értékű volt, a fennmaradó öt pedig a tavalyi mérésügyi értekezleten nyerte el végleges értékét: a h Planck-állandó, az e elemi töltés, a k Boltzmann-állandó, az N_A Avogadro-állandó és K_{cd} az 540 Hz frekvenciájú monokromatikus sugárzás fényhasznosításának értéke. Innentől tehát ezekhez a fizikai állandókhöz már nem adunk meg mérési bizonytalanságot.

A 26. CGPM határozata szerint a mértékegységek új definíciója, az új SI 2019. május 20-tól lép életbe.

Az áttérés

Egy fizikai mennyiséget egy számértékkel és egy mértékegységgel adunk meg:

$$\text{fizikai mennyiség} = \{\text{számérték}\} [\text{egység}], \\ \text{vagyis } q = \{q\} [q].$$

Az áttérés előtt bármely mértékegységet még az alaplámpenyiségnek számító méter, kilogramm, szekundum, amper, kelvin, mol és candela hatványai segítségével írhatunk fel. Az egyszerűség kedvéért tekintsük most csak az első három alaplámpenyiséget, amelyek történetét később majd ki is fejtjük:

$$[q] = m^{p_1} \text{ kg}^{p_2} \text{ s}^{p_3},$$

ahol p_1 , p_2 és p_3 a megfelelő hatványkitevők, amelyekből képezhető a \mathbf{v}_q kitevővektor:

$$\mathbf{v}_q = \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{pmatrix}.$$

Az áttérés előtti SI rendszer tengelyeit az áttérés előtti alapegységekhez tartozó kitevővektorok adják:

$$\mathbf{v}_m = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{v}_{\text{kg}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{v}_s = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}.$$

Az áttérés után a Cs-133 frekvenciája, a fénysebesség és a Planck-állandó lépnek az előbbi alaplámpenyiségek helyébe. Ezek kitevővektorai az áttérés előtti (m, kg, s) rendszerben:

$$\mathbf{v}_{\nu_{\text{Cs}}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{v}_c = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{v}_h = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ -1 \end{pmatrix}.$$

Amikor áttérünk az új alaplámpenyiségekre (azaz az új bázisra), megköveteljük, hogy annak elemei függetlenek legyenek (azaz egyik sem állítható elő a fennmaradók lineáris kombinációjaként) és megköveteljük a teljességet (azaz tetszőleges mértékegység kifejezhető a bázis elemei segítségével), amit matematikailag így fogalmazhatunk:

$$a_1 \mathbf{v}_{\nu_{\text{Cs}}} + a_2 \mathbf{v}_c + a_3 \mathbf{v}_h = \mathbf{0}$$

akkor és csak akkor, ha

$$a_1 = a_2 = a_3 = 0.$$

Ellenőrizhető, hogy a fentiek teljesülnek, azaz a $(\mathbf{v}_m, \mathbf{v}_{\text{kg}}, \mathbf{v}_s)$ bázisú alternatív bázisa a $(\mathbf{v}_{\nu_{\text{Cs}}}, \mathbf{v}_c, \mathbf{v}_h)$, továbbá ez a teljes vektorteret adó hét régi és hét új mennyiség esetén is igaz. Ezért nyugodt szívvel áttérhetünk az új rendszerre.

Az új rendszerben a $[q]$ mértékegység a következőképpen írható:

$$[q] = [\mathbf{v}_{\text{Cs}}]^{s_1} [c]^{s_2} [h]^{s_3},$$

ahol s_1 , s_2 és s_3 az új hatványkitevők, ezekből képezhető a \mathbf{w}_q új kitevővektor:

$$\mathbf{w}_q = \begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \end{pmatrix}.$$

Milyen közlekedési szabályok érvényesek a két rendszer között, azaz hogyan térünk át egyikről a másikra? A következő mátrixművelet viszi át a régi rendszerbeli vektorkomponenseket az új rendszerbeli vektorkomponensekbe:

$$\begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 1 & -1 \\ 1 & -2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{pmatrix}.$$

Lássuk példaként, hogyan alakul a kg az új rendszerben, ha tudjuk, hogy a régi rendszerben $p_1 = 0$, $p_2 = 1$ és $p_3 = 0$.

$$\begin{pmatrix} -1 & 1 & -1 \\ 1 & -2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ -2 \\ 1 \end{pmatrix},$$

azaz

$$\text{kg} = [\mathbf{v}_{\text{Cs}}] [c]^{-2} [h].$$

Akit ennél részletesebben is érdekel az áttérés formális matematikai háttere, annak figyelmébe ajánljuk Peter J. Mohr 2008-ban megjelent cikkét [3] a *Metrologia* című folyóiratban. Általában is ajánlható ez a folyóirat, amely fizikus körökben nem nagyon ismert, pedig méréskiértékelésre, számlálásisebesség-mérésre vonatkozó igen hasznos cikkek is megjelennek itt.

A következő részben

Elindultunk Versailles-ból és visszatértünk Versailles-ba bemutatva az SI mértékrendszer áttérését a fizikai állandók által definiált alaplámpenyiségekre. A következő részben áttekintjük a méter, a kilogramm és a szekundum mérésügyi történetét és kiderül, mi köze van mindehhez Debrecennek.

Irodalom

1. <https://www.bipm.org/utis/en/pdf/CGPM/Convocation-2018.pdf#page=25>
2. Angeli István: Versailles-tól Versailles-ig – Debrecen érintésével. Az SI mértékrendszer reformja. *Atomki szeminárium* 2018-12-20, videó: <https://www.youtube.com/watch?v=cSmBNCluC9w>
3. Peter J. Mohr: Defining units in the quantum based SI, *Metrologia* 45 (2008) 129–133.

MOZGÁSSZIMULÁCIÓK A LÉGKÖRBE – 1. RÉSZ

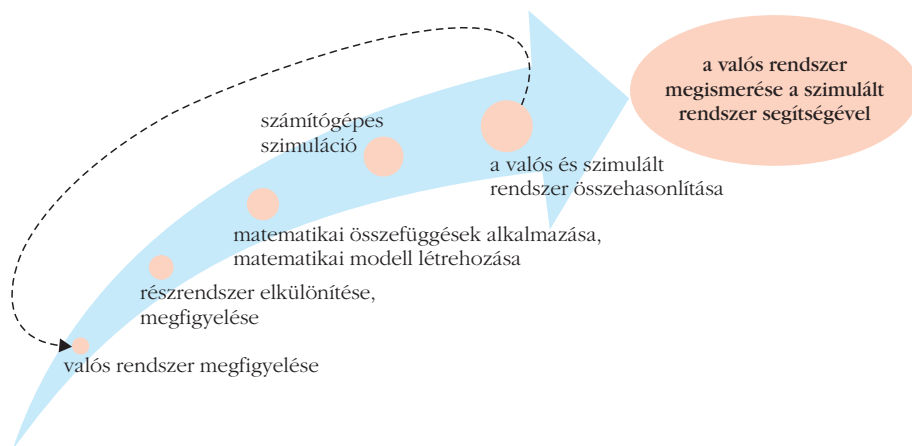
Hogyan írjunk érdekes szimulációkat középiskolában?

Stonawski Tamás
Nyíregyházi Egyetem

„A Világegyetem önmaga lehet a leggyorsabb szimulációja, és nem ismeri a saját jövőjét.”

John Gribbin

A szimuláció szó sok átalakuláson ment át az utóbbi évtizedekben. Kezdetben a valóságot utánzó, tettető magatartást jelentette, majd később – a számítógépes háttér létrejöttének köszönhetően – megjelent a mai tudományos értelmezése is, amely szerint a szimuláció a valóságos rendszereket utánzó absztrakt módszerekkel felépített matematikai modell. Mikor és miért van szükségünk szimulációkra? A valós rendszereket megismerhetjük megfelelő kísérletek elvégzésével, de olyan esetekben, amikor a kísérlet extrém sebességű, túl drága, veszélyes, bonyolult, eszközei nem szerezhető be, a kezdőfeltételek nem állíthatók be kellő pontosságúra... stb., akkor mindenképpen szükség van a szimulációra. Akár kísérletek megalapozója is lehet, hiszen a szimulációval könnyedén meghatározhatók a legelőnyösebb kezdeti feltételek, de akár a kísérlet lehetséges kimenetelei is (ezekben az esetekben a szimulációk a kísérlet részének tekinthetők), amelyek hiányában a kísérletek esetlegesen kivitelezhetetlenek maradnának (lásd például Higgs-bozon detektálása előtti elméleti szimulációk eredményeinek felhasználása, az LHC mérőberendezéseinek beállítása). A kísérletek kiegészítő szerepkö-



1. ábra. A szimuláció készítésének főbb lépései [3].

ről kitorve a szimuláció a valóság megismerésének egyik módszere is lehet. A szimuláció egyik nagy előnye, hogy a megfigyelni kívánt rendszerbe – ellentétben a kísérletekkel – nem avatkozunk be (hiszen nincs fizikai kapcsolat közöttük), a kezdőfeltételek, de akár az elméleten is változtatva, tetszőlegesen sokszor lefuttathatjuk, és a szimuláció végén a kívánt eredményekhez juthatunk [1]. Egyszerű szimulációkat számos webhelyen találhatunk, amelyek használata nem igényel különösebb informatikai tudást. Ezen szimulációk felhasználói szintű alkalmazása igen kedvelt a diákok körében [2]. Akár már általános iskolában is jól alkalmazható például egy áramkörépítő szimulátor, amelyen a megépítést követően méréseket is lehet végezni. A felhasználói szint viszont nem alkalmas speciális problémák vizsgálatára (azaz különböző projektek, otthoni vagy szakköri, testre szabott megfigyelések, kísérletek elvégzésére és tervezésére), ráadásul kirekeszti a tanulókat a szimulációk lényegi megértéséből. Ahhoz, hogy tanulóink betekinthesse a szimulációk részleteibe, különleges világába, előnyösnek tartom, ha a tanár egy-egy adott problémához kapcsolódó szimulációt közösen ír meg diákjaival. Ehhez első lépésként egy segédprogramot kell keresni, és – ráadásul – a program speciális nyelvezetét is el kell sajátítani. Cserébe viszont sorozatosan fejleszthető szimulációkat kapunk, amelyeket akár egyesíthetünk is, így egyre összetettebb szimulációkkal dolgozhatunk, ha a téma éppen úgy kívánja meg (lásd később). E cikkben az egyszerű szimulációk írásá-

Köszönettel tartozom az Ecsedi Báthori István Gimnázium tanulóinak és a Nyíregyházi Egyetem fizikatanár szakos hallgatóinak.



Stonawski Tamás a Nyíregyházi Egyetemen főiskolai adjunktus. Doktori címét 2016-ban az ELTE Fizika Tanítása doktori program keretében szerezte. Kutatási területe a digitális média alkalmazása a tanulói kreativitás, problémamegoldás és önálló kísérletezés fejlesztésére általános és középiskolában.

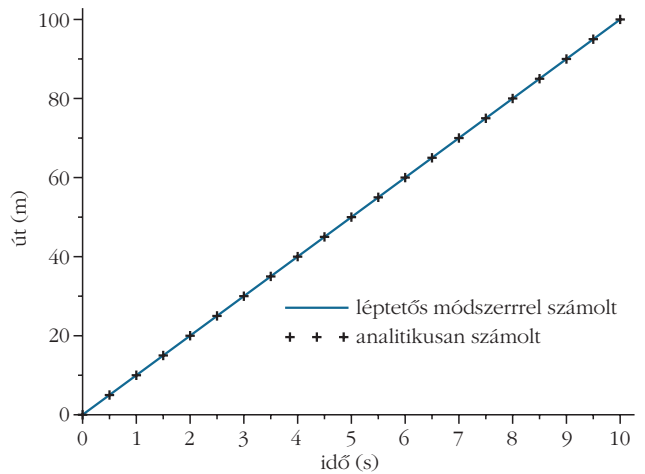
nak technikáját ismerhetjük meg, és betekintést nyerhetünk a szimulációk továbbfejlesztésének fogásaiba is.

A szimulációkészítés első fázisában – a fizikában tanult összefüggések ismeretében – egy olyan matematikai algoritmus alapján működő modellt kell készítenünk, amely bizonyos kezdőfeltételek megadása mellett kimeneti értékeket, eredményeket, végeredményeket produkál. Az eredmények valóságsszerűségét célszerű kísérletileg is igazolni (igazolhatjuk, hogy a szimuláció bizonyos pontossággal közelíti a kísérleti eredményeket, így a valós rendszert is). A kísérleti ellenőrzés sikeressége erős motiváló hatást fejt ki a tanulókra, a továbbiakban is szívesen foglalkoznak vele. A kísérleti ellenőrzés végeztével érdemes kiterjeszteni modellünket, mert így a rendszer olyan tulajdonságait is megismerhetjük (például extrém kezdőfeltételek megadásával), amelyeket nem áll módunkban kísérletileg megfigyelni (1. ábra). A kiterjesztés során nyert információk figyelemfelkeltők és vitaindító erejűek voltak a tanulók körében.

Szimulációs programnyelvek

A szimulációk írására számos program létezik, de mátrixalapúsága és ingyenes letölthetősége [4] miatt a Scilab programcsomagot választottam. Szép a grafikája és könnyű adatkezelése előnyére válik a munkánk során. A Scilab egyik jellegzetessége, hogy minden változót mátrixnak tekint, még a legegyszerűbb konstans is: 1 sorból és 1 oszlopból álló mátrixnak. A változók tekintetében a szimulációkban csak egyetlen sorból álló mátrixokat fogunk képezni, az úgynevezett sormátrixokat (másképpen: sorvektorokat). Az elkészített algoritmusok (lásd később) során a t idő folyamatosan, egységnyi kicsiny dt időkülönbséggel növekszik ($t := t + dt$), ezt léptetésnek nevezzük. Minden léptetésnél – a fizikai összefüggések alapján – kiszámoljuk a kívánt fizikai mennyiség részeredményét, és ezen adatokkal feltöltjük az általa definiált sorvektort (például érdemes „F” betűt használni az erő sorvektorához). Így egy nagyon praktikus sorvektort kapunk: egyetlen változóba kerül bele a fizikai mennyiség – például időbeli lefolyásából származó – összes értéke. Ezzel a fizikai mennyiségek ábrázolása meglehetősen leegyszerűsödik (nem kellene újabb ciklusok, léptetések), hiszen csak a mennyiségek által definiált ábrázolandó sorvektorokat kell beírni a „plot” parancs argumentumába. Mivel azonban a „plot” parancs függvényképzést hajt végre, vigyázni kell arra, hogy a két vektor azonos számú adatsorból álljon (dimenziója azonos legyen).

Érdemes a szimulációk írását a kinematikánál kezdeni, mert az egyszerű tananyagban szereplő analitikai képletekkel kapott eredményeket össze tudjuk hasonlítani a léptetős módszerrel nyert eredményekkel (2. ábra). A két eljárás egyezése biztosítja a léptetős módszer létjogosultságát a tanulók gondolkodásában, és bizonyos problémák esetén (ahol már nem



2. ábra. 10 m/s-mal egyenes vonalú egyenletes mozgást végző test út-idő grafikonja. A léptetős és az analitikai módszerrel számolt út-idő egyenesek egymásra illeszkednek.

működnek az analitikai számítások) nem fog gondot jelenteni az analitikai eljárások elhagyása sem.

// Egyenes vonalú egyenletes mozgás

// Az analitikai és léptetős módszer összehasonlítása

clc // konzol törlése

i=1; // léptetés kezdete

t=0; // idő nullázása

dt=0.5 // lépésköz

t(1)=0 // időmérés kezdete

v=10; // sebesség megadása

s=0; // út lenullázása

while t(i)<10 //csináld 10 másodpercig

i=i+1 // léptetés művelete

t(i)=t(i-1)+dt // idő léptetése

s(i)=s(i-1)+v*dt // a következő útszakasz kiszámítása

end

xdel // grafikus képernyő törlése

xset("font",4,4) // tengelyértékek mérete

plot2d(t,[s],[2]); // léptetős módszerrel számolt sebesség

plot2d(t,[v*dt],[1]); // analitikus módszerrel számolt sebesség

xlabel("Idő(s)", "fontsize",4); // x tengelyfelirat és mérete

ylabel("Út (m)", "fontsize",4); // y tengelyfelirat és mérete

legend(["léptetős módszerrel számolt" "analitikusan számolt"], with_box=%f,opt=5);

A szimulációk írását a dinamikával folytassuk, majd ezt követően az erőtörvényeket egészítsük ki a súrlódással, közegellenállással is [11]! Ha a léptetős módszert már sikeresen elsajátították a tanulók, célszerű egy olyan problémával folytatni a munkát, amelyet analitikusan nem, vagy csak nagy nehézségek árán tudnának megoldani.

Amikor a képletek „nem működnek”

Foglalkozzunk a szabadeséssel úgy, hogy figyelembe vesszük a közegellenállási és a felhajtóerőt is! Írjuk fel a mozgástörvényt:

$$m a(t) = m g - \frac{1}{2} c A \rho(h) v^2(t) - \rho(h) V g. \quad (1)$$

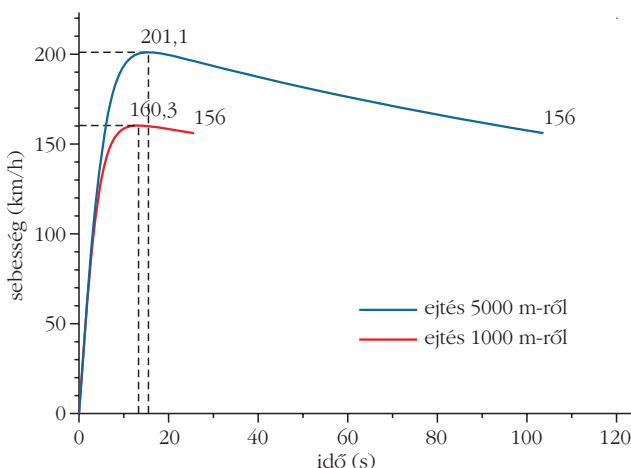
A mozgástörvényt megvizsgálva vegyük észre, hogy a gyorsulás és a sebesség a mozgás során változik, azaz időfüggő, a levegő sűrűsége pedig a magasság függvénye!

Mivel a $v(t)$ függvényt nem ismerjük analitikusan, középiskolai matematikával $a(t)$ -t sem tudjuk meghatározni. E probléma felvetése máris a léptetős módszer alkalmazásának kedvez.

A kezdőfeltételekből kiindulva, kis idő megadásával számoltassuk ki a ρ , s , v , a aktuális értékeit, ezek lesznek a következő lépés kezdőértékei, és ugyanazon (megfelelően kicsinek választott) idő múlva újabb számításokat végzünk, amíg a megtett út egyenlő nem lesz a kezdeti magassággal, azaz a test el nem éri a földfelszínt.

A léptetés sorszámát egy „i” változóban tároljuk, ami 1-től egyesével számol felfelé. Az „i” változó minden újabb értékénél léptetjük az időt, majd feltöltjük a sorvektorokat (az aktuális időpontban kiszámítjuk a megtett „s(i)” utat, a „v(i)” sebességet és a levegő „ro(i)” sűrűségét). A gyorsulás meghatározásához a mozgás során megjelenő erőket is fel kell írni („Fk”, „Ff”, az „m*g”-t konstansnak vesszük), majd az erőkből összegzett eredőt elosztjuk a tömeggel. A *while*-ciklus (azaz a léptetések ciklusa) addig tart, amíg egy általunk megadott feltétel teljesül, jelen esetben „h-s(i)” > 0, azaz amíg a megtett út kisebb az előre megadott magasságnál. Ha a fentiek szerint a szabadesésnél a közeg hatását is figyelembe vesszük, a zuhanó test sebessége már nem egyenletesen növekszik, mint ahogy azt a közeg nélküli mozgásnál tapasztaljuk, hanem először növekszik, majd – a növekvő levegősűrűség miatt – csökken (tehát maximuma van), és megfelelően nagy magasságból ejtett testek esetén a mozgás végső szakaszában – a földet éréskor – ugyanakkora, az indítás magasságától független sebességgel mozog. (A levegő sűrűsége, azaz a közegellenállás mértéke a magasság növekedésével exponenciálisan csökken. Így kis magasságok – pár száz méter – esetén közel állandónak tekinthető. Ezért jó közelítéssel azt

3. ábra. A szimulációt lefuttattuk 1000 és 5000 m kezdőmagasságnál. A végsebesség mindkét esetben 156 km/h-nak adódott, a maximális sebességek viszont különbözők voltak (kezdeti értékek: $dt = 0,1$ s, $m = 70$ kg, $c = 0,6$, $A = 1$ m², $V = 0,1$ m³).



mondhatjuk, hogy az esés végső, földközeli szakaszában a sebesség állandósul, erőegyensúly áll be.)

A szimulációban a maximális sebesség detektálása úgy történik, hogy amíg a következő lépés sebessége nagyobb, addig folyamatosan újra betöltjük (azaz újraírjuk) az aktuális „i” lépésszámot a „tmax” egydimenziós vektorba, ez egy „if-then” feltétellel („v(i)>v(i-1)”) valósítható meg. Annál a lépésszámnál, ahol nem növekszik tovább a sebesség, az előbbi feltétel már nem teljesül, így a legutolsó, még sebességnövekedő lépés sorszama megmarad a „tmax”-ban. A maximális sebesség előhívása így a „v(tmax)” segítségével történik (azaz a sebességvektor „tmax” sorszámú koordinátáját hívjuk elő). Érdeemes egy meghatározott „i” lépésszámmra történő megállást is beiktatni a szimulációkba. Ez akkor tesz jó szolgálatot, ha néhány lépés után szeretnénk tájékozódni a még nem túl hosszú vektorok értékei felől (a konzolon a *disputasítással* könnyen kiírathatjuk a változók értékeit), de elkerülhetjük a hurkokat (például, ha rossz leálló feltételt adtunk meg), és az esetleges hibákat is könnyebben tetten érhetjük.

// vektorfeltöltő ciklus kezdete

```
while h-s(i)>0; // amíg földet nem ér, tegye a következőket
  i=i+1; // továbbléptetés
  t(i)=t(i-1)+dt; // a következő időpont meghatározása
  v(i)=v(i-1)+ae(i-1)*dt; a következő időpontbeli sebesség meghatározása
  s(i)=s(i-1)+v(i-1)*dt; // a megtett út kiszámítása
  ph(i)=h-s(i); // a pillanatnyi magasság meghatározása
  ro(i)=rok0*exp(-rok0*g*ph(i)*p0.^-1); //a pillanatnyi sűrűség meghatározása

  Fk(i)=c*hf*0.5*ro(i)*(v(i).^2); //a pillanatnyi közegellenállási erő meghatározása
  Ff(i)=ro(i)*V*g; //a pillanatnyi felhajtóerő meghatározása
  Fe(i)=m*g-Fk(i)-Ff(i); //a pillanatnyi eredő erő meghatározása
  ae(i)=Fe(i)/m; // a pillanatnyi eredő gyorsulás meghatározása
```

// maximális sebesség detektálása

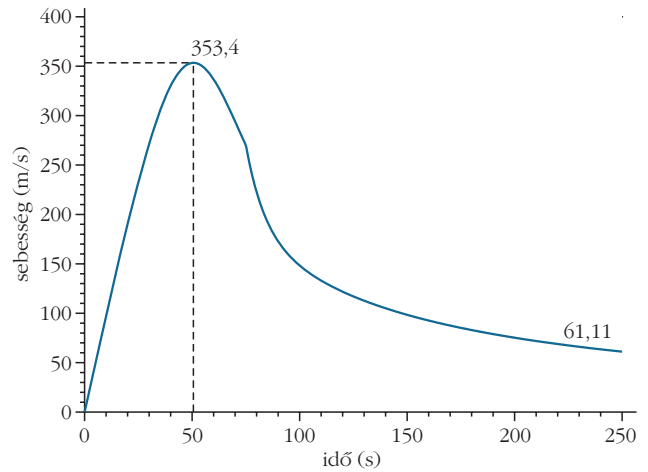
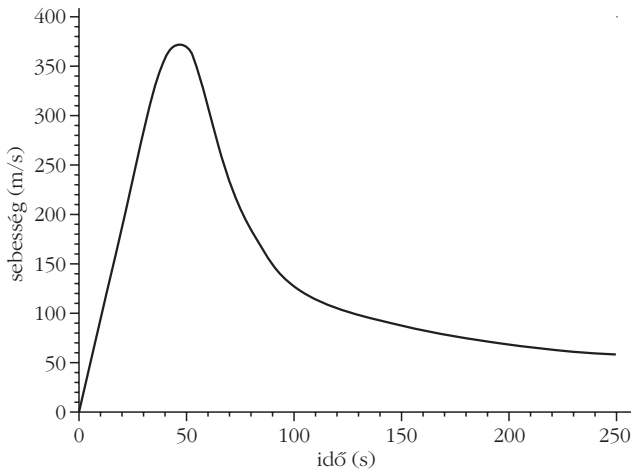
```
if v(i)>v(i-1) then
  tmax=i;
end
```

// hurokba kerülés elleni védelem, illetve meghatározott "i" értékre való megállítás

```
if i>10000 then
  break;
end
end
```

Izgalmas órán kívüli feladat lehet az érdekes hírek tudományos elemzése is. Több tucat zuhanást túlélő emberről beszámoló cikket tanulmányozva bukkanunk a következő közleményrészletre: „Michael Holmes 2006-ban 12 000 láb \approx 4000 m magasból ugrott ki, de nem nyílt ki az ejtőernyője. A zuhanás végén közel 100 mph \approx 160 km/h-val sűrű bokorba csapódott, megrepedt a tüdeje és bokatorést szenvedett, de túlélte a balesetet” [5].

A fenti szimulációt lefuttattuk 1000 és 5000 méterről lezuhanó testre (70 kg-os hason zuhanó emberre), és becsapódási sebességre (nagy meglepetésre) szinte ugyanazt a sebességértéket kaptuk (156 km/h), mint



4. *ábra*. Bal oldalon az érettségi feladatban szereplő *ábra*, a jobbra a szimuláció alapján készült grafikon látható. A jobb oldali grafikonban a 75. másodpercben egy törés vehető észre, ugyanis itt szűnt meg a forgó mozgás (a szimulációban hirtelen, átmenet nélkül). A kezdeti értékek: $dt = 0,1$ s, $h = 39$ km, $c = 0,4$, majd $t = 75$ s után $0,6$, $m = 110$ kg, $A = 1$ m², $V = 0,1$ m³.

ami a cikkben szerepelt. Más ejtési magasságokból történő futtatás során megtaláltuk azt a kritikus értéket (körülbelül 400 m), ami fölött zuhanva mindig ugyanakkora lesz a becsapódási sebesség (tehát nagyobb esélyünk van a túlélésre, ha magasabbról zuhanunk le, mert több időnk van kiszemelni puha, rugalmas becsapódási tereptárgyakat). A sebesség-idő grafikonokban csak a maximális sebességeknél adódtak különbségek: a nagyobb magasságokhoz nagyobb sebességmaximumok adódtak (3. *ábra*). Ha viszont nem hason, hanem állva – kisebb közegellenállással – zuhanunk, a maximális becsapódási sebesség nagyobbak (273,5 km/h-nak) adódtak.

Ugrás 39 km magasságból

A középszintű érettségi feladatok között (2013. október 3/B) is találtunk zuhanással kapcsolatosat (ami – később látni fogjuk – abban tér el az előző feladattól, hogy az ember esés közben forgott, így alakítványozója is változott az idővel).

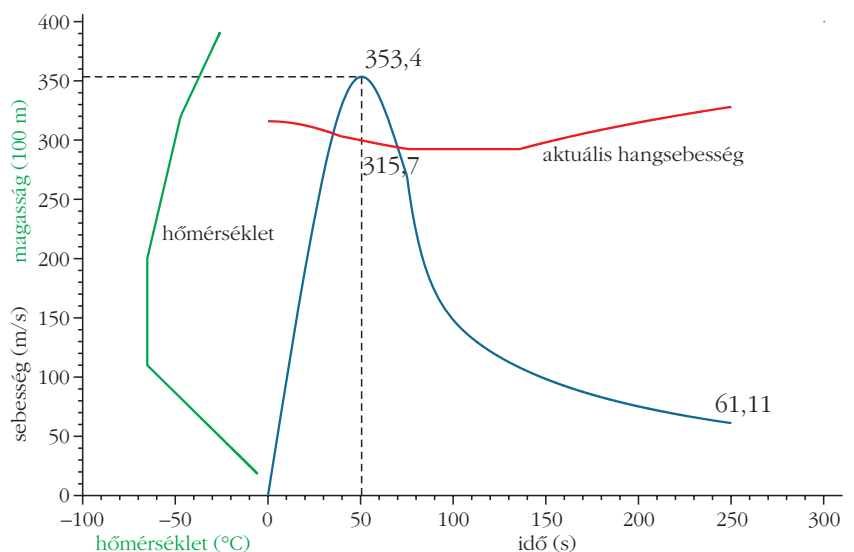
A feladat szövege [6]: „2012-ben Felix Baumgartner egy különleges ugrással egyszerre több rekordot is megdöntött. A Föld felszíne fölött 39 km magasságból ugrott le (a légnyomás ebben a magasságban körülbelül 430 Pa, a hőmérséklet pedig -57 °C), 4 perc 22 másodpercig zuhant az ejtőernyő kinyitása nélkül. A zuhanás közben elért maximális sebessége 1342,8 km/h, a hangsebesség 1,24-szerese volt.”

A feladat egy sebesség-idő grafikon is mellékelte (forrása ismeretlen), így lehetőségünk nyílt a szimulációval való összevetéssel. A feladatban szereplő kezdeti értékeket beírtuk a programba, és a kiszámolt vektorokat ábrázolva kaptuk meg a

sebesség-idő grafikon ($h = 39$ km, $m = 110$ kg, felszereléssel együtt). Egy kis utánaolvasással kiderítettük, hogy Baumgartner hason kezdett zuhanni, de később forgásba jött, majd mozgását csak a 75. másodpercben tudta stabilizálni. Ezt követően hason esett tovább [7]. A fejjel lefelé zuhanás (hasonlóan a lábön zuhanáshoz) alakítványozója 0,2, a hason zuhanásé (a háton zuhanásé szintén) pedig 0,6. Egyenletes forgást feltételezve a két érték átlagát, azaz 0,4-es, majd a $t = 75$ s után 0,6-es alakítványozót írtunk a szimulációba (4. *ábra*).

A feladat szövegében azt is olvashatjuk, hogy ugrása során Felix Baumgartner a hangsebességet is átlépte (a maximális sebessége a hangsebesség 1,24-szerese volt). Ennek ellenőrzését is kihívásnak tekintettük, és úgy döntöttünk, hogy szimulációnkat kiterjesztjük a hangsebesség vizsgálatára is. A normál levegőben megismert konstans hangsebesség

5. *ábra*. A grafikon bal oldali részén a hőmérséklet magasságfüggése, a jobb oldali részen Baumgartner és a hang sebességének időbeli változása látható. A grafikonról leolvasható Baumgartner maximális sebessége és az aktuális időpontban a hangsebesség. A kezdeti értékeken nem változtattunk.



helyett ennél a problémánál a hangsebesség hőmérsékletfüggésével is számolnunk kellett (2), ezért szükségünk volt a pillanatnyi magasságok a hőmérsékletértékeire:

$$v_{\text{hang}} \text{ (m/s)} = 331,5 + 0,6 t \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (2)$$

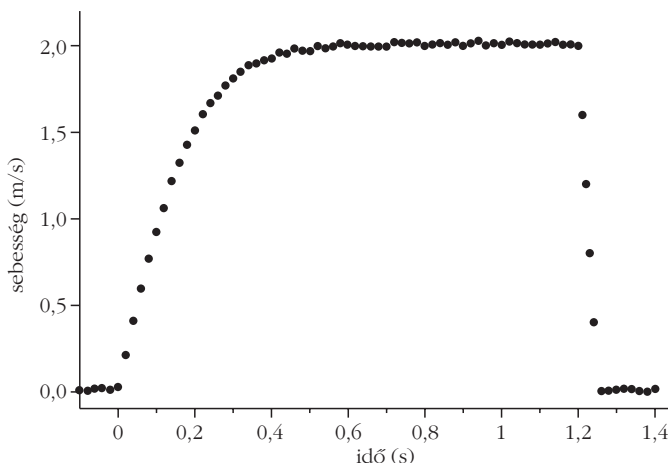
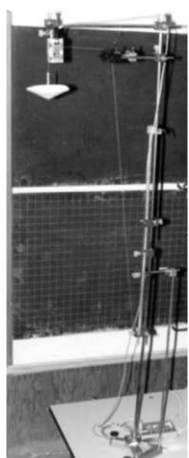
A légkör hőmérsékletének tanulmányozása különösen érdekes volt a tanulók számára. Természetesen az irodalomban talált adatok és összefüggések alkalmazása előtt megjegyeztem, hogy ezek a hőmérsékletadatok a légköri mozgások miatt többé-kevésbé változnak, de a légköri szondák adatai alapján jó közelítő értéket mutatnak [8]. Érdekes felfedezés volt a tanulók részéről, hogy a hőmérséklet a magasság függvényében csak a troposzféra határáig csökken, onnan először stagnál, majd (első közelítésben nem várt módon) növekszik a sztratoszférában. A hőmérsékletgörbék tanulmányozása alapján újra elolvastva a feladat szövegét, megállapítottuk, hogy az érettségi feladat szövege helytelenül állítja, hogy 39 km magasan -57°C a külső hőmérséklet (szerencsére ez az adat a feladatmegoldásban nem kerül felhasználásra), ez csak 10-20 km magasságban tapasztalható. 39 km magasságban a görbék alapján -30°C várható, de az irodalom szerint az ugrás pillanatában -26°C -t mértek [9].

A szimulációba beépítettük a hőmérséklet magasságfüggését, és a (2) egyenlet alapján az idő függvényében kiszámoltuk és ábrázoltuk a hangsebességet (5. ábra).

A szimuláció alapján elmondható, hogy Baumgartner a 35. másodpercben átlépte a hangsebességet és annál további 35 másodpercen keresztül nagyobb sebességgel zuhant, maximális sebessége $352,4 \text{ m/s} = 1268,64 \text{ km/h}$ volt, ami az aktuális hangsebesség 1,12-szorosát éri el.

Az érettségi feladatban fel kell sorolni az ugróra ható erőket, a megoldókulcsban viszont a felsorolt erők között nem szerepel a levegő felhajtóereje, ami ebben az esetben – a kis térfogat miatt – természetesen elhanyagolható.

6. ábra. A 2017. októberi írásbeli érettségi 3/A feladatában szereplő fotó és a hozzá kapcsolódó grafikon.



2017. októberi írásbeli érettségi 3/A feladata

További adatgyűjtés során egy olyan zuhanással kapcsolatos feladatot találtunk, amelyben a felhajtóerő szerepe – az előző feladathoz képest – már nem elhanyagolható.

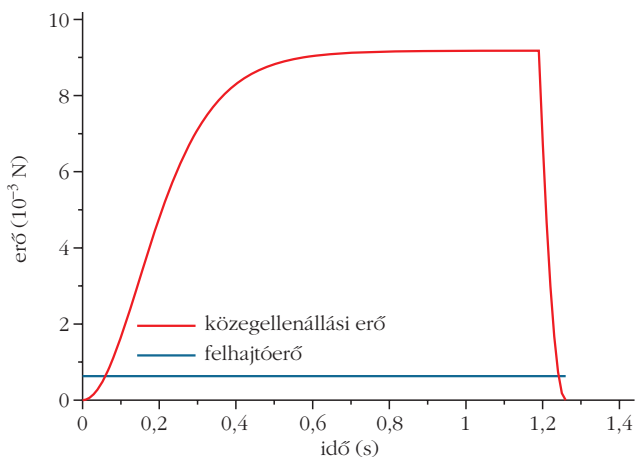
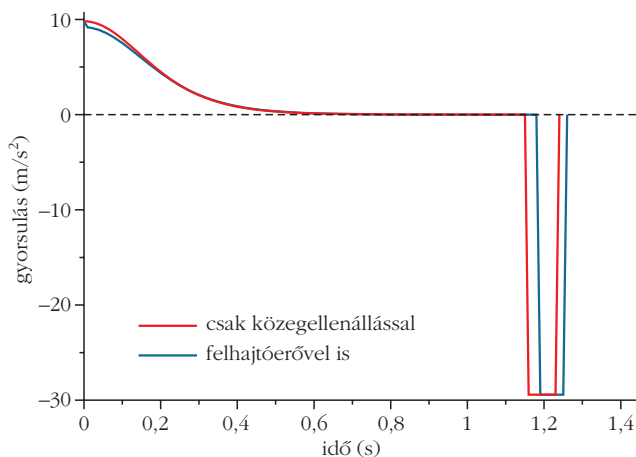
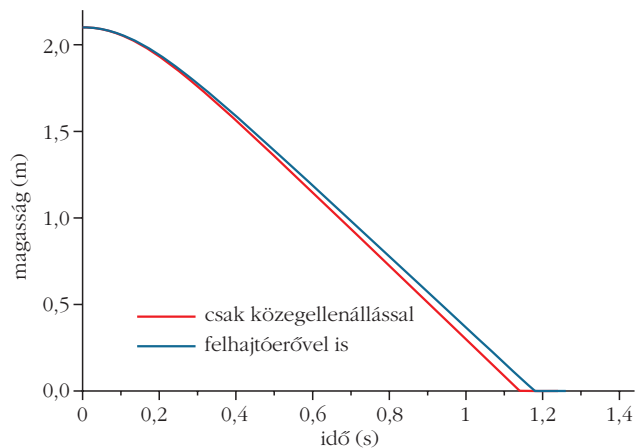
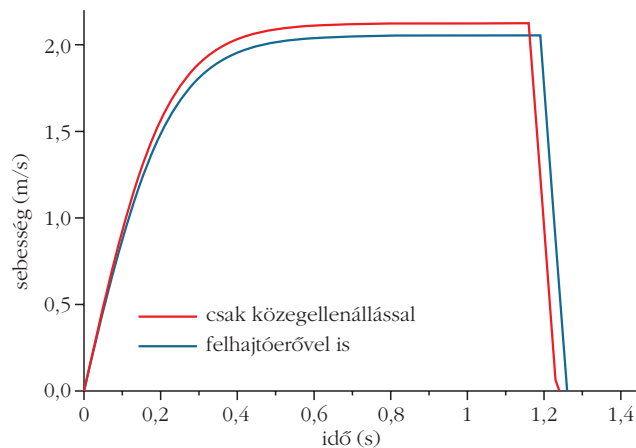
A feladat szövege [10]: „Egy egyszerű kísérletben egy papírkúp mozgását vizsgáltuk. A papírkúpot egy asztalra helyezett állványról ejtettük le, majd egy videó segítségével képkockáról képkockára vizsgáltuk a helyzetét, és ebből számoltuk a sebességét. A papírkúp mozgásának sebesség-idő grafikonja a mellékelt [6.] ábrán látható.”

A feladatban a levegő hatását azért nem hagyhatjuk figyelmen kívül, mert a papírkúp kis súlya mellett jelentős nagyságú a rá ható közegellenállási erő. A Baumgartner ugrásánál használt szimulációba már eleve beépítettük a felhajtóerő figyelembevételét, de annál a mozgásnál nem befolyásolta a végkimeneteli értékeket. A papírkúp esésének tanulmányozására nem kellett új szimulációt írni, hiszen az előző szimuláció már fel volt készítve a felhajtóerővel való számolásra is. Az érettségi feladat grafikonjának az elemzése azonban egy kis kiegészítésre ösztönzött a szimulációval kapcsolatosan: Michael Holmes és Baumgartner becsapódását pillanatszerűnek vettük, de a tapasztalat szerint (és a 3. ábra grafikonja szerint is) a sebesség gyorsan ugyan, de nem pillanatszerűen változik. A sebesség ezen gyors változásával, az úgynevezett becsapódási mechanizmussal egészítettük ki programunkat, de többi része teljesen alkalmas volt az új feladat tanulmányozására. A kezdeti értékek megadásánál előszörban a papírkúp adataira lett volna szükségünk, de sajnos a feladatban szereplő fotó csak becslésekre adott lehetőséget. A kúp alapkörét 5 cm-nek, tömegét 1 grammnak vettük, így nagyon hasonló grafikont kaptunk a szimuláció lefuttatása után.

A további tanulmányozás céljából felmerült a kérdés, hogy a felhajtóerő – hasonlóan Baumgartner ugrásához – itt is elhanyagolható-e? Ennek vizsgálatára a szimulációt a felhajtóerővel és annak elhanyagolásával is lefuttattuk, és az összetartozó fizikai mennyiségeket közös koordináta-rendszerben ábrázoltuk (7. ábra).

Nagy meglepetésre ennél a mozgásnál már észrevehető különbség adódott a sebesség-idő grafikonoknál.

A továbbiakban elkészítettük a gyorsulás-idő és magasság-idő grafikonokat is (ahol szintén módosultak a grafikonok képei a felhajtóerő figyelembevételkor). A közegellenállási és felhajtóerők időbeli változásának nyomon követése adta meg a magyarázatot a grafikonok különbözőségére. A felhajtóerő a kis magasságkülönbség miatt a mozgás során állandónak tekinthető (a szimulációban



7. ábra. A papírkúp esésének tanulmányozására írt szimuláció sebesség-idő, magasság-idő, gyorsulás-idő, valamint a közegellenállási és felhajtóerő – idő grafikonjai. A felhajtóerővel és anélkül számított értékeket közös koordináarendszerben ábrázoltuk. A kezdeti adatok $dt = 0,01$ s, $h = 2,1$ m, $c = 0,45$, $m = 1$ g, $r = 5$ cm.

csak a 7. tizedes jegyben tért el a két magasságszint között), a közegellenállás viszont – négyzetes sebességfüggősége miatt – intenzíven változott. Ha a két erő maximumát hasonlítjuk össze (3), akkor a felhajtóerő az elhanyagolás határán mozog (7%), de a mozgás első tizedmásodpercében folyamatosan nagyobb, mint a közegellenállási erő (7. ábra):

$$\frac{\max(F_f)}{\max(F_k)} \approx 0,07. \quad (3)$$

A megoldókulcs itt sem ad pontot a papírkúpra ható erők felsorolásánál a felhajtóerő említéséért.



A második részben léggömbök, lövedékek és rakéták mozgásának szimulációival fogok foglalkozni.

Irodalom

1. https://bmefilozofia.blog.hu/2016/07/23/letezhet_termeszet_tudomany_kiserlet_nelkul
2. <https://phet.colorado.edu/hu/simulations/category/physics>
3. <http://tudasbazis.sulinet.hu/hu/informatika/informatika/informatika-9-12-efvfolyam/a-szimulacio-modszertana/a-szimulacio-modszertana>
4. <https://www.scilab.org/>
5. http://www.bbc.co.uk/jersey/content/articles/2006/12/20/michael_holmes_fall_feature.shtml
6. http://dload.aktatas.educatio.hu/erettsegi/feladatok_2013osz_kozep/k_fiz_13okt_fl.pdf
7. <https://www.livescience.com/23710-physics-supersonic-skydive.html>
8. http://www-mdp.eng.cam.ac.uk/web/library/enginfo/aero_thermal_dvd_only/aero/atmos/atmos.html
9. <https://galaktika.hu/szkafander-a-nagy-ugrashoz>
10. http://dload.aktatas.educatio.hu/erettsegi/feladatok_2017osz_kozep/k_fiz_17okt_fl.pdf
11. <https://1drv.ms/f/s!An0er2QwvGjytDxO4UrVauVNqCwu>

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

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

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

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

Nyomdai előkészítés: Kármán Stúdió, nyomdai munkálatok: OOK-PRESS Kft., felelős vezető: Szathmáry Áttila 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: 900.- Ft (duplaszámé 1800.- Ft) + postaköltség.

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

TANULÓI TÉVKÉPZETEK VIZSGÁLATA AZ ELEKTROMOSSÁGTAN TÉMAKÖRÉBEN

Radnóti Katalin, Nguyen Q. Chinh
ELTE TTK, Fizikai Intézet

Írásunk első részében röviden ismertetjük a tanulói tévképzetek kutatásának fontosságát, valamint bemutatjuk a fizika oktatása során gyakran tapasztalható tanulói elképzeléseket. A második részben saját tapasztalatainkat osztjuk meg az elektromosságtan témakörében íratott egyetemi vizsgadolgozatok elemzésével.

A tévképzetekről általában

A tanulással foglalkozó legújabb elméletek azt vallják, hogy a diákok fejében nem egyszerűen az információfelvétellel formálódik, alakul a tudás, az nem közvetítődik, hanem a tanuló saját maga konstruálja meg, és e folyamatban meghatározó szerepe van az *előzetes tudásnak*.

Valójában a diákok minden témával kapcsolatban rendelkeznek valamilyen, „jó” vagy „rossz” előzetes elképzeléssel, amely meghatározza a további tanulás folyamatát, és sajnos nem egy esetben nehezíti azt. Ezért fontos, hogy a pedagógus fokozottan figyeljen rájuk, hiszen ellenkező esetben félő, hogy az új tudás nem alakul ki a diákokban, és csak mint megtanult versike (például Arkhimédész-törvény) lesz az adott ismeret.

A gyermekek természeti jelenségek magyarázatára használt fogalomrendszere *néhány fogalombalmaz fokozatos differenciálódásaként* írható le. Ezek egyi-

ke az inkább *statikus* viszonyok jellemzésére használt, a mennyiséggel kapcsolatban álló fogalomhalmaz. Ilyen például a sok, nehéz, nagy, sűrű, kemény és ezek ellentétei. A másik nagy fogalomhalmazt *dinamikusnak* nevezhetjük. Ide tartozik a mozgás, az erő, a gyorsaság (ez nagyon nehezen differenciálódik sebességre és gyorsulásra), a nyomás, a hő, a hőmérséklet, az energia. E fogalomhalmazzal kapcsolatos a gyermektudomány elemeinek azon jellegzetessége, hogy a diákok erősen keverik az *extenzív* és *intenzív* fizikai mennyiségeket, vagyis a folyamatok során összeadódókat, illetve kiegyenlítődéket. Jellemzően a kiegyenlítődő mennyiségeket is összeadódóként kezelik. Ennek legjobb példája a hő és a hőmérséklet fogalmak keverése. E két fogalom a tudomány története során is viszonylag későn vált ketté.

A tévképzetek gyakran makacsul ellenállnak a megváltoztatásukra irányuló kísérleteknek, így az oktatás során akadályként jelennek meg. Valójában ezen sémák gyakran mégis jól működnek a gyermek világában, olyan kapcsolódási pontokat nyújtanak, ahonnan kiindulva felépíthető a későbbi, pontosabb tudás. Ezért nem mindenki használja szívesen a tévképzet kifejezést. A tévképzetek egy részét maga az oktatási folyamat, például félvezető tankönyvi ábrák hozzák létre. A tévképzetkutatás a 80-as években az angolszász országokban kezdődött [1]. Később hazánkban is számtalan ilyen jellegű kutatás szerveződött, így már magyarul is olvashatunk a témáról [2–5].

„A kutatás az ELTE Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program (1783-3/2018/FEKUTSRAT) keretében valósult meg az Emberi Erőforrások Minisztériuma támogatásával.



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 természettudományok tanításának módszertana.



Nguyen Quang Chinh az ELTE Anyagfizikai Tanszékének egyetemi tanára. Évek óta foglalkozik az anyagok plasztikus alakváltozásának vizsgálatával, a plasztikus instabilitás és hasonló folyamatok leírásával, illetve elemzésével. Oktatási és kutatási munkája mellett elkötelezett támogatója a Tudományos Diákköri (TDK) mozgalomnak. Országos konferenciákon több hallgatója is helyezést szerzett. Jelenleg az ELTE Fizikai Intézet TDK-felelőseként koordinálja a kari fizikai TDK tevékenységeket.

Tévképzetek a fizikában

A tévképzetkutatások a fizika területén kezdődtek el. Az iskolában tanult newtoni mozgásleírás elfogadása a leginkább közismert és sokszor komoly gondot okozó. Ez az egyik legfontosabb fogalmi váltás, amelyet az általános iskolában kell elkezdni. Sok esetben hallunk olyan tanulói elképzeléseket, amelyek az ókori görög tudós, Arisztotelész elképzeléseihez hasonlítanak.

Az anyag részecsketermészetének elfogadása

Sokáig azt gondolták, hogy az *anyag a végtelenségig osztható* úgy, hogy közben az egyre kisebb részek megtartják eredeti tulajdonságaikat. Bár az ókori görögök tudósokban is felvetődött, hogy ez nem biztosan van így (*Demokritosz*), de a középkorban és sőt még az újkorban is ez volt az uralkodó nézet. A teljes tudóstársadalom is csak a 20. század elején fogadta el az *anyag atomos természetét*, vagyis, hogy

az anyag nem folytonosan tölti ki teret, és az egyes részecskék között vákuum van.

Sok olyan jelenség van, amely folytonos anyagképpel is jól magyarázható, például a testek hőtágulását úgy is nagyon jól lehet elképzelni, hogy az anyag nyúlik, mint a rétestészta. Ellenben a halmazállapot-változásokat már nehéz lenne a folytonos anyagképpel elképzelni. Az anyag részecskékének elfogadása is fontos fogalmi váltás, és lényeges elem a természet működésének megértéséhez, amelyhez a kémia tantárgy tanulása is hozzájárul.

Meleg vagy magas hőmérsékletű?

A *hő* és a *hőmérséklet* fogalmakat régen kevésbé élesen különböztették meg. Egyszerűen csak azt mondták, hogy meleg vagy hideg van. *Galilei* alkotta meg az első hőmérőt. A hőt ez után sokféleképp értelmezték, amelyekhez hasonlóak esetleg a tanulók elképzeléseikben is megtalálhatók. Ilyenek lehetnek a következők:

- A hőt a testhez tartozó valamiféle lényegnek tartották. Ez a régi hőanyagelmélet alapja.
- A hőmérséklet egyfajta anyagi tulajdonság, holott ez állapotjelző.
- A termikus egyensúly esetében is különböző a testek hőmérséklete, amely függ az anyagi minőségtől. Könnyen meggyőződhetünk, hogy nem így van, elég megmérni a különböző testek hőmérsékletét egy normál szobában. (Nem a konyhában, ahol ott a hűtőszekrény, vagy esetleg éppen főzésnek.)
- Melegítés hatására a testek hőmérséklete minden esetben növekszik. Ez a halmazállapot-változások esetében nem igaz!

Mit állít elő az erőmű?

„Az energiát erőművekben termelik, majd a fogyasztókhoz vezetik, akik azt elhasználják.”

A hétköznapi életben sokszor azonos értelemben használjuk az *erő* és az *energia* fogalmát, azok nem differenciálódtak. Ez is a fizikaórák feladata.

Elektromos jelenségekkel kapcsolatos tévképzetek

A formális fizikatanulmányok kezdetére bizonyos tudáselemeket, elképzeléseket – többek között – az elektromosságtan témakörében is konstruálnak magukban a gyerekek. Mindennapi életük során sok elektromos eszközt használnak, játékaikban elemek, motorok, izzók, huzalok, kapcsolók, esetleg még komolyabb elektronikai alkatrészek is vannak. Már egészen kicsi gyerekek is olyan, elektromos árammal kapcsolatos műveleteket végezhetnek, mint például:

- elektromos kapcsoló, például villanykapcsoló használata;
- elemcsere, például játékban, elektronikus háztartási eszköz távirányítójában;

• elektromos jellegű játékkal, például autóval, mozgó, beszélő babával való játszás;

- „számítógépezés”,
- telefon használata.

Az elektromos árammal működő eszközök használata esetén is energiaváltozások figyelhetők meg, és ahogy az energia témakörénél, úgy itt is igaz, hogy a kezdeti gyermeki elképzelések valamilyen módon a „keletkezés” és a „megszűnés” képzetivel kapcsolhatók össze, pontosabban a *forrás-fogyasztó* szemlélet egyeduralmát lehet kimutatni a korai gyermeki gondolkodásban.

A forrás-fogyasztó szemlélet azt jelenti, hogy a gyermek gondolkodásában az áramforrás és a fogyasztó kapcsolata egyirányú, áramkörfogalomról itt még nem beszélhetünk. Azt gondolhatja, hogy elég csupán egy huzallal összekötni a fogyasztót az áramforrással, például az izzót az elemmel. Az elektromos áram valamilyen fogalma már kialakult a gyermekben, de az áramkörrel, vagy a töltések mozgásával kapcsolatban még semmilyen elképzelése nincs, legalábbis ez hangzik logikus feltételezésnek.

Az egyoldalú, forrás-fogyasztó szemlélet másképpen is jelentkezhethet. E fejlődési szakaszban már valódi áramkör van, azonban az áram nem jár körbe, a teleptől a fogyasztó felé folyik, ott a két ágon „jövő” áram „ütközik”, és ez a világítás oka. Ezt az elképzelést „ütközös modellnek” nevezik [5].

A fejlődés további állomásain a gyermek már valódi áramkört képzel el, amelyben a töltések körbe-körbe áramlanak. E modellek jellegzetessége – legalábbis még egy darabig – azonban, hogy *a töltésmegmaradást nem tartalmazzák*. A forrás-fogyasztó modell még mindig hat, az elektromosság keletkezik (az elemben) és elnyelődik, elfogyasztódik (a fogyasztóban). A sorba kapcsolt izzók közül – a gyermek szerint – jobban világít az, amelyiket előbb éri el az áram, hiszen „az utána következőnek már nem jut annyi áram, mint az elsőnek” – pedig jól tudja, hogy az izzók abszolút egyforma tulajdonságúak. Ez a kép módosulhat, ha a jó fizikatanár gondosan megmutatja a gyerekeknek (vagy elvégezteti velük a kísérletet, amelyben a tanuló kénytelen tapasztalni), hogy az izzók egyformán világítanak, s ez elindíthat némi változást a megfelelő tudásrendszerben. A diákok számára egyáltalán nem könnyű a fogalmi váltás, ahogyan az számtalan fizikaórán tapasztalható akár a 8., akár a 10. osztályban. A gyerekek egy része váltig állíthatja, hogy szerinte a második izzó gyengébben világít (s valljuk be, előfordulhat, hogy nem teljesen egyformák az izzók). Mondhatják azt is, hogy olyan kicsi a különbség, ami észrevehetetlen, de van. Módosíthatják elképzelésüket: az izzók egyformán világítanak, a rajtuk áthaladó áram erőssége megegyezik, de utána az áram „legyöngül”, és a telepen már kisebb áram folyik át. Ez érdekes példa arra, hogyan építenek be a gyerekek új tapasztalatokat a meglévő, a tudományossal szöges ellentétben álló (a töltésmegmaradást el nem fogadó) elképzeléseik kereteibe.

A töltésmegmaradás tényének elfogadása fontos fogalmi váltás a gyermeki gondolkodás fejlődésében.

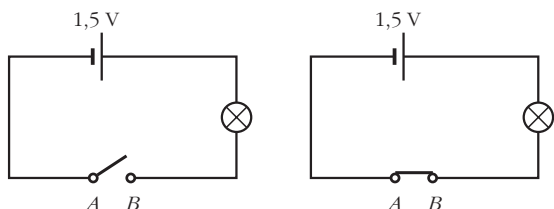
Összefoglalva, az áramkörökkel kapcsolatos alapvető gyermeki elképzelések a következő négyféle modell szerint írhatók le:

- nincs áramkör, csak egyetlen huzal;
- ütközős modell;
- nem konzerváló modell;
- érett, az áramköri folyamatok lényegét jól tükröző, a tudományosnak megfelelő kép.

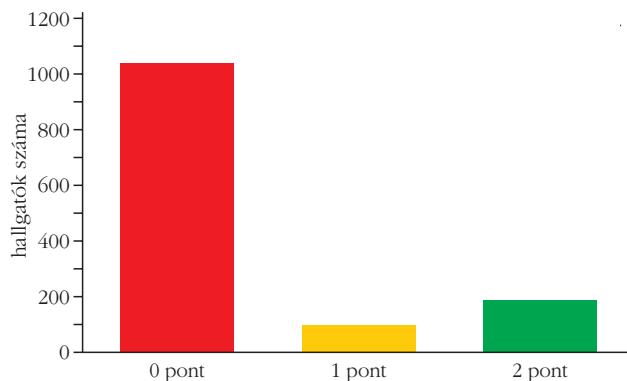
A töltésmegmaradás elvének elfogadása még nem feltétlenül jelenti azt, hogy a tanulóban minden tekintetben a tudományos képnek megfelelő felfogás alakult ki. Olyan szemléletmód is megformálódhat, amelyben az áramkör egy adott pontján végrehajtott módosítás csak azon a ponton, illetve az áramirány szerint az után következő áramköri elemeken okoz változást. Ez a jelenség kapcsolatban lehet egy korábbi állapottal, a töltésmegmaradást még nem elfogadó gyermeki gondolkodással, de magasabb szinten is jelentkezhet.

A probléma gyökerét sok kutató abban látja, hogy a gyerekek az áramkör teljesebb – már a töltésmegmaradást is tartalmazó – értelmezése keretében egyfajta *szekvenciális modellt* konstruálnak. Ennek lényege, hogy az áramkörben a töltésmozgást, és az annak megfelelően kialakuló elektromos jelenségeket egy szekvenciális folyamatként írják le, vagyis az elektronok „kijönnek” az áramforrásból, szép sorban végighaladnak az egyes áramköri elemeken, ahogy azok sorba vannak kötve, és a folyamat végén „bemennek” az áramforrásba. Lényegében tényleg ez történik, de két probléma mindenképpen adódik, ha e kép uralkodik el az áramkörök „működésének” magyarázatán. Az egyik, hogy *a jelenségek lokálisak lesznek*, amikor az áram „odaér”, akkor – függetlenül attól, hogy milyen más elemek vannak a körben – ott fog történni valami. Márpedig tudjuk, hogy a jelenségeket az áramkör egésze határozza meg, lokális magyarázatok nem adhatók. A másik probléma – hogy *az elektromos jelenségek „ősoka” az áram* – is ezzel függ össze, illetve ez a szemlélet erősödik meg. Látni fogjuk, hogy ebből következik az áramerősség és a feszültség fogalmainak összekapcsolása. Példaként nézzük a következő feladatot!

Mekkora feszültség mérhető az *AB* pontok között ideálisnak tekinthető feszültségmérővel a vázolt két esetben?



- 1,5 V és 1,5 V
- 0 V és 0 V
- 1,5 V és 0 V
- 0 V és 1,5 V
- Nem dönthető el, mert nem tudjuk az izzó ellenállását.



1. ábra. Az egyszerű áramkör-tesztfeladat megoldottsága a 2008-as felmérésben.

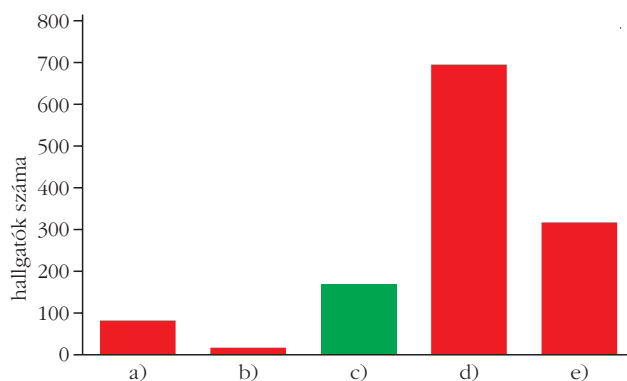
A feladat több ízben szerepelt első éves egyetemi hallgatók belépő dolgozatában, amelyet tanulmányaik megkezdése előtt szoktak megírni a felsőoktatási intézményekben. A megoldottsága 20% körül, vagy az alatt szokott lenni. Ennek oka minden bizonnyal a feszültség és áramerősség fogalmak differenciálatlan volta.

Bő tíz éve, 2008 őszén 1324 fő, a felsőoktatás mérnök és fizika BSc szakjaira beiratkozó diák írt meg egy, a hallgatók fizikatudás-szintjét vizsgáló dolgozatot, amelynek egyik kérdése volt a fenti feladat. Indoklást is kértünk. 189-en jól választottak és indokoltak, 2 pontot kaptak. A kollégák részpontoszámot, 1 pontot azon 96 hallgatónak adtak, akik szövegesen értékelhető gondolatokat írtak le. A többiek – 1039-en(!) – 0 pontot kaptak (1. ábra).

A feladat még azon hallgatók körében is nehézséget okozott, akik emelt szinten érettségiztek. A feladathoz sokan írtak olyan téves megjegyzéseket, hogy ha nem zárt az áramkör, akkor nem is lehet feszültséget mérni. Ehhez hasonló gondolatmenet alapján jutottak arra a következtetésre is, hogy csak a d) válasz (0 V és 1,5 V) lehet a jó [6].

Hét évvel később, 2015 őszén egy újabb felmérésben szerepelt ez a feladat. A felmérésben 1320-an, mindannyian az adott évben érettségizett diák vett részt, de az előbbi felméréssel ellentétben nem csak mérnök, illetve fizika BSc-s, hanem bölcsészhallgatók is voltak. A felmérés online történt, így a válaszok kódolva voltak, amelyek közül mi szűrtük ki a

2. ábra. Az egyszerű áramkör-tesztfeladat megoldottsága a 2015-ös felmérésben.



jót. Nem csak azt néztük, hogy jó vagy rossz választ kaptunk, hanem minden egyes válaszlehetőség előfordulását is vizsgáltuk. Másrészt szöveges indoklást vagy megjegyzéseket nem tudtunk kérni. Mindössze 168-an jelölték be a helyes választ, ami messze elmarad a véletlenszerű választás esetében tapasztalható 20%-nak, 264 főnek.

A kapott adatok megerősítették a fentebb írtakat: a diákok ténylegesen keverik az áramerősség és a feszültség fogalmakat.

A 2. ábrából látható, hogy a legtöbben – a helyes c) válasz helyett – a d) választ, vagyis éppen a fordítottját jelölték meg megoldásként. Ez a feszültség és az áramerősség fogalmak *differentiálatlan* voltát mutatja a frissen érettségizett hallgatók esetében, hiszen akkor kellene valamit mutatnia a műszernek, amikor a lámpa világít. Az e) válaszlehetőséget megjelölők pedig – minden bizonnyal – számításon feladatnak tekintették a problémát, és kevésnek találták a kapott adatokat.

Az eredmények azt mutatják, hogy a fizika tanulása során fontos megépített, valódi áramkörökön méréseket végezni és eredményeket elemezni. A szerzők egyike (RK) több olyan 8. évfolyamos tanórán vett részt, ahol a diákok egyik feladata a fenti áramkör megépítése és a kapcsolón eső feszültség megmérése volt. Nagyon sok diák elcsodálkozott azon, hogy a műszer akkor mutatott közel nulla értéket, amikor a lámpa világított. Többen szóltak tanáruknak, hogy a műszerük elromlott, és cserélje ki azt. A tanár néhány esetben megtette, így a diákok – némi tanári segítséggel – fokozatosan rájöttek, hogy a műszerek nem romlottak el, nem mutatnak hibás eredményt.

A diákokok problémáját az áramerősség és feszültség fogalmak *differentiálatlan* volta, azok gyakorlatilag azonosnak tekintése okozza. Vagyis a feszültségfogalom nem különül el az áramerősség fogalmától, ha van áram a körben, akkor a feszültségnek sehol sem szabadna 0-nak lennie. A feszültség a diákok szemében ugyanúgy az „áram erősségére”, energiájára, „hatékonyságára” jellemző mennyiség, mint az áramerősség, sőt, az Ohm-törvénnyel még meg is erősítjük bennük a két mennyiség azonosítására vonatkozó elképzelést. Tehát a tanulók többségének a feszültség az áram tulajdonsága, és lényegében az áramerősséggel azonosul. A nyitott áramkör esetén nincs áram, tehát a feszültség is 0 V, ha zárjuk az áramkört, akkor pedig az 1,5 V-os elem miatt 1,5 V lesz a kapcsoló kivezetéseinek a feszültség, hiszen ebben az esetben van áram.

Földtudomány szakos hallgatók fizikatudásának vizsgálata elektromosságtan vizsgadolgozataik alapján

Írásunk további részében földtudomány szakos hallgatók elektromosságtan témakörben írt egyetemi vizsgadolgozatait elemezzük. Bemutatjuk, hogy a hallgatókban milyen jellegű tévképzetek jelennek meg, és

megpróbáljuk értelmezni, hogy az ilyen tévképzetek milyen közoktatásbeli hiányosságokra vezethetők vissza. Természetesen nem várjuk el, hogy a közoktatásban egyetemi tananyagot tanítsanak, csak az alapozáshoz szeretnénk javaslatokat adni a hallgatók tévképzetei, hiányosságaik bemutatásával. A fizika és ezen belül az elektromosságtan oktatásának javításához szeretnénk hozzájárulni.

A földtudomány, illetve különböző ágainak műveléséhez elengedhetetlen a fizikatudás. Továbbá az alkalmazott mérőműszerek mindegyike fizikai alapon nyugszik. Ezért a földtudomány szakos hallgatóknak kötelezően előírt fizikakurzusokat, mint mechanika-hőtan és elektromosságtan-optika tartunk. Azon hallgatók számára, akik nem elegendő tudást hoznak középiskolai tanulmányaikból fél éves felzárkóztató kurzust szervezünk. Sajnos az 1. évfolyam nagy részének látogatnia kell, mivel a közoktatás során csak kevesen szereznek annyi ismeretet, hogy elfogadható mértékben tudják megírni a szintfelmérő dolgozatot. Ez az elkeserítő eredmény abból adódik, hogy a közoktatás utolsó évében már nem kötelező a fizika oktatása, a tanulók többsége nem érettségizik fizikából, így fakultatív tantárgyként sem veszik fel, egy éven át csak felejtik az addig megszerzett tudást. (A diákok inkább a földtudományokhoz legközelebb álló földrajzból és még valamilyen kötelező érettségi tantárgyból, legtöbb esetben matematikából fakultálnak.) Sokan számolnak be arról, hogy iskolájukban nem vették komolyan e tantárgyat, nem volt rendes fizikaórájuk. Továbbá nem gondolták, hogy választott szakjukon fontos lesz a fizika, ezért nagy többségük csak a kötelező érettségi tantárgyakra és az egyetemi bekezdésre koncentrált.

A fent említett vizsgadolgozatok szerkezete a következő: 20 darab kis kérdés szerepel, amelyekben fizikai törvények matematikai megfogalmazásait (képleteket), azok szöveges értelmezését – esetleg ábrával kiegészítve – kérjük. Majd 4 kifejtős kérdés szerepel. Ezek közül 2-3 rövid levezetés, 1-2 pedig gyakorlatilag középiskolási szintű számításon feladat. A hallgatók előre megismerik a dolgozat szerkezetét. Készülésükhöz megkapják a várható kérdések, levezetések körét (természetesen annál jóval többet), akár olyan formában is, ahogy az a dolgozatban szerepel. A feladatmegoldást pedig – az előadásokon túl – számolási gyakorlat is segíti.

A dolgozatok értékelését minden esetben kvantitatívan is elvégezzük, a sikerességet statisztikailag is kiértékeljük. Azonban jelen írásunkban nem ezzel foglalkozunk, hanem kvalitatív elemzéssel, konkrét hallgatói megfogalmazások, hibás gondolatmenetek bemutatásával szeretnénk rámutatni a jellegzetes hibákra.

A hallgatók dolgozataiban is a *feszültség* definíciója bizonyult a legproblematisabb területnek.

Sokan a következő definíciót adták: $U = I \cdot R$, tehát „az elektromos feszültség egyenesen arányos az ellenállás értékével és az ellenálláson átfolyó áramerősség szorzatával”.

A hallgatók egy áramkörben lévő R ellenálláson eső feszültségként határozzák meg a fogalmat, és nem az elektromos mező töltésen végzett munkájához kötik.

Érdekes a következő hallgatói definíció is: „áramjárta vezető két pontja közt az áramerősségtől és a vezető ellenállásától függően feszültségkülönbség alakul ki”.

A potenciálkülönbség helyett itt még a „feszültségkülönbség” kifejezés is megjelenik. Az ellenállás két végpontja között, ha zárt áramkörbe kötjük, valóban feszültség lesz, de e mondatban az a tévképzet érhető tetten, mintha minden elektromos jelenség „őszoka” az elektromos áram lenne. Ez a felfogás tapasztalható a szinuszos váltóáram effektív értékeinek definiálásánál is. A hallgató szerint az áram áthaladva az ellenálláson „ugyanynyi feszültséget hoz létre...”.

Többször előfordul, hogy egy másik képletet – amelyben szerepel a feszültség – húznak elő, például a kondenzátorra vonatkozót, és azzal definiálják a feszültséget, $U = Q/C$.

Olyan megfogalmazást is érdekes olvasni e dolgozatokban, amikor a munkához – amelyhez ténylegesen tartozik – kötik fogalmat, de például a következő megfogalmazásban: „a töltésre ható W_{AB} munka és a Q töltés hányadosa.”

Ebben az esetben a munka és az erő fogalmának keveredése érhető tetten, hiszen definíció szerint az erő hat a testekre. (Ténylegesen egy másik test vagy mező hatása.) A mező ténylegesen erővel hat a töltésre, azon munkát végez, ami egy folyamat. A feszültség két pont között értelmezendő skalár mennyiség. Míg az erő egy adott pontban ható vektor.

Szinte már szórakoztató, amikor a hallgató „két ponttöltés közötti munkával” határozza meg a feszültség fogalmát $W_{AB}/Q = U_{AB}$. Ha csak a képletet néznénk, akár még jó is lehetne, de a szöveges megfogalmazásból látható, hogy sajnos nem érti a lényegét.

Tanulságos a következő megfogalmazás is: „Az elektromos feszültség egyenesen arányos az A - B közti munkával és az ezen folyó töltés hányadosával.” E szerint mi végzi a munkát, min végzi a munkát, mit jelent a folyó töltés? A hallgató csak arra emlékezett, hogy a feszültségnek köze lehet a munkához.

Az Ohm-törvény megfogalmazásakor is bőven találunk példát a feszültség és az áramerősség fogalmak *differenciálatlan* használatára. Kiváló eset az alábbi hallgatói meghatározás, amely elsőre még jó is lett volna: „A feszültség áramerősség egyenesen arányos az R ellenálláson átfolyó áramerősséggel feszültséggel és az R ellenállás hányadosával.”

A hallgató áthúzta az elsőre jól alkalmazott fogalmakat, így azok éppen fordítva szerepelnek. És fel sem tűnt – nem bántotta a fülét –, hogy a *feszültség folyik* át az ellenálláson, amely azért elég furcsa kifejezés.

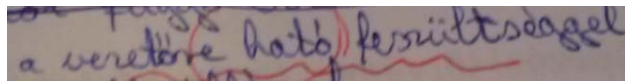
A hallgatók kis százaléka jelölte rajzán, hogy az ellenálláson eső feszültségről, nem pedig az áramkörbe kapcsolt áramforrás feszültségéről van szó.

Többen rajzoltak egyszerű áramkört, amely ellenállást is tartalmaz. Majd a „vezető feszültségéről” írtak.

Például: „A vezetőn folyó áramerősség egyenesen arányos a vezető feszültségével, illetve a feszültség egyenesen arányos a vezetőre jellemző ellenállással.”

A potenciál és a feszültség fogalmak is keverednek. „A potenciál egyenesen arányos az áramerősség és az ellenállás szorzatával.”

Találkozni olyan megfogalmazással is, amely a feszültséget az erőhöz hasonló fizikai mennyiségként értelmezi, mint például „a vezetőre ható feszültség”.



Van olyan hallgató, aki az elektrosztatikus tér erőmentességét értelmezi sajátosan, miszerint „bármely Δs elmozdulás és térerősség szorzatának összege nulla”.

Így hogyan tudna munkát végezni?

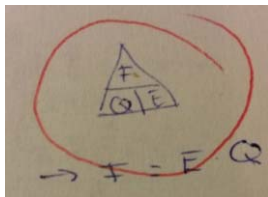
A Coulomb-törvényt is sikerült értelmetlenül megfogalmazni. „Két próbatöltés szorzata egyenesen arányos a Coulomb-erővel, távolságuk négyzete fordítottan arányos.” Miért a „próbatöltés” kifejezés? És a távolságuk négyzete mivel arányos fordítottan? Szinte tapintható az értelmetlen magolás.

Az *erő* és az *energia* fogalmának keveredése érhető tetten a motorok és generátorok működési elvének leírásában is. Ezekben az elektromos energia alakul át mechanikai energiává, illetve fordítva. A hallgatói megfogalmazás szerint viszont az „elektromos erővel mechanikai erőt képeznek”. Továbbá az erő mintha valamiféle külön anyag lenne. Ez az anyagszerűség jelenik meg ugyanezen hallgató esetében a szinuszos váltóáram effektív értékének definiálásában is, amelyet az áram „hőképző képességével” magyaráz. Vagyis a testek állapotához, vagy a kölcsönhatások jellemzésére szolgáló fizikai mennyiségek mintha külön, önálló létezők lennének.

Az egyetemi tananyagban természetesen szerepelnek a Maxwell-egyenletek, de a földtudomány szakos hallgatók esetében csak integrális formájukban. A hallgatók a korábbi kurzusaikon megismerkednek a differenciál- és integrálszámítás elemeivel, amely sajnálatos módon semmilyen formában sem kötelező tananyag a közoktatásban. A fizikában alapvetően fontos vektorokkal kapcsolatos ismereteket viszont már a közoktatásban kezdik tanulni a diákok. Az egyenletekre vonatkozó kérdések esetében is általános tapasztalat, hogy a hallgatók körülbelül emlékeznek valamiféle összefüggésre, de azok fizikai tartalmával már kevéssé vannak tisztában. Ezt jól jelzi például az, hogy a vektorjelöléseket rendszeresen leahagyják, holott vonal-, illetve felületi integrálokról van szó a vektorokkal jellemzett elektromos, illetve mágneses mező esetében.

A Gauss-törvény esetében például több hallgatónak nem világos, hogy a zárt felületen belül lévő töltésekről – hiszen azok keltik a teret –, nem pedig a zárt görbe felületén levőkről van szó. „Az elektromos mező térerőssége egyenesen arányos a zárt felületen lévő össztöltéssel.”

A hallgatói dolgozatokban egy-két számításos feladat is szerepel. Ponttöltések esetében általában a Coulomb-törvényt kellene alkalmazni. Adott pontban ható erők vagy térerősségek kiszámítása a feladat. Ezek megoldottsága rendkívül gyatra, holott azok középiskolás szintűek. Egy érdekes momentum bemutatása miatt írunk róla: a hallgató az erő, a térerősség és a töltés kapcsolatának kiszámításához úgynevezett segítő háromszöget használt.



Általános iskolai tanárok próbáltak meggyőzni eme segédeszköz ideiglenes használatáról, mondván, a diákok még nem tudnak egyenletet rendezni. Tehát matematikai hiányosságról van szó, amely megnehezíti a fizika tanítását. Ezért a fizikaoktatás elején szereplő kinematika témakörében az út-idő-sebesség számításához gyakran használnak ilyen segítő eszközt. A baj akkor keletkezik, ha ez a fajta segítség rögzül, és még a felsőbb matematika tanulása után is – a racionális meggondolások, a fizikai tartalom helyett – ehhez nyúl a diák.

Következtetések, javaslatok

Általános tapasztalat, hogy a hallgatók rendkívül hiányos alapokkal érkeznek. Ez nem csak a fizikai, hanem a matematikai tudás hiányosságaira is értendő. A diákok csak képleteket látnak, de a mögöttük lévő fizikai tartalmat már nem, amit az összefüggésekhez fűzött szöveges megfogalmazásokból láthatunk. A hall-

gatók nem érzékelik a fizikai mezők leírásához szükséges vektoriális megfogalmazások szükségességét. A fizikai mennyiségeket különálló létezőknek tekintik, nem pedig a testek, a mezők állapotához, vagy éppen a kölcsönhatás leírásához rendelt mérhető jellemzőknek. Nem differenciálódnak olyan alapfogalmak, mint az erő és energia, a feszültség és áramerősség. Azt javasoljuk, hogy a közoktatás éveiben a kollégák sokkal nagyobb hangsúlyt fektessenek a fizika alapvető fogalmainak megértetésére. Érdeemes ténylegesen megépíteni az egyszerű áramköröket, például a 2008-as, illetve a 2015-ös vizsgálatban szereplőt is, majd ahhoz kapcsolódóan méréseket (áramerősség, feszültség az áramkör különböző részein) és számításokat is végezni, illetve szimulációkat vizsgálni [7, 8].

Irodalom

1. Driver, R.: *The Pupil as Scientist?* Open University Press, Milton Keynes, Philadelphia, 1983.
2. Korom E.: *Fogalmi fejlődés és fogalmi váltás.* Műszaki Könyvkiadó, Budapest (2005) 192 o.
3. 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
4. Nahalka István: A természettudományos nevelés pedagógiai háttere. In: Radnóti Katalin (szerk.): *A természettudomány tanítása. Szakmódszertani kézikönyv és tankönyv.* Mozaik Kiadó, Szeged (2014) 19-68.
5. Nagy-Czirok Lászlóné, Horváth Gábor: Tanulók fizikával kapcsolatos tévhitei. *Fizikai Szemle* 69/2 (2019) 63-70.
6. Radnóti Katalin, Pipek János: A fizikatanítás eredményessége a közoktatásban. *Fizikai Szemle* 59/3 (2009) 107-113. <http://fizikai szemle.hu/archivum/fsz0903/FizSzem-200903.pdf>
7. <https://phet.colorado.edu/hu/simulations/category/physics/electricity-magnets-and-circuits>
8. <https://www.vascak.cz/physicsanimations.php?l=hu>

EGY TÉVESZME FELBUKKANÁSA OKTATÁSUNKBAN

Holics László
Budapest

Az általános és középiskolai fizika- és biológiaórákon a tanulói ifjúságot gyakran tévútra vezet egy elképesztő hiedelem. Érdekes tehát pár mondatot szólni ennek elemzésére. Az alábbiakban e hiedelem forrásaiból idézünk, és igyekszünk feltárni ellentmondásait. Kiindulunk egy konkrét újságcikkből, majd ké-

sőbb több más forrást felsorolunk, hogy e hiedelem széles körben való elterjedésére és egyben veszélyére rámutassunk.

A *Magyar Nemzet* 2004. február 14-i száma Magazinjának 29. oldalán jelent meg *Lexikon az agyban* címen *Balavány György* tollából egy írás, amelyben a *Hámori József* professzorral folytatott beszélgetés lényegét foglalja össze. E szövegben található egy képtelen állítás, ami sajnos nagyon elterjedt, még különböző pszichológia-, fejlődéslélektani stb. könyvekben¹ is olvasható. Az ominózus állítás így hangzik:

„A csecsemő először fordítva látja a világot, majd a tapasztalatok ráébresztik, hogy ez nem jó így – és a világ talpra áll.”

¹ Lásd a cikk végi idézeteket.



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

Az állítás sem információelméletileg, sem fejlődés-
lélektanilag nem állja meg helyét. Az érvek az aláb-
biakban szedhetők csokorba.

Ez az állítás még azoktól származik, akik a szemet,
mint optikai eszközt fogták fel (ami igaz is), és akik a
fizikatanulmányaik során megtanulták, hogy a lencse
fordított állású, kicsinyített, valódi képet hoz létre az
ideghártyán. Szerintük „mivel ez a kép nem felel meg
a valóságos viszonyoknak (hiszen a gyerek először
fordítva látja a világot), ezért meg kell tanulnunk,
hogy az ideghártya által adott képet vissza kell fordít-
tanunk. A csecsemőt kezdeti éle szakaszában a sok
tapasztalat győzi meg arról, hogy a látványt vissza kell
fordítani a valóságos helyzetnek megfelelően”. (Érde-
kes, hogy arról nem beszélnek, hogy „eleinte kicsi-
nyítve látja a csecsemő a világot, majd tapasztalatai
alapján később áll helyre a valóságos méret”, sem
arról, hogy a bal- és jobbot is felcserélve látja a cse-
csemő. Ha következtetések akarnának lenni, ezt is
fejtegetniük kellene.)

Ez az okoskodás teljesen értelmetlen. Cáfolatuk az
alábbiakban:

- Ellentétben van Hámori József következő, helyes
állításával: „valójában nem a szemünkkel, hanem az
agykérgünkkel látunk”. Ha ez így van (és így van!),
akkor a szemben felfogott fordított állású kép és a
kéreg között kialakuló egyértelmű leképezés nem
igényli, hogy „utólagos, sok hónapi tanulással *fordít-
suk meg*” a „helytelen állású képet”! (Ha valóban for-
dítva „látná” kezdetben a világot a csecsemő, akkor
fordított mozgással kapna a tárgyak után.)

- Hogyan „jön rá” a csecsemő, hogy helytelen a
retinán kialakult kép állása? Ehhez kellene egy „belső
szem” is, amely egyben kifelé is „lát”, és összehason-
lítva a valósággal a retinán kialakult képet, észreven-
né, hogy ez milyen slapos, ösztökélné a tudatot,
hogy fordítva értelmezze a „látványt”.

- A kiscsíkó szeme is úgy működik, mint az embe-
ré. Az pedig születése után pár órával lábra áll, és
felfelé keresi az anyatejet adó bimbókat, nem lefelé a
földön. Nem kell hónapokig tanulnia a kép „helyreál-
lítását”.

- Egy „helytelenül” keletkezett képet akkor kelle-
ne „helyesre” visszafordítani, ha az éles alaklátás már
kezdetben kialakult volna. Akkor lenne mit megfordí-
tani. Nem igaz, hogy a csecsemő „először fordítva
látja a világot”, a csecsemő először *sebogy sem látja* a
világot, éles alaklátás, térbeli látás csak később alakul
ki. És mire kialakul – éppen az egyéb tapintási, hő,
motorikus, hangyi tapasztalatok sokaságán keresztül –,
már „helyes állásban” rögzül a kéregben az informá-
ció a világról. (Eleinte csak világosságot, foltokat,
színeket tapasztal, szó sincs kész képről, amit később
meg kellene fordítania.) *A látás nem fényképezi a
látványt, hanem értelmezi.* Azért látjuk a tárgyakat
egyenes-állásúaknak, mert *tudjuk*, hogy azok. Hon-
nan? A többi érzékszervvel való együttműködés alap-
ján. És addig? Addig azt sem tudjuk, hogy tárgyak-e!

- A tudat (kéreg) a látványból (ingerhalmaz kelte-
te ingerülethalmazból) kiolvassa az információt. És

azt olvassa ki, hogy ami fent van, az fent van, ami lent
van, az lent van. De nem abból olvassa ki, hogy az
ideghártyán, illetve a látókéreg sejtjeiben fent vagy
lent ábrázolódik-e a le irány, hanem abból, hogy az
összes többi érzékszerv közvetítette tapasztalatokkal
egybevetve melyik optikai úton kiváltott ingerület
hozza a „fent” és mely a „lent” információt! (Ha a ka-
runkat jobbról balra végigsimítjuk, nem azért érezzük
akár csukott szemmel is jobbról balra való simításnak,
mert az agyban sorrendben jobbról balra levő neuro-
nokba futnak be az ingerületek, és így topológiailag
sorrend- és iránytartó leképezés jönne létre, hanem
azért érezzük így, mert már korábban sokszor *láttuk*,
hogy az *ilyen érzéskor* milyen irányú simítás volt a
kiváltó ok.)

- Cáfolja a *kialakult* kép visszafordítási történetét
az a híres kísérlet is (George Stratton, 1896), amelyet
több, önként vállalkozón elvégeztek, miszerint a kí-
sérleti alanyoknak egy speciálisan kialakított, képfor-
dító szemüveget kellett folyamatosan, több héten át
viselniük. Azt tapasztalták, hogy a kísérleti alanyok
eleinte nagyon nehezen tájékozódtak, csetlettek-bot-
lottak, de egy idő múlva (pár hét?) tökéletesen tájéko-
zódtak, kvázi tapasztalataik segítségével a kép szá-
mukra megfordult, a fordítást pedig az agykéreg haj-
totta végre. Miután levették ezt a szemüveget, újból
nehezen tájékozódtak, a világ azonban valamivel ha-
marabb „állt talpára” számukra.

Akik ezt a kísérletet hozzák fel a csecsemő látá-
sával kapcsolatos érveikre, ezzel éppen az *ellenke-
zőjét* bizonyítják állításuknak, hiszen ez a kísérlet
éppen azt bizonyítja, hogy teljesen felesleges lenne
a retinán kialakult képet fordítgatni, hiszen jól mű-
ködik az így is, az evolúció nem végez *felesleges* mű-
veleteket!

- A külvilágról érkező, fotonok által szállított
energia eloszlása adja a valódi képet a szemben.
Innen induló adekvát impulzusok jutnak el a kéreg
megfelelő tartományaihoz. Ezen impulzusok értelme-
zése az agy feladata. Ez (jó esetben) kölcsönös, egy-
értelmű leképezést is jelent. *Mihez képest* kellene
megfordítani a kialakult *leképezést*? És milyen célból
kellene? Az agy ugyanis úgy értelmezi a „látott ké-
pet”, ahogy a tapasztalat lassacskán kialakítja („su-
gallja neki”). A kéregben nincs „fent – lent” érzéke-
lés! (Ha fentről lefelé mozgatunk egy pontszerű fény-
forrást, a kéreg nem „viszket” letről felfelé, amely
„mozgást” érzékelnénk, és ez ellentmondana a való-
ságos mozgásiránynak, tehát meg kellene tanulnunk
azt megfordítani!)

- A retinára eső kép nemcsak fent-lentet fordítja
meg, hanem a bal és jobb oldalt is. Ez miért nem
kerül tárgyalásra a csecsemő látásának elemzésekor?
Talán azért nem, mert nem feltűnő, ugyanis az emberi
test függőleges irányban megtévesztően szimmetri-
kusnak látszik. Pedig amikor a kis csecsemő előre
nyújtja a jobb kezét, a helytelen magyarázat alapján
azt a bal oldalon kinyúló kéznek kellene látnia, de
akkor soha nem tudná megragadni vele a felé nyújtott
játékszerét.

• A formálisan gondolkodó magyarázat alapján a kép nemcsak fordított állású, hanem kicsinyített volta miatt a világot „kicsinek” kellene látnia a csecsemőnek (bolha méretűnek), de nem azt teszi!

Célszerű lenne középiskolai oktatásunkban felhívni a figyelmet e „meggyőzően” hirdett téveszme hibáira.

E téveszme forrásai

Néhány forrásmunka, amely e téves elképzeléseket tartalmazza (kiemelések tőlem).

Ádám György: *Érzékelés, tudat, emlékezés – biológusszemmel*. Gondolat (1969) 66. oldal: „Ez érthető, hiszen a fordított, kicsinyített retinakép *agyi visszafordítási művelete*, mely emberben az évek folyamán szilárdan rögzül, ebben az életkorban még csak stabilizálódik.”

Hámori József: *Az idegsejtől a gondolatig*. Kosmosz könyvek (1982) 62. oldal: „A csecsemőnek már kezdettől fogva meg kell tanulnia, hogy a külvilág a retinában fordított képként jelentkezik, tehát a látóagyban (a kéregben) vissza kell fordítani (180°-kal). Ezt hamar meg is tanulja – a tapasztalatok segítségével *csakhamar minden a talpára kerül*.”

Dr. Nagy Mária, Dr. Perendi Mária: *Biológiai önképző*. Gondolat, (1973) 203. oldal: „A fordított képet a látóközpont állítja „fejéről talpára”. *Azt meg kell tanulunk*, hogy az ideghártya által adott képet *vissza kell fordítani*...”

Leo Schneider: *Hogyan érzékelünk?* Móra (1976) 16. oldal: „Magától értetődően a képecske fejjel lefelé áll, vagyis *fordított állású*. Ezen alighanem meglepődik az olvasó. Hát hogyan lehetséges, hogy ha a kép fordított, mégis mindent az eredeti helyzetében látunk? Nos, az emberi agy megtanulta, hogy *másodlagosan újra mindent visszafordítson* az eredeti helyzetébe, s ezért jelennek meg számunkra a dolgok mindig normális helyzetükben, vagyis fejjel felfelé.”

Az interneten fellelhető forrásokból is idézhetünk:

Vida Ágnes babapszichológus (Kismamablog): Érdekes, hogy az első időkben a babák úgy látják a világot, ahogy a retinára esik a kép, *azaz fejjel lefelé*, a fordított látás *tanulási folyamat eredménye*, a gravitáció révén sajátságos el ezt az első 3-4 hét alatt.

„Hogyan látnak a kisbabák” (lassjol.blog.hu): Születés után még sokat fejlődik a látás. Minden kisbaba fejletlen látással jön a világra,

a látásuk pedig még elég sokat fejlődik a születésük után. Hihetetlenek hangzik, de évekig tart, míg kialakul az a látás, amit felnőttként ismerünk. A pályát nehezíti számukra, hogy *eleinte még fejjel lefelé is látnak*, csak később tanulja meg az agyuk *megfordítani a képet*, mikor már egyéb módon tapasztalatokat szereztek a környezetükről.

„Éleslátás” (eleslatasblog.hu): Izgalmas belegondolni, hogy ebben a korban a *csecsemők még fejjel lefelé látnak mindent* – ahogyan a retinára esik a kép. A hetek múlásával a kicsik egyre többet tartják nyitva a szemüket, és *lassan a kép is a „talpára áll*.”

Bolyai Természettudományi Csapatverseny országos döntő – szövegi (2015. április 11.) feladatok és megoldások 3. osztály (bolyai verseny.hu):

2. feladat (5 pont):

Válaszoljatok az érzékszervekkel kapcsolatos alábbi kérdésekre!

– Mely érzékszervek vesznek részt a karamell zamatának érzékelésében? Megoldás: Nyelv (0,5 pont) és orr (0,5 pont)

– Miben más egy újszülött látása és hallása, mint egy felnőtt emberé? Megoldás: Látása gyengébb, csak közre lát, *fejjel lefelé lát* (elég az egyiket mondani) (1 pont), hallása is gyengébb, a hang irányát még nem tudja megállapítani (1 pont)

– Mi szükséges a térlátáshoz? Megoldás: 2 szem (1 pont)

– Két ceruzát egymás mellé összefogva érintsék meg a hátatokat, majd az ujjbegyeteiket! Milyen különbséget éreztek, és mi lehet az oka? Megoldás: A hátón csak egy pont nyomását lehet érezni. Az ujjbegy érzékenyebb (több az érzékelő sejt) (1 pont)

„Érdekeségek szemünk világáról” (vitalmagazin.hu): születésekor minden kisbaba színvak, és *úgy látja a világot, ahogy a retinára esik a kép, vagyis fejjel lefelé*. A fordított látást a gravitáció révén sajátságos el három-négy hét alatt.

„Lásson tisztán! – Érdekeségek szemünk világáról” (Patika Plus gyógyszertárak, patikaplus.hu) *A szem felépítése miatt fejjel lefelé látunk*, de az agy korrigálja ezt, és *átfordítja a képet*. George Stratton pszichológus 19. századi kísérletében olyan szemüveget adott anyaira, ami fordítva mutatta a világot, vagyis korrigálta a szem felépítése miatti fordított látást. Először az agy ezt javította, így valóban mindent fejjel lefelé láttak az alanyok, ám két hét alatt az agy észlelte a problémát, korrigált, és az alanyok még a fordított világot mutató szemüvegben is normálisan kezdtek látni. Szinte hihetetlen, igaz?

„Érdekeségek a látás világából” (Széchenyi Optika, szechenyioptika.hu): A csecsemők *nem azért látnak fejjel lefelé*, mert a látásuk különbözik a felnőttekéétől, hanem mert *az agyuk még nem tanulta meg visszafordítani a képet*. Az emberi szem ugyanis optikai tulajdonságai révén egész életünkben fordított képet készít a környezetről, melyet aztán agyunk fordít egyenes állásúvá.

ÉRTÜK, RÓLUK, NEKIK...

– a 62. Középiskolai Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató

Borbélyné Bacsó Viktória
Medgyessy Ferenc Gimnázium és
Művészeti Szakgimnázium, Debrecen

Debreceni középiskolai fizikatanárként és az egyetemen is kutató PhD-hallgatóként fontos számomra, hogy a fizika oktatásában érdekelt felek minél szorosabbra fűzzék együttműködésüket. Ezért is fogalmazódott meg bennem – egy CERN-i továbbképzés alkalmával kollégáim beszámolóját hallgatva – a debreceni ankét gondolata. Emiatt nagy öröm számomra, hogy az ötletet *Kirsch Éva* tanárnő felkarolta és közel egy

éves szervezőmunka eredményeként – az ELFT segítségével – az idei ankét megrendezésére Debrecenben kerülhetett sor. Fáradozásait nem koronázta volna siker, ha az egyetem nem támogatja törekvésünket. *Kun Ferenc*, a Természettudományi és Technológiai Kar dékánja, *Csománé Tóth Katalin*, a TTK Igazgatási Osztályának vezetője, *Szabó István*, a Fizikai Intézet vezetője és a tanári PhD-hallgatók patronálásában jelentős



1. kép. Pál Zoltán, a Marx György Vándordíj új tulajdonosa (fotó: ifj. Zátonyi Sándor).

szerepet játszó *Nándori István* elméleti fizikus kiemelkedően sokat tettek a rendezvényért. Az igazi köszönet mégis az eseményt tartalommal megtöltő, résztvevő fizikatanárokat illeti, hiszen az ankét értük jött létre, róluk szól és nekik lehetünk érte hálásak.

A 62. Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató számára a Debreceni Egyetem épülete adott otthont. Az előadások és az eszközbemutató színtere az Élettudományi épület volt, a műhelyfoglalkozások és a 10 perces fizikashow a Matematika, illetve a Kémia épületben kerültek megrendezésre. A program szakmai látogatással kezdődött, amelynek keretében kisebb csoportokban nyerhettek betekintést az érdeklődők az Agóra, a National Instruments, az MTA ATOMKI és a Sugárterápiás Központ életébe. Sokan választottuk az Atommagkutató Intézet meglátogatását, ahol *Király Beáta* tudományos titkár nyújtott történelmi áttekintést az intézményről. Bevezetőjében kiemelte, hogy az Európai Fizikai Társulat kiemelkedő jelentőségű történelmi emlékhelyé nyilvánította a főépületet, tisztelegve az 1956 őszén itt folytatott Csikai–Szalai-kísérlet előtt, amely megerősítette a neutrínók létezését, és ezzel hozzájárult a modern fizika megalapozásához. A kutató azt is hangsúlyozta, hogy mennyire fontos a mérőműszer és a mérési módszer pontos ismerete, ezért az intézetben számos saját készítésű berendezés működik. *Rajta István* tudományos főmunkatárs szakmai előadást tartott az ATOMKI gyorsítóról. Feladata a Tandetronhoz kötődik, így minden részletre kiterjedő pontossággal elemezte a berendezés működését. Tanárként örömmel hallottuk, hogy gyakran fogadnak középiskolás látogató csoportokat.



Borbélyné Bacsó Viktória a debreceni Medgyessy Ferenc Gimnázium és Művészeti Szakgimnázium matematika-fizika-informatika szakos tanára, igazgatóhelyettese. 2016-ban elnyerte az MTA Kutatótanári pályadíját. 2019-ben a Debreceni Egyetemen végzett munkájával elméleti részecskefizikából szerzett doktori címet. Kutatási témája *Fázisátalakulások vizsgálatára renormálási csoportegyenletekkel*.

Felmerült az igény, hogy virtuálisan azt is megmutassák, ami kívülről nem látszik, ezért egy AR (Augmented Reality) szoftvert fejlesztenek Android platformra – gondolva a diákok zsebében meglapulók okostelefonokra –, amelynek célja a gyorsító és az ionforrások belső felépítésének bemutatása.

Az AMS-ről is hallhattunk *Molnár Mibály* tudományos munkatárs előadásában, aki a gyorsítóról és alkalmazási területeiről beszélt. Valóságos kalandorokká váltak a szemünkben az ATOMKI kutatói, akik a radiokarbon kormeghatározás révén megvizsgálhatták Szent Asztrik csontjait, részt vehettek a Kunhalom-kutatásban, egy üveg borról megmondják, hogy mikor palackozták és egy vadásztrófeáról, hogy mikor lőtték le a vadállatot. Az elméleti áttekintés után a gyorsítók bejárása, a kérdések megválaszolása, majd a visszaút következett az egyetemre, s közben izgatott beszélgetés arról, hogy vajon ebben az évben milyen lesz a megnyitó.

A Debreceni Egyetem díszterme, az Aula méltó, ünnepélyes helyszínt biztosított az ankét nyitó ceremóniájához. *Bartha Elek* rektorhelyettes hangsúlyozta az évente megrendezett esemény fontosságát, így a tanárok kapcsolatba kerülhetnek a kutatókkal, a fizika tudományos műhelyeivel, megoszthatják egymással ötleteiket, és ez állandó megújulást biztosíthat számukra. *Groma István*, az Eötvös Loránd Fizikai Társulat főtitkára megnyitójában arra emlékeztetett, hogy *Eötvös Loránd* halálának századik évfordulója alkalmából az idei évet az UNESCO Eötvös-évnak nyilvánította. Az ünnepségen munkája elismeréseként 2019-ben Mikola-díjat kapott *Moróné Tapody Éva*, a szegedi Tömörkény István Gimnázium tanára és *Szabó Miklós*, a kisbajcsi Vörösmarty Mihály Általános Iskola és Alapfokú Művészeti Iskola tanára. A Marx György Vándordíj tulajdonosát mindig az előző év nyertese választja ki. Az 1989-ben elindított plakett új birtokosát *Márki-Zay János* jelölhette meg, akinek választása *Pál Zoltánra*, a Gödrei Általános Iskola tanárára esett (1. kép).

Az ünnepi bevezetés után *Groma István* előadása „in medias res” fejesugrás volt a fizikába. Gyönyörű matematikai levezetése a rugók varázslatos világába röpitette el a közönséget. Ezután *Szabó István*, a Debreceni Egyetem Fizikai Intézetének igazgatója beszélt az innovációpedagógiáról, amelynek központi elve, hogy a probléma felismerése lehetőséget ad az innovációra. A vezető példaként említette a *Fizika műszaki alkalmazásai* című tantárgyat, amelynek tematikáját, ezen logikát követve dolgozták ki munkatársaival.

Az első nap zárásaként megtartott fogadás az intézmény impozáns Díszudvarában volt. A vendéglátók képviselőiben Kun Ferenc, a Természettudományi és Technológiai Kar dékánja örömét fejezte ki, hogy a Debreceni Egyetem helyet adhat a fizikatanárok tapasztalatcseréjét biztosító rendezvénynek.

Az elkövetkező három napban végig érezhető volt a gondoskodó szeretet, amellyel a szervezők igyekeztek körülvenni a vendégeket. A helyszínek megválasztásából és a programelemekből egyaránt visszaköszönt az a

precíz, minden részletre odafigyelő szervező munka, amelyet a helyi koordinátor hosszú hónapok óta végzett. A városon belüli közlekedéshez például minden résztvevő helyi közlekedési bérletet kapott. Móróné Tapody Éva, az előző évi ankét szervezője kiemelte, hogy ez nagy segítség és figyelmesség volt az idei házigazdától. A program felépítése most sem tért el a korábban megszokottól: a délelőtt az előadásoké volt, a délutánokat a műhelyfoglalkozások uralták, esténként a kikapcsolódás sem maradt el. Lazítás alatt pedig nem csupán a szórakoztatva tanító 10 perces kísérletek értehetőek, hanem a Debreceni Egyetem Zeneművészeti Karának hallgatói és tanárai alkotta SONUS ütőhangszeres együttes műsora is. A nem csak hazánkban híres formáció tagjai – a különleges dallamok mellett – természetesen egy kis fizikát is becsempészttek előadásukba. Másnap reggel a Kossuth téren március 15-ről is megemlékeztünk. Az Ady Endre Gimnázium diákjaival együtt elénekeltük a Himnuszt, mialatt az ELFT képviseletében *Szabóné Szalkai Enikő* és *Türk Zsuzsanna* koszorút helyeztek el a Kossuth-szobornál.

A négynapos rendezvény előadásai, bemutatói olyan mértékű feltöltődést és sokrétű tapasztalást jelentenek az évről-évre visszatérő közönség számára, amelyet ez az áttekintés nem tud hűen tükrözni, de igyekszik rövid kivonatot adni számos programelemről, elsőként az előadásoktól.

Előadások

„Tüzet viszek...”

Belgya Tamás, az MTA Energiatudományi és Környezetbiztonsági Intézetének igazgatója szemléletes képet adott a témáról, és egyben összehasonlította a Magyarországon működő erőművekben történő energiatermelés környezeti hatásait.

Kiss Ádám, az ELTE Atomfizikai Tanszékének oktatója az energiaellátásról, mint korunk sorskérdéséről beszélt. Miközben felvázolta a jövő energetikájának pilléreit, rámutatott a tanárok ezzel kapcsolatos feladatára is, ami nem más, mint a széleskörű felvilágosítás és az energiatudatosságra nevelés.

Aszódi Attila, a BME egyetemi tanára a nukleáris biztonságot szavatoló törvények fényében mutatta be az atomerőművek generációit, különös tekintettel a 3+ generációs erőművek nukleáris biztonsági és környezeti aspektusaira. A professzor atomenergetikai jövőképet vázolt fel a 2020-as, '30-as évekre, kitérve a fejlesztés és hulladékkezelés kérdéseire.

Valami van a levegőben...

Trócsányi Zoltán, az ELTE egyetemi tanára *Egyszerű, szép – és igaz* címmel tartott előadásában a fizikus világképével ismertette meg a hallgatókat, miközben arra biztatta a jelenlévő pedagógusokat, hogy mennyiségi szemléletre neveljék a gyerekeket. S amikor egy pillanatra úgy tűnt, hogy a komoly professzort a technika ördöge megviccelte, rövid hatásszü-

netet követően egyszer csak megjelent a következő képlet, de nem a kivetítőn, hanem az előadó inge alól villant elő a Standard Modell Lagrange-sűrűsége.

Csige István, az MTA ATOMKI fizikusa a terepen végzett kutatásainak tapasztalataival tette nagyon érdekessé előadását, miközben Földünk gyilkos leheleteiről beszélt. Prezentációjából kiderült, hogy a radonnak tulajdonítható beltéri terhelés sokkal jelentősebb, mint bármely más sugárforrásból származó sugárterhelés.

Kovács Péter földtudományi szakreferens és *Szabó Zoltán* nyugalmazott főosztályvezető Eötvös Loránd, a fizika fejedelme száz éves örökségére emlékeztek. Az inga nemzetközi karrierje mellett – többek között – a tudós közéleti tevékenységéről, sportteljesítményéről és azon nézetéről hallhattunk, miszerint a tanár és tudós legfontosabb ismerve az önálló gondolkodásra való képesség.

Kis lépés egy embernek,
de óriási ugrás az emberiségnek

Szalai Tamás csillagász a Holdra szállásról és annak független bizonyítékairól emlékezett meg előadásában. Megért-e a közel 130 milliárd dollárt befektetni e hatalmas léptékű emberi vállalkozásba? A kérdést mindenki megválaszolhatta, miután áttekintettük az esemény tudományra és társadalomra gyakorolt inspiráló hatásait.

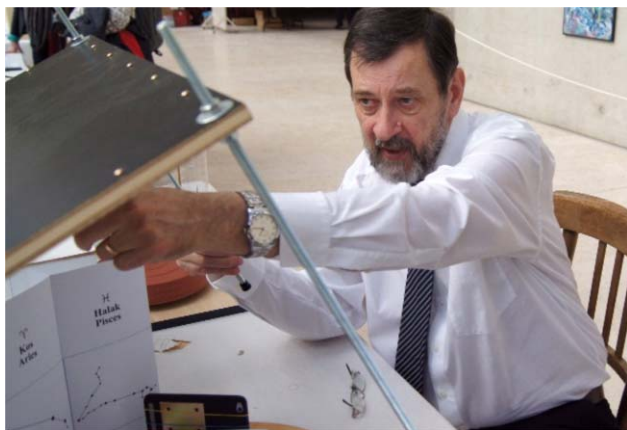
Ádám Péter a NAT-tervezetről és a kerettantervekről beszélt. Az előadóterem teljesen megtelt, a légkör feszült volt. Az általános tájékoztató nyomán élénk vita alakult ki. Számos kritikát és javaslatot fogalmaztak meg a jelenlévők. Mindegyik felszólalás mögött érezhető volt a szeretett tantárgy jövőbeli sorsának féltése.

Kísérletek – Műhelyek – 10 percesek

Az előadások közötti szünetekben az Élettudományi épületben kialakított standokon mutatták be ötletes eszközeiket a kiállítók. Láthattunk egész szertárat helyettesítő szívószálmodelleket, Arduino Heki-kutyát (2. kép), saját készítésű Tesla-tekerceket, hangszere-

2. kép. Beszeda Imre és asztalán az Arduino Heki-kulya (fotó: iZS).





3. kép. ifj Zátonyi Sándor a nyertes kiállító (fotó: Kiss László).

ket, a 200 éves évfordulóhoz kötődően Foucault-ingát és számos egyszerűen, kis költséggel elkészíthető kísérleti berendezést. Az asztalok előtt élénk tapasztalatcsere folyt a kiállítók és az érdeklődők között.

Az ad hoc jelleggel szerveződött kis csoportok standról-standra jártak, kíváncsian kérdeztek, fényképeztek, fejlesztési javaslatokat fogalmaztak meg. Egyetlen kérdés sem maradt megválaszolatlanul, miközben szórólapok, videók, honlapcímek cseréltek gazdát.

Két délutánon át a műhelyfoglalkozásoké volt a főszerep. Huszonhat előadó mutatta be negyvenperces foglalkozás keretében legújabb kísérleteit, fejlesztéseit, tanítási módszereit, egy-egy laboratórium vagy természettudományos műhely működésének tapasztalatait. Az információban bővelkedő kínálatot mindenki számára nagyon nehéz volt leszűkíteni napi négy foglalkozásra, bármelyik program választása valamilyen szempontból kecsgetető volt. S ha már egy terem megtelt, akkor senki sem akart elvarratlan szálakat hagyni, az előadók meséltek, a hallgatóság vég nélkül kérdezett, így a negyven perc igencsak szűkösnek tűnt a téma alapos körüljárására. Mégis, minden műhely ugyanúgy ért véget: az érdeklődők felvillanyozódva – ám készen állva a következő téma kínálta újabb impulzusok, információk befogadására – távoztak.

Kollégái is kipróbálhattak néhányat Zátonyi Sándor által az elmúlt 40 év során fejlesztett kísérletekből.

4. kép. Vitkóczy Fanni és Piláth Károly – egy nyerő páros (fotó: iZS).



Válogatás során az előadó ügyelt, hogy minimális anyag-, eszköz- és költségigényű ötleteket mutasson, amelyek nem igényelnek komoly előkészítő munkát a pedagógustól, és tanulókísérletnek is alkalmasak (3. kép). A tanulás és a szórakozás mellett a hallgatóságnak nyújtott ajándéka egy válogatás volt, amely táblázatba rendezve tartalmazta a kísérletek megnevezését, internetes fellelhetőségét, s hogy még egyszerűbb legyen megtalálni, a megfelelő QR-kódot is.

Oláh Éva Mária, az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpontban működő REGARD kutatócsoport fizikatanáráként mutatta be a középiskolákkal együttműködő kutatásalapú oktatást, amelynek keretében a tanulók többek között gázöltésű detektorokat készíthetnek, ezzel is növelve a fizika iránti elkötelezettségüket. Az előadó azt is elárulta, hogy a következő tanévtől középiskolai tanárok és tanulók együtt pályázhatnak saját kutatási programjuk Wigner FK-ban történő megvalósítására. Az előadáshoz itt is járt útravaló: egy részecskefizikai totót kapott mindenki annak tesztelésére, hogy okosabb-e, mint egy részecskefizikus.

Fülöp Csilla a „Szánkó projektről” beszélt, amelynek keretében diákjaival arra kerestek pontos választ, hogy miért könnyebb egy szánkót vízszintesen húzni, mint a lejtőn felfelé. A kérdés megválaszolásához több körülményhez kötődően végzett mérési eredményeiket – a megszokottól eltérően – fázistérvizsgálatot követően vetették össze az elmélettel. Az előadó a Peripatetikus pedagógia elkötelezett híveként arról is beszámolt, hogy iskolájukban milyen tantárgyközi projektek segítségével hozzák közelebb tanítványaikhoz a fizikát.

A Debreceni Egyetem oktatója, kutatója Újvári Balázs középiskolásoknak meghirdetett szakkört mutatott be, amelynek a Fizikai Intézet ad helyet. A foglalkozás keretében egyetemi oktatók és PhD-hallgatók nyújtanak segítséget abban, hogy egy-egy tanulócsoport a mérések végrehajtásával az ötlettől a válaszig el tudjon jutni. Ennek része a feladatok kijelölése, szétosztása, a csoportként való működés gyakorlása: a forrástástól a programozáson át a jegyzőkönyv megírásáig mindenki hozzá tudjon járulni a közös sikerhez. Az Út a tudományhoz program keretében kutató diákok munkájukért egy évig ösztöndíjat is kapnak.

Piláth Károly és Vitkóczy Fanni bemutatták, hogyan lehet közel valós időben mérési adatokat importálni egy Excel-táblázatba. Egy hőkamera segítségével beolvasott adatokból a táblázatkezelő program feltételes formázás funkciójának és még egy-két trükknek köszönhetően a közönség szeme láttára rajzolódott ki az előadó kezének hőterképe. Ezzel a produkcióval kiérdemelték a legeredményesebb műhely vezetőinek járó első díjat (4. kép). Az érdeklődők Piláth Károly honlapján részletezve megtalálják a rendkívül látványos mérés leírását, programozását, a szükséges eszközök beszerzésének módját.

Egy újabb előadó páros a technológia és a fizika élményközpontú találkozását mutatta be. Szabó István, a Fizikai Intézet vezetője és Egri Sándor, a Debreceni Egyetem oktatója A fizika műszaki alkalmazásai című egyetemi kurzust szimulálták, amelynek so-

rán ice-braking technikák és coaching elemek alkalmazásával közvetítik hallgatóiknak az innovációs pedagógia elemeit. A műhelyfoglalkozás résztvevői mindennapi eszközökben kereshették a fizika törvényeinek megjelenését, az adott tárgy szétszedésével, majd összerakásával következtettek működésére.

Molnár Milán a Mobilis Interaktív Kiállítási Központtól tartott rendkívül lendületes beszámolót. Az előadó egyszerű, a tanulók által is elkészíthető optikai és hangtani kísérleteken keresztül mutatta be interaktív oktatási módszereiket, kiemelve azokat a lehetőségeket, amelyek révén a központ hatékony partnerként kapcsolódhat be vonzaskörzetükben az általános és középiskolai fizika tanításába.

Az Ankéton a pályájuk elején lévők is vállaltak feladatokat, mint például *Herendi Borbála* középiskolai tanár, PhD-hallgató, aki a Debreceni Egyetemen működő szakkörön kifejlesztett mérőberendezés teszteléséről számolt be. A hőmérséklet-, páratartalom-, szén-dioxid-, szálló por- és talajnedvesség-mérő szenzorok adatainak összegyűjtésével és ábrázolásával foglalkozott, miközben egy komplex természettudományos szakköri tematikát is kidolgozott.

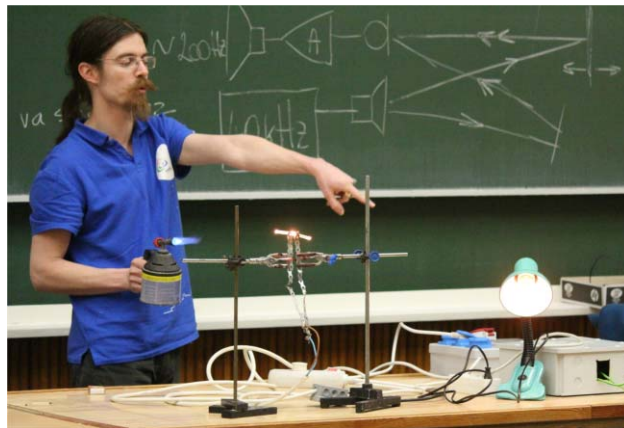
A 10 perces kísérletek idén is népes közönséget vonzottak. A helyben lakók a késői időpont ellenére gyermekeiket is elhozták, így a hétvégi show egyben családi programmá nőtte ki magát. Volt olyan leleményes előadó, aki az adódó alkalmat kihasználva, két kisiskolást is megkért és bevont a kísérletezésbe.

A hangtan ezúttal is a legtöbb produkcióban visszaköszönt, ám a közönségnek legjobban *Molnár Milán* produkciója tetszett, aki hőközléssel vezetésre bírt egy üvegrudat (5. kép).

Díjazottak – a rendezvény zárása

A szokásokhoz híven az esemény záró akkordjaként sor került az ELFT és a National Instruments Hungary Kft. által kiírt MyDAQ-pályázat eredményhirdetésére. Ennek bevezetéseként a közönség megtekinthette a „90 másodperceseket”, amelyek az elmúlt öt év alatt beadott, mintegy félszáz pályázat közül kerültek kiválasztásra. A megfilmesített munkák megtekintése után *Ábrahám László*, a debreceni NI Hungary Kft. ügyvezetője és *Kerekes Sándor*, a „90 másodpercesek” készítője ünnepélyes keretek között adták át az okleveleket és a jutalmat a dobogós pályamunkák alkotóinak. A megegyező pontszámok miatt az idén négy pénzjutalommal járó díjat is kiosztottak. Harmadik helyezést ért el *Somogyi Anikó* (Szegei Radnóti Miklós Kísérleti Gimnázium) és *Borbély Vencel* (Piarista Gimnázium és Kollégium, Vác), a második helyen végzett *Piláth Károly* (ELTE Trefort Ágoston Gyakorló Gimnázium, Budapest), az első helyen és az ezzel járó 800 000 Ft-os pénzjutalommal *Fraller Csaba* és tanítványai *Lutár Krisztián* és *Vörös Balázs* osztozhattak (Hévízi Bibó István Gimnázium és Kollégium).

A rendezvény sikeréhez – a szervezőkön túl – azok a tanárok is tevékenyen hozzájárultak, akik műhelyfoglalkozásra, eszközkészítésre vagy tízperces kísérletre vállalkoztak. Tudásmegosztó és egyben szórakoztató tanító munkájukat oklevéllel, illetve a NOVOFER Alapítvány felajánlása jövőtől pénzzutalommal honorálhatta a zsűri. A dobogósok tárgyjutalomként Pál Zoltán saját készítésű Tesla-tekerceit is megkaphatták.



5. kép. Molnár Milán, a „10 perces” kísérletek nyertese (fotó: iZS).

A műhelyek kimagaslóan színvonalasak voltak, vezetőik közül *Piláth Károly*, *Vitkóczy Fanni* páros első, *Nagy Anett* második és *Zátonyi Sándor* harmadik helyezést ért el. Különdíjat *Beszeda Imre*, *Sinkó Andrea* és *Szittyai István* vehetett át.

A kiállítók között sem volt egyszerű rangsorolni, ezért is lett két harmadik és két második helyezett. A Mikola-díjas *Sinkó Pál* teljesítményét a közönség hangos, kivételesen hosszú tapsal jutalmazta.

A kiállítók között sem volt egyszerű rangsorolni, ezért is lett két harmadik és két második helyezett. A Mikola-díjas *Sinkó Pál* teljesítményét a közönség hangos, kivételesen hosszú tapsal jutalmazta.

Első díjas *Zátonyi Sándor* (*Forog a Föld – Foucault 200*) lett, a második hely *Kopasz Katának* (*Arduino-kiegészítő áramkör és a hozzá készült mérőszoftver bemutatása*) és *Stonawski Tamásnak* (*A „vízszint-süllyedés fizikája” és egyéb érdekes kísérlet*) jutott, míg a harmadik helyezést *Sinkó Pál* (*Furfangos fizika*) és *Márki-Zay János* (*Új kísérletek szívószállal és papírral*) érdemelte ki.

Az éjszakába nyúlóan szórakoztató tízperces kísérletek legeredményesebb megvalósítóinak jutalmazási sorrendjét a lelkes közönség szavazata alakította ki. Az első helyet *Molnár Milán* (*Aktuális kedvenceim*) érdemelte ki, a második helyezést *Pál Zoltán* (*Légnyomás, no akkor nyomás!*) lett, a harmadik helyen *Somogyi Anikó* (*Hullámzó fűzér gumicukorból*) végzett.

Egy rendezvényből nem csak a résztvevők profitálhatnak. A szervező is sokat nyerhet, amennyiben a tapasztalatokat leszűrve, saját munkájára fogalmaz meg a jövőre néző irányelveket. A Debreceni Egyetem jelenleg is számos területen működik együtt a középiskolákkal. Az anket nyomán a Fizikai Intézet dolgozóiban több olyan további ötlet is megfogalmazódott, amelyek révén a későbbiekben is segíteni, támogatni tudják a régió fizikatanárait. Az ankéton számos együttműködés jött létre, oktatásban érdekelt felek találtak egymásra. S ha pulykakakas nem is, de ötletek, emlékezetes beszélgetések, szép pillanatok mindenkinek bőven jutottak a négy nap alatt...

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Küldöttgyűlése



Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 2019. május 18-án, szombaton 10:00 órai kezdettel tartja Küldöttgyűlését¹ az Eötvös Loránd Tudományegyetem északi épülettömb 062-es Gróh-termében (Budapest XI. Pázmány Péter sétány 1/A). A Küldöttgyűlés nyilvános, azon bárki részt vehet. A vitákban a Társulat tagjai részt vehetnek, felszólalhatnak, de a szavazásban csak a területi és szakcsoportok által megválasztott, küldöttigazolvánnyal² rendelkező küldöttek vehetnek részt.

A Küldöttgyűlés a hagyományos, napirend előtti, szakmai előadással kezdődik, amelyet

Elekes Zoltán (MTA Atommagkutató Intézet): *Nemes atommagok* címen tart.

Az ELFT Elnöksége által javasolt napirendi pontok:

1. A levezető elnök megnyitója
 2. A napirend elfogadása
 3. A Szavazatszámoló Bizottság és a jegyzőkönyv-hitelesítők felkérése
 4. Főtitkári beszámoló
 - 4.1 A Társulat 2018. évi közhasznúsági jelentése
 - 4.2 A Társulat 2019. évi költségvetése
 5. A Felügyelő Bizottság jelentése
 6. Vita és pontonkénti nyílt szavazás a 4–5. napirendi pontokról
 7. Az Elnökség javaslata az Alapszabály módosítására
 8. Vita és nyílt szavazás a 7. napirendi pontról
 9. Az Elnökség javaslata tiszteletbeli tagra
 10. Titkos szavazás a tiszteletbeli tagsági címről
- Szünet
11. A szavazás eredményének kihirdetése
 12. Egyebek
 13. Zárzó

¹ Ha a Küldöttgyűlés a meghirdetett időpontban nem lenne határozatképes, akkor 10:30-ra ismét összehívjuk, és a Küldöttgyűlés a napirend előtti szakmai előadás után kezdi meg munkáját. Az ilyen módon ismételt összehívott Küldöttgyűlés – tekintet nélkül a megjelent küldöttek létszámára – határozatképes.

² Kérjük, hogy a küldöttek a küldöttigazolványukat hozzák magukkal és azt a regisztrációnál mutassák be.



MPTL
Multimedia in Physics
Teaching and Learning

1EÖTVÖS
www.eotvos100.hu

**Celebration of
Eötvös Year 2019**



GIREP–ICPE–EPEC–MPTL CONFERENCE 2019

Budapest, 1–5 July, 2019

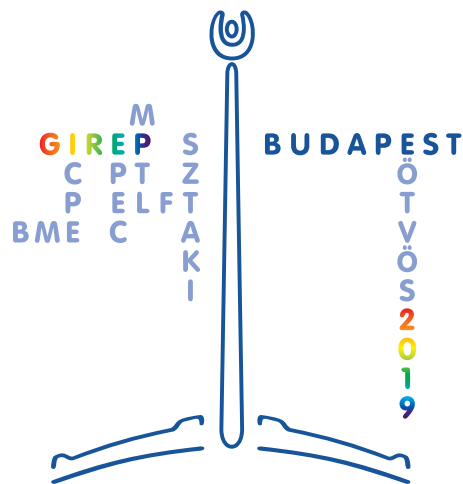
You are invited to join **GIREP–ICPE–EPEC–MPTL CONFERENCE 2019** in Budapest (Hungary) and contribute with physics education experiences

EGY KIS STATISZTIKA

A nemzetközi fizikatanítási konferenciára eddig 295-en regisztráltak.

A résztvevők 11 műhelyfoglalkozást, 76 posztert, valamint 251 szóbeli előadást jelentettek be. Ez utóbbiak közül 39 előadás 10 szimpózium keretében kerül bemutatásra. A 45 külföldi ország legnépesebb csoportja – 32 fő – Olaszországból jön, a második helyezett a Cseh Köztársaság 16 résztvevővel. 11-11 kolléga érkezik Brazíliából, Izraelből, Japánból, Mexikóból, Törökországból és az Egyesült Államokból is. Olyan távoli országok is képviseltetik magukat, mint Malajzia, Thaiföld vagy Vietnam. Magyarországból – hála az Emberi Erőforrások Minisztériuma támogatásának – 47 tanárkolléga tudott regisztrálni.

Kísérjék figyelemmel a konferencia folyamatosan frissülő weblapját!



MPTL
Multimedia in Physics
Teaching and Learning



MTA SZTAKI
Hungarian Academy of Sciences
Institute for Computer Science and Control



Részletes információk: <https://girep2019.hu>

