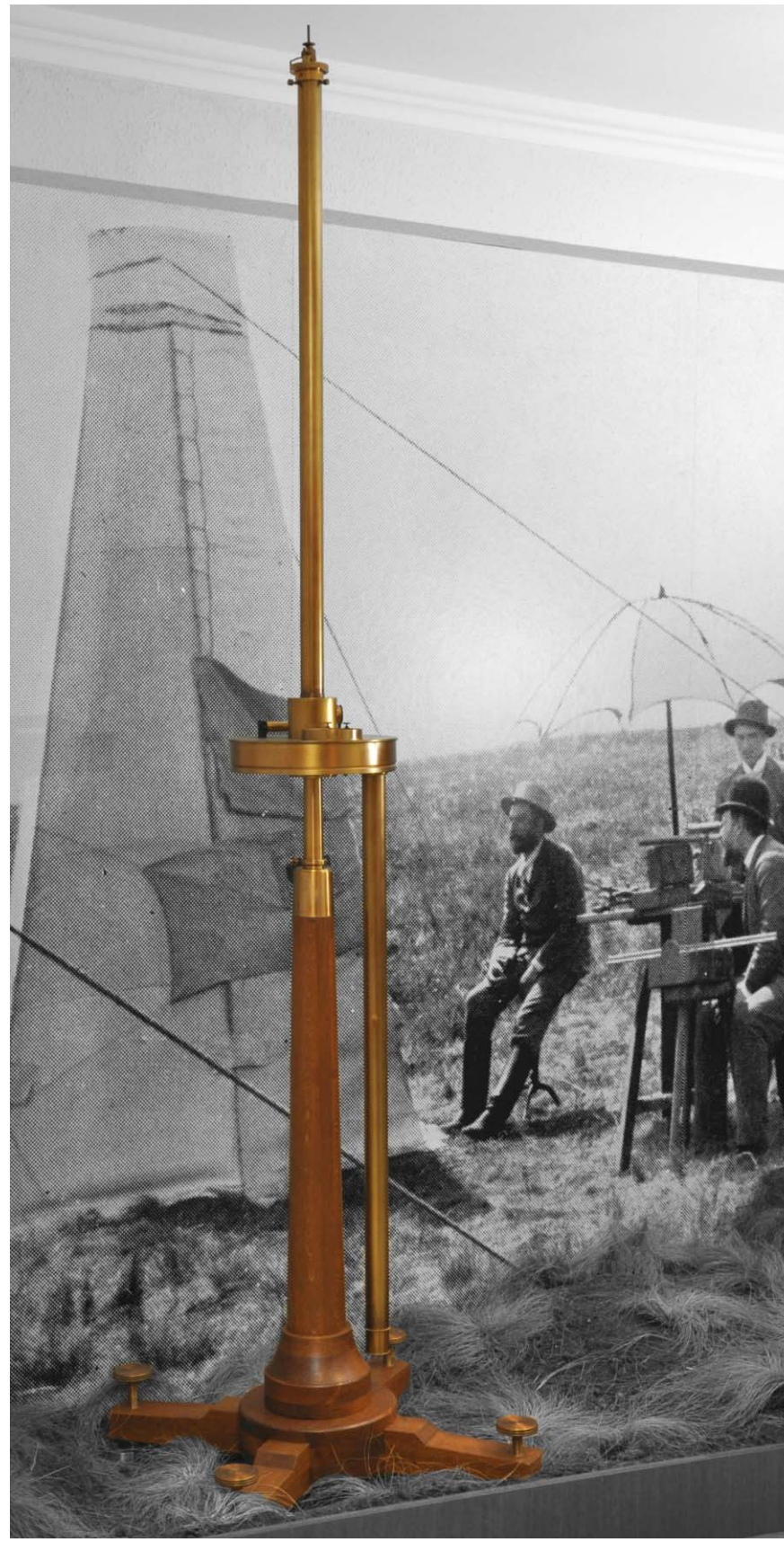
fizikai szemle

2019/4

EÖTVÖS LORÁND MŰSZEREI AZ EMLÉKGYŰJTEMÉNYBEN – 1.

Horizontális variométer (1890)

Az első Eötvös-inga. A nehézségi erő irányának változása mellett, nagyságának horizontális irányú változását is méri. E műszerrel végezték az első terepi mérést 1891 augusztusában a Celldömölk melletti Ság-hegyen. Eötvös Loránd segítői, Bodola Lajos, Kövesligethy Radó és Tangl Károly később mindannyian neves professzorok lettek. (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

AJÁNLÓ

Úgy adódott, hogy e számunkban a fizika kutatásával foglalkozó részben két folytatásos írás első részeit közöljük, a fizika egymástól nagyon távoleső területeiről. A nyitó cikk, az Eötvös centenáriumi év kapcsán, az ekvivalenciaelv vizsgálatára irányuló Eötvös–Pekár–Fekete-mérések megismétlésének tervével és előkészületeivel ismertet meg. A szerzők szerint a megismétlésre az ad okot, hogy az eredeti kísérlet eredményei és a később – részben más módszerekkel – elvégzett mérések eredményei között *Fischbach* és munkatársai 1986-ban olyan, hibahatárt alig meghaladó, szisztematikus eltéréseket találtak, amelyeket a későbbi, jóval pontosabb mérések nem tudtak sem reprodukálni, sem megmagyarázni. A cikk szerzőinek egyike, *Tóth Gyula* az EPF-kísérlet elemzésének során olyan szisztematikus hibalehetőséget talált, ami indokolja a mérések eredeti módszerrel történő megismétlését a jelenlegi, sokkal jobb technikai lehetőségek felhasználásával. A projekt méréseit több műegyetemi tanszék és más intézmények szakértőinek együttműködésével a Wigner Fizikai Kutatóközpont Jánossy Föld Alatti Fizikai Laboratóriumában, 30 m mélységben tervezik kivitelezni. Tóth Gyula előbbihez szorosan kapcsolódó cikkét következő számunkban közöljük, és reméljük, hogy nemsokára a megismételt mérések eredményeiről is kapunk beszámolót a szerzőktől.

A másik írás – *Horváth Gábor* és szerzőtársainak munkája – egy régóta kutatott és sokat vitatott jelenség, a zebracsíkozottság okának egy elvileg elfogadható magyarázatáról mutatja meg, hogy téves. Ez a cikk, amelynek második részét ugyancsak a májusi számban tervezzük közölni, jól példázza, hogy a fizikától távoli problémák vizsgálatában is fontos szerep juthat a fizikai módszereknek és szemléletnek. Vagy az is lehet, hogy nincs olyan természeti probléma, ami távol lenne a fizikától?

A Tanítás rovatban *Bokor Nándor* cikke azt állítja, hogy a „gravitációs erő” és az általa okozott „gyorsulás” ugyanúgy illúzió, mint a sebesség: ezeket sem érzi senki. Az írás szerint gravitációs erő nincs, a gravitációs erő a fiktív tehetetlenségi erőkkel azonos kategóriába tartozik. A tehetetlenségi erők mindegyikének képletében szerepel az *m,* a test tehetetlen tömege (ezért is hívjuk őket tehetetlenségi erőknek). A gravitációs erő képletében ugyan egy másik jelentésű *m* betű, a test gravitációs töltése, más néven „súlyos tömege” szerepel, viszont gondos mérésekből (köztük az Eötvös-féle ekvivalenciamérésekből) úgy tűnik, hogy a kétféle *m* minden testre arányos egymással, így jogos őket azonos szimbólummal jelölni. Gravitációs erő nincs, de a gravitáció maga nagyon is létező fizikai jelenség: a téridő görbülete.

Az elmúlt hónap örömteli eseménye, hogy – amint arról Hírek – Események rovatunkban beszámolunk – március 15. alkalmából több kollégánk részesült magas állami kitüntetésben. Ugyancsak pozitív hír, hogy április 8-án és 9-én nagy érdeklődés mellett lezajlottak az Eötvös-emlékév központi rendezvényének eseményei, amelyekről részletes információk találhatók az Eötvös-emlékév hivatalos – https://eotvos100.hu/hu – honlapján.

Lendvai János
főszerkesztő

1EOTVOS
www.eotvos100.hu

Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

A Mathematikai és Természettudományi Értesítőt az Akadémia 1882-ben indította
A Mathematikai és Physikai Lapokat Eötvös Loránd 1891-ben alapította

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat havonta megjelenő folyóirata.
Támogatók: a Magyar Tudományos Akadémia Fizikai Tudományok Osztálya, az Emberi Erőforrások Minisztériuma, a Magyar Biofizikai Társaság, a Magyar Nukleáris Társaság és a Magyar Fizikushallgatók Egyesülete

Főszerkesztő:
Lendvai János

Szerkesztőbizottság:
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 Nemzetközi Űrállomás 37. missziójának tagjai – Fyodor Yurchokhin, Sergey Ryazanskiy, Karen Nyberg, Oleg Kotov, Luca Parmitano és Mike Hopkins – csak lábukkal kapaszkodva lebegnek. Lásd Bokor Nándor írását a 121–127. oldalakon.

TARTALOM

Lendvai János: Ajánló 109

Péter Gábor, Deák László, Gróf Gyula, Kiss Bálint, Szondy György, Tóth Gyula, Ván Péter, Völgyesi Lajos: Az Eötvös–Pekár–Fekete ekvivalenciaelv-mérések megismétlése 111
A gravitációs és a tehetetlen tömeg arányosságát vizsgáló Eötvös-kísérlet elemzésében a szerzők olyan szisztematikus hibalehetőséget találtak, ami indokolttá teszi a mérések megismétlését a mai technikai lehetőségek által kínált jobb feltételek mellett.

Horváth Gábor, Pereszlényi Ádám, Száz Dénes, Barta András, Jánosi Imre Miklós, Gerics Balázs, Susanne Åkesson: Zebracsíkok feltételezett hűtő hatásának kísérleti cáfolata – 1. rész 117
A cikk korszerű kísérleti eljárások eredményeinek kiértékelésével vizsgálja a zebrák csíkosságának egyik feltételezett okát.

A FIZIKA TANÍTÁSA

Bokor Nándor: A kifordított körhinta, amelyen élünk 121
A Föld egy kikapcsolt hajtóművel a világűrben lebegő, kifordított körhinta.

Simon Ferenc: A 2018. évi Prométheusz-érem kitüntetettje 128
Vannay László 1994 óta szervezője és felelőse a fizika OKTV egyik kísérleti fordulójának, ezen munkája során mintegy 30 mérési feladatot és kísérleti eszközt állított össze.

Vannay László, Fülöp Ferenc: A 2012. évi Fizika Országos Középiskolai Tanulmányi Verseny első kategóriájának harmadik fordulója 132
A feladat, a Lenz-törvény egy szokásos demonstrációjához kapcsolódóan, függőleges helyzetű, vastag falú alumíniumcsövekben eső mágnesek mozgásának vizsgálata volt.

Lévainé Kovács Róza, Tasi Zoltánné, Tóth Zsuzsanna: XXVIII. Öveges József Kárpát-medencei Fizikaverseny 137
Az évente megrendezett versenyről szóló beszámoló a feladatok ismertetésével és a versenyzők teljesítményének értékelésével.

HÍREK – ESEMÉNYEK

Dombi József (1920–2019) 143

Kitüntetések március 15. alkalmából 144

J. Lendvai: Recommendation
G. Péter, L. Deák, Gy. Gróf, B. Kiss, Gy. Szondy, Gy. Tóth, P. Ván, L. Völgyesi: Repeating the Eötvös–Pekár–Fekete equivalence principles measurements
G. Horváth, Á. Pereszlényi, D. Száz, A. Barta, I. M. Jánosi, B. Gerics, S. Åkesson: Experimental evidence that stripes do not cool zebras

TEACHING PHYSICS
N. Bokor: The reversed carousel on which we are living
F. Simon: Honoree of the 2018 Prometheus medal
L. Vannay, F. Fülöp: Third round of the first category National Secondary School Physics Competition of 2012
R. Lévai-Kovács, Z. Tasi, Zs. Tóth: XXVIIIth József Öveges Physics Competition of the Carpathian Basin

EVENTS
József Dombi (1920–2019)
Awards on the occasion of March 15

Fizikai Szemle MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT megjelenését támogatják:

AZ EÖTVÖS–PEKÁR–FEKETE EKVIVALENCIAELV-MÉRÉSEK MEGISMÉTLÉSE

Péter Gábor,[1] Deák László,[2] Gróf Gyula,[3] Kiss Bálint,[1]
Szondy György,[4] Tóth Gyula,[5] Ván Péter,[2,3] Völgyesi Lajos[5]
[1]BME, Irányítástechnika és Informatika Tanszék
[2]MTA, Wigner Fizikai Kutatóközpont
[3]BME, Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék
[4]független kutató
[5]BME, Általános- és Felsőgeodézia Tanszék

Eötvös Loránd munkatársaival, *Pekár Dezsővel* és *Fekete Jenővel* 1906-tól méréssorozatot végeztek (Eötvös-kísérlet, más ismert rövidítéssel EPF-mérések) a súlyos (gravitációs) és a tehetetlen tömeg arányosságára vonatkozóan [1].

A mérésekben *Fischbach* és munkatársai 1986-ban olyan, hibahatárt alig meghaladó szisztematikus eltéréseket találtak, amelyeket a későbbi, jóval pontosabb, de részben eltérő módszert használó mérések nem tudtak sem reprodukálni, sem megmagyarázni.

Az Eötvös-kísérlet elemzésének eredményeképpen olyan szisztematikus hibalehetőséget találtunk [2], amely indokolttá teszi a mai korszerű technikai lehetőségek által kínált jobb feltételek mellett a mérések megismétlését. A méréseket a KFKI (Wigner FK) területén lévő Jánossy Föld alatti Fizikai Laboratóriumban, 30 m mélységben, megfelelő nyugalmi körülmények és kontrollált feltételek között tervezzük. Az Eötvös-kísérlet megismétlésének külön aktualitást ad, hogy Eötvös Loránd halála 100. évfordulójának tiszteletére 2019 az UNESCO által is támogatott Eötvös Loránd emlékév. Jelenlegi tanulmányunkban röviden áttekintjük az előzményeket, beszámolunk a mérések előkészületeiről és jelenlegi állapotáról.

Előzmények

Eötvös Loránd és kollégái 1906 és 1908 között Eötvös-ingával méréseket folytattak a súlyos és a tehetetlen tömeg azonosságának ellenőrzésére. A mérések során azt használták ki, hogy a nehézségi erő a Föld középpontja felé mutató gravitációs erő és a forgástengelyére merőleges centrifugális erő eredőjeként áll össze. Amennyiben a gravitációs erő anyagfüggő, akkor az eredő nehézségi erő iránya szintén anyagfüggő lesz, ami egy kelet–nyugat tájolású Eötvös-ingával kimutatható. Az elvégzett mérések csupán elhanyagolható, a 10^{-9} hibahatár néhányszorosának megfelelő, véletlenszerűnek tűnő eltéréseket mutattak.

Jóval később, 1986-ban Fischbach és társai azt találták, hogy ezek a kis eltérések mégsem egészen

A mérések alapműszere, az Eötvös–Pekár-inga az MTA CSFK Geodéziai és Geofizikai Intézet tulajdona. Ezúton fejezzük ki köszönetünket az intézet vezetőinek, hogy méréseink céljára rendelkezésünkre bocsátották a műszert. Köszönjük továbbá a Fornax 2002 Kft. és *Sári Pál* műszertechnikai segítségét. Köszönjük a Wigner FK támogatását, elsősorban *Lévai Péter* főigazgatónak, illetve a Jánossy Föld alatti Fizikai Laboratórium körülményeiért *Barnaföldi Gergelynek* és *Somlai Lászlónak*. A munkát a 124286 és a 124366 számú NKFIH pályázata támogatta.

Péter Gábor villamosmérnökként végzett 2015-ben a BME Irányítástechnika és Informatika Tanszékén, ahol azóta doktori tanulmányait folytatja. Kutatási témája ismeretlen területek kooperáló ágensekkel történő feltérképezése.

Deák László fizikus, az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont Részecske és Magfizikai Intézet, Nukleáris Anyagtudományi Osztályának tudományos főmunkatársa. Kutatási területe a röntgen-, neutron- és Mössbauer-spektroszkópia, ezek alkalmazása spekuláris és diffúz szórásban.

Gróf Gyula matematikus-mérnök, a BME Gépészmérnöki Kar, Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék vezetője. Fő kutatási területe az energetikai és transzportfolyamatok kísérleti és elméleti vizsgálata, hőfizikai mérések fejlesztése. Speciális szkennereket és fotorobotot épített, amely berendezéseket a Bátaapáti környéki geológiai kutatásokban alkalmaztak.

Kiss Bálint villamosmérnök ('96), a BME Irányítástechnika és Informatika Tanszék vezetője, egyetemi docens. Kutatási területe a robotika és mechatronikai rendszerek irányítása.

véletlenszerűek, hanem az atommagok kötési energiájának lineáris függvényeként írhatók fel, és egy rövid hatótávolságú, úgynevezett ötödik erő létezését vetették fel [3–5]. A feltételezés komoly vitákat váltott ki. Eötvösék eredményeit részletesen elemezték, új, sokkal pontosabb méréseket is végeztek, de azokban sem mutatták ki a megjósolt Yukawa-jellegű, véges hatótávolságú ötödik erőt. Ez annál is inkább várható volt, mert Eötvösék a hatást egy anyagpárra a Nap gravitációs tere esetén is ellenőrizték, és hasonló eltérést mutattak ki [1], így az észlelt eltérések vélhetően nincsenek összefüggésben a távolsággal.

A súlyos és a tehetetlen tömeg ekvivalenciájában nagy távolságokon eddig sem kételkedtünk, hiszen erre vonatkozó méréseket Eötvösék óta többen is végeztek. Fischbachék előtt *Robert Dicke* és munkatársai 10^{-11}, *Braginsky* és társai pedig 10^{-12} pontossággal igazolták az ekvivalenciaelvet [7, 8].

Robert Dicke és munkatársai több újítást is bevezettek. Először is egy észak–dél tájolású ingával a Nap vonzása és a Föld keringéséből adódó centrifugális erő viszonyának anyagfüggését mérték. Ennek előnye, hogy az ingát, a jel 24 órás periodicitása miatt a mérés során nem kellett forgatni. Ezen kívül háromszög-elrendezésű ingát készítettek,[1] amely érzéketlenebb a gradienshatásokra, emellett az arany-alumínium anyagpárból álló ingát vákuumban helyezték el, az inga csillapítását és egyensúlyban tartását pedig egy visszacsatoláson keresztül két elektródával oldották meg. Az alkalmazott kvarcszál driftjét is ily módon, elektrosztatikusan kompenzálták. A több napos mérési ciklusok során rögzített adatokból számítógép segítségével, statisztikai módszerrel szűrték ki a hőmérséklet-ingadozás és a mechanikai rezgések (a mérési helytől körülbelül 30 méterre folyó építkezés) okozta zavarjeleket.

Braginsky és társai mérésük során Dicke-ékhez hasonló módon jártak el. Az érzékenységet többek között azzal sikerült nagymértékben növelni, hogy a volfrámból készült torziós szálat extrém mértékben, mintegy 3 m hosszúságúra növelték.

1986 után, az ötödik erő felvetése új lendületet adott ezen kísérleteknek. 1990-től hasonló, egyre pontosabb méréseket végzett az Eöt-Wash csoport (University of Washington). Legújabb ingájukkal végzett méréseikben 10^{-13} pontosságot értek el [5]. Sajátosságuk az extrém gradiensek melletti mérés, hogy akár 1 méteres hatótávolságú Yukawa-kölcsönhatást is tesztelni tudjanak. A fellépő gradienshatásokat gondosan kompenzálják. A csoport olyan méréseket is végzett, ahol a Napot, illetve a Tejutat tekintik attraktornak [9].

A Lunar Laser Ranging (LLR) kísérlet a Föld–Hold távolság pontos mérésével, a Nap Földre és Holdra gyakorolt vonzását hasonlítja össze. A mérés kimutatta, hogy a két égitest nehézségi gyorsulása 10^{-13} mérési hibahatáron belül megegyezik. Az eredménynek több vonatkozása is lehet. Ha a gravitációs önkölcsönhatás miatt változik a súlyos és tehetetlen tömeg aránya, akkor az az erős ekvivalenciaelv sérülését jelentené. Ez a fajta „kötési energia” sok nagyságrenddel kisebb, mint az atommagokban lévő kötési energia, ebből eredően a kísérlet $(2{,}3\pm3{,}2)\times10^{-4}$ pontossággal igazolta az erős ekvivalenciaelvet. E méréssel kapcsolatban arra a feltételezésre is hivatkoznak, amely szerint a Föld és a Hold anyagi összetétele jelentős mértékben eltér egymástól, ugyanis a Föld a vasmeteoritok anyagához hasonló vas-nikkel maggal rendelkezik, míg a Hold nem [9]. Ekkor a gyenge ekvivalenciaelv ellenőrzésére van lehetőség sokkal nagyobb pontossággal. Ugyanakkor az említett, vas-nikkel magot feltételező geokémiai meteoritmodell nem áll összhangban a mai geofizikai ismereteinkkel, mert – többek között – nem tudja magyarázni például a külső magban a nyírófeszültségek eltűnését. Fizikai-

[1] Lásd *Patkós András* írásának 2. ábráját idei januári számunk 8. oldalán (műsz. szerk.).

Szondy György villamosmérnökként végzett 1994-ben. Azóta informatikai rendszerek fejlesztésével foglalkozik. Jelenleg egy IT startupot vezet. Független kutatóként 18 éve foglalkozik aktívan a gravitáció fundamentális, elméleti és gyakorlati kérdéseivel. Az elmúlt években több relativitáselmélet-konferencián is előadott. 2006-óta az Egyesület a Tudomány és Technológia Egységéért (ETTE) elnökségi tagja.

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.

Ván Péter fizikus, az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont, Részecske és Magfizikai Intézet, Elméleti Fizikai Főosztályának és a BME Gépészmérnöki Kar, Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszékének tudományos főmunkatársa. Kutatási területe a nemegyensúlyi termodinamika. Az utóbbi években ő koordinálja Wigner FK a Mátrai Gravitációs és Geofizikai Laboratóriumának kutatásait.

Völgyesi Lajos geofizikus, az MTA doktora. A BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszékén professor emeritus. Főbb kutatási területei a fizikai, csillagászati és matematikai geodézia, a Föld forgása és nehézségi erőterének mérése és vizsgálata, az Eötvös-inga továbbfejlesztése és alkalmazási lehetőségei. Akadémiai díjas, számos hazai és nemzetközi tudományos bizottság elnöke és tagja.

lag reálisabb az úgynevezett asztrofizikai modell, amely szerint a földköpeny és a földmag anyagi összetételben nincs számottevő eltérés, a különbség a nagy nyomás miatti fázisátalakulás következménye [10]. A Hold belsejében viszont a Hold kis tömege miatt nem alakul ki olyan nagy nyomás, hogy a Földhöz hasonló fázisátalakulás létrejöhessen, ezért nincs magja és a Földhöz hasonló mágneses tere sem. A Holdról származó kőzetminták alapján sincs számottevő különbség a két égitest anyagi összetételében, életkoruk is teljesen megegyezik, ami az egyidejű, azonos anyagi forrásból történő keletkezést és az azonos anyagi felépítést valószínűsíti [11]. Így az LLR-kísérlet feltehetően nem alkalmas a gyenge ekvivalenciaelv igazolására.

1. ábra. Balra a felújított Eötvös–Rybár (Auterbal) inga és jobbra az Eötvös–Pekár-inga.

A 2016 decembere óta adatokat gyűjtő MICROSCOPE-kísérlet további két nagyságrenddel tervezi megjavítani az eddigi kísérletek pontosságát, felhasználva a Föld körül kicsit eltérő pályán keringő teszttömegek relatív gyorsulásának különbségét. A tervezett „Galileo Galilei" pedig az űrben, zéró gravitációra tervezett torziós ingával további két nagyságrendet javítana, és 10^{-17} pontossággal ellenőrizné a gyenge ekvivalenciaelv érvényességét [12].

Mindazonáltal az Eötvös-kísérletet az eredeti formában és eredeti eszközökkel nem ismételték meg, és az újabb, kifinomultabb módszereket alkalmazó mérések után nem törődtek az Eötvösék munkáiban megfigyelt szisztematikus eltérés okával [6].

Az Eötvösék méréseiben általunk feltételezett szisztematikus hiba a nehézségi erőtér gradiensének olyan, magasabb rendű hatása miatt lép fel, amelyet az alkalmazott minták alakjától függő erőhatás okoz. Az Eötvös-kísérlet megismétlése a gradiens alakhatás figyelembevételével nemcsak a fent említett szisztematikus hibára vonatkozó feltevést igazolhatja, hanem új szempontokkal járulhat hozzá a jelenlegi legpontosabb földi mérésekhez.

Tervek

Az eddigi előzetes vizsgálataink a mérés szempontjából két komoly eredményt hoztak. Egyik, hogy a mérési pontosság a mai technológia segítségével láthatóan legalább egy-másfél nagyságrenddel javítható. A másik, hogy amíg az eredeti Eötvös-kísérletet a környezeti hatások (például a hőmérséklet és a gravitációs gradiensek) általunk ismeretlen módon és mértékben befolyásolhatták (ezek pontos nagyságát az eredeti mérési adatok híján csak találgatni tudjuk), addig a tervezett új méréseket mind a hőmérséklet, mind a környezeti gradiensek szempontjából kontrollált körülmények között tudnánk végezni. A mérés tervezett helyén a környezeti hatások minimálisak, a gravitációs gradiensek pedig az előzetes számítások és mérések szerint jól kezelhetők, és nem túl nagyok.

Éppen ezért lenne fontos, hogy az Eötvös-kísérletet az eredeti módszerrel, de a mai technológia által biztosított nagyobb pontossággal elvégezzük, mert így eldönthető lehet, hogy mi az oka annak az összefüggésnek, amelyet Fischbach és munkatársai Eötvösék eredményeiben felfedezni véltek, illetve vizsgálható a gradiensalak-hatás szerepe a jelenlegi földi és műholdas ekvivalenciaelv-kísérletekben.

2017. június 23-án a Wigner Fizikai Kutatóintézetben született meg a döntés az Eötvös-kísérlet mai, modern technikai lehetőségekkel és eszközökkel segített megismétlésére, reprodukálására és az esetleges eltérések tényleges okának feltárására.

A projekt az Egyesület a Tudomány és Technológia Egységéért (ETTE) kezdeményezésére a Wigner Fizikai Kutatóközpont, a BME Általános- és Felsőgeodézia Tanszék, továbbá az Irányítástechnika és Informatika Tanszék együttműködésével, valamint más tanszékek, szervezetek és szakértők bevonásával valósul meg 2017 és várhatóan 2020 között.

A cél eléréséhez az alábbi nagyobb feladatcsoportokat definiáltuk:

1. Az Eötvös-ingával folytatott mérések teljes automatizálása, a távvezérléssel történő mérés lehetőségének kialakítása.
2. Az inga pontosságának korszerű módszerekkel és eszközökkel történő növelése.
3. Az Eötvös-kísérlet megismétlése maximálisan kontrollált és dokumentált környezetben.
4. A mérések alapos kiértékelése és az eredmények publikálása.

Eddigi előkészületek

A tervezett mérések céljára két különböző típusú Eötvös-inga áll rendelkezésünkre: egy Eötvös–Rybár-féle Auterbal (Automatic Eötvös–Rybár Balance) műszer, illetve egy Eötvös–Pekár-féle torziós inga. Az *1. ábrán* balra látható Auterbal-ingát az 1920-as években fejlesztették ki *Rybár István,* Eötvös későbbi utóda vezetésével a Kísérleti Fizikai tanszéken.

A korábbi ingákhoz képest az azimutonkénti 40 percre csökkentett észlelési idő mellett a legjelentősebb fejlesztés a műszer forgatásának rugós óraszerkezettel történő megoldása és a műszer leolvasási értékeinek fotografikus rögzítése volt [13]. Az automatikus leolvasás lehetővé tette az inga felügyelet nélküli működését, ugyanakkor a kényes óraszerkezet gyakori meghibásodásai miatt a műszer folyamatos figyelmet igényelt.

Az *1. ábra* jobb oldalán látható Eötvös–Pekár-inga fejlesztése esetében Pekár Dezső a méretek és a lengésidő csökkentésére törekedett és a műszerek egyszerűségének megőrzésére helyezve a hangsúlyt maradt a pontosabb és megbízhatóbb vizuális leolvasás mellett. A Pekár által fejlesztett ingák Eötvös–Pekár-ingaként ismertek, de hivatalos típusjelzésük Small original Eötvös G-2 volt [13]. A műszert három változatban gyártották, amelyek alapvetően csak a torziós szál hosszában különböztek egymástól. Az 1926-ban gyártott műszerekben a szál hossza még 50 cm, az 1928-as típusú készülékekben 40 cm, az 1930-as ingákban pedig már csak 30 cm volt.

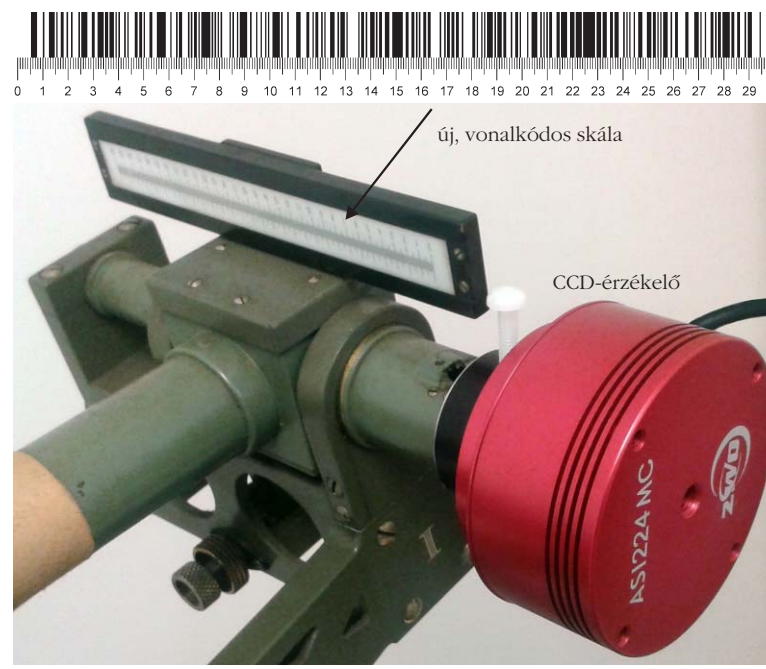
A rendelkezésünkre álló ingákat igen régen használták, így az első fontos lépés az ingák felújítása, javítása, használhatóságuk ellenőrzése, beszabályozása [14] és kalibrálása volt. Mindez hosszú hónapokat vett igénybe. A torziós szálak csavarodási driftjének minimálisra csökkentése céljából – az ingák kioldott helyzetében – több mint fél éven keresztül, folyamatosan terheltük a szálakat. A hosszú idejű terheléssel a Pekár-inga esetében mindkét szál gyakorlatilag driftmentes állapotát sikerült elérni, míg az Auterbal-ingának egyelőre csak egyik torziós szála érte el a szinte teljesen driftmentes helyzetet. Ettől persze az Auterbal-inga is alkalmas mérésekre, hiszen a drift a mérések kiértékelése során egyszerűen korrekcióba vehető, de a szélsőséges pontossági igényű mérések céljára szerencsésebb a Pekár-inga használata. Ráadásul – mivel az Eötvös-kísérlet megismétlése tekintetében döntő szempont az ingában lévő tömegek egyszerű cserélhetősége – a mérések céljára egyértelműen a 30 cm szálhosszúságú Pekár-inga mellett döntöttünk, és a további fejlesztéseket már csak erre az eszközre koncentráltuk.

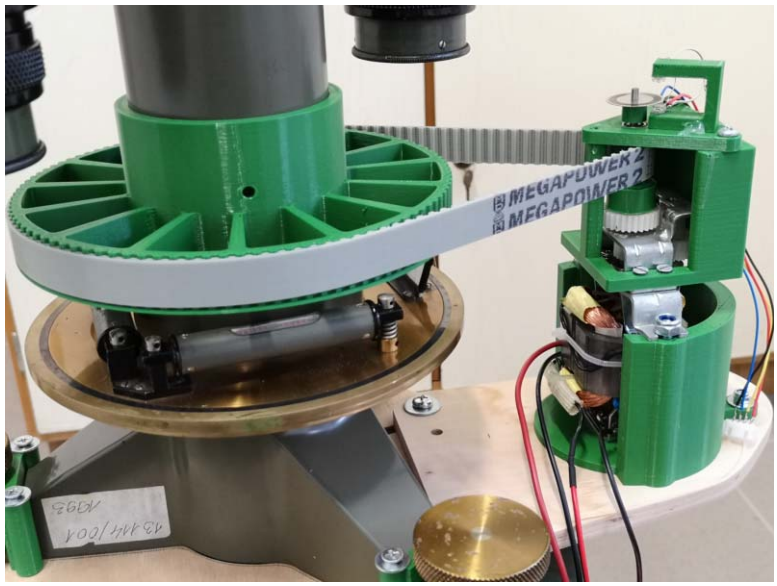
A sikeres mérések legfontosabb követelménye a méréseket zavaró körülmények minél teljesebb kiiktatása. Az Eötvös-kísérlet méréseit leginkább veszélyeztető hibaforrások: a műszert leolvasó személy zavaró tömege, a talajrezgések, a hőmérséklet változása és a nehézségi erőtér gradienseinek magas értéke az inga környezetében. Az utóbbi probléma megfelelő helyszín kiválasztásával és az Eötvös-tenzor elemeinek – a műszer környezetében – pontos feltérképezésével egyszerűen kezelhető. Megfelelő helyszín kiválasztásával biztosítható a környezeti hőmérséklet stabilitása és jelentősen csökkenthetők az – elsősorban forgalom okozta – talajrezgések is. A mérések helyszínéül ezért választottuk a Jánossy Föld alatti Fizikai Laboratórium 30 m-es mélységben lévő folyosóját. Előzetes méréseink szerint a helyszín hőmérsékleti stabilitása megfelelő, a napi változás mindössze néhány század fok és várható, hogy mikroszeizmikus talajnyugtalanság is alacsony, amit szeizmográffal ellenőrzünk.

A mérések legjelentősebb és legveszélyesebb hibaforrása a műszert kezelő és leolvasó személy jelenléte, elsősorban tömeghatása [15]. Ugyanakkor jelenlétével a hőmérsékleti egyensúlyt is megbontja és mozgásával egyértelműen érzékelhető talajrezgéseket kelt, sőt – a tapasztalat szerint – a műszer parányi megdőlését is okozza. A hibaforrás a közvetlen emberi jelenlét kiküszöbölésével, a mérési folyamat teljes automatizálásával, távvezérelt méréssel szüntethető meg. A vizuális leolvasás helyett ehhez szükséges a megfelelő CCD-érzékelők alkalmazása és számítógépes képkiértékeléssel a digitális műszerleolvasás, továbbá az inga különböző mérési azimutokba forgatásához távvezérelt motor alkalmazása.

A Pekár-inga vizuális leolvasásra szolgáló okulárjának helyére CCD-érzékelőt szerelve az inga karjának helyzetét a keletkezett digitális kép kiértékelésével tudjuk meghatározni (*2. ábra*). Vizsgálataink szerint

2. ábra. CCD-érzékelő a leolvasó okulár helyén.





3. ábra. Az inga távvezérelt forgatásának megoldása.

megfelelő felbontású CCD-kamerát alkalmazva az elektronikusan rögzített képen a kinagyított skála egy osztása 25-30 képpont nagyságú részt foglal el. Alkalmas képkiértékelési eljárással egy képpont tört részének megfelelő helyzet is meghatározható, így a várható leolvasási pontosság egy képből nagyjából 1/100 skálaosztás (10^{-10}). Ez már így is egy nagyságrenddel jobb, mint az eredeti vizuális észlelés 10^{-9} pontossága. Ráadásul az inga egyensúlyi helyzetéről – másodpercenként több képet készítve – néhány perc alatt akár 1000 kép is rögzíthető és kiértékelhető, ami további leolvasási pontosságnövekedést eredményezhet.

A mérés egyik fontos kérdése, hogy a digitális képfeldolgozás kellően gyors és hatékony-e? A relatív skálaelmozdulás – két egymást követő kép között képkorrelációval – az eredeti skálát használva is gyorsan és pontosan meghatározható. A skála abszolút helyzetének, vagyis a teljes leolvasás automatikus meghatározása már jóval nehezebb, a mesterséges látás alkalmazását igényli, hiszen a skála osztásaihoz tartozó számokat és azok helyzetét is fel kell ismerni. Ezért új, vonalkódos skálát terveztünk és hozzá kapcsolódó kiértékelési eljárást készítettünk, amely a számítógépes leolvasást jóval egyszerűbbé, hatékonyabbá teszi, ugyanakkor növelni tudja a leolvasási pontosságot is.

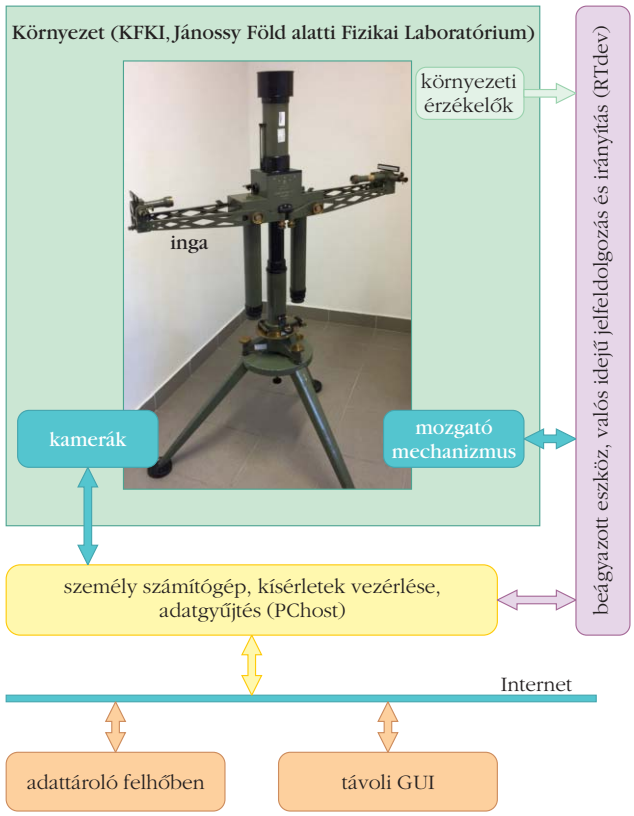
A vonalkódos hosszmérési technológiát már évtizedek óta sikeresen alkalmazzák különböző geodéziai műszergyártó cégek a nagy pontosságú, szabatos digitális szintezésben. Ennek analógiájára olyan vonalkódos skálát terveztünk, amelynek a CCD-n látható részéből bármilyen leolvasási helyzetben nagy pontossággal és egyértelműen rekonstruálható a skála nullpontjának távolsága, vagyis a keresett skálaleolvasás. Miután a vonalkódos skála hagyományos vizuális észlelésre nem alkalmas, ezért – amint a *2. ábra* felső részén is látható – kombinált vonalkódos és hagyományos számozott skálákat terveztünk. Így megmarad a hagyományos észlelés lehetősége, ugyanakkor a számítógépes leolvasás számára ideális és gyors vonalkódos kiértékelés is lehetővé válik. A kombinált skálák legyártása lézergravírozással folyamatban van, és amennyiben pontosságuk kielégíti igényeinket, akkor a mérés során ezeket fogjuk alkalmazni. Az első vonalkód-gravírozás minősége sajnos messze nem elégítette ki elvárásainkat, ezért részletesen meg kellett ismerkednünk a gyártási technológiákkal, és az új terveket ezek ismeretében kellett kialakítani.

A mechatronikai megoldások legkritikusabb eleme az inga távvezérelt forgatását végző egység elkészítése. Az egységgel szemben támasztott fontos követelmény, hogy a forgatások közötti nyugalmi helyzetben, a mérések közben elkerüljük a forgatómotor és a hozzá kapcsolódó szerkezet által okozott permanens mágneses zavarokat. A motor vezérlését úgy kellett megoldani, hogy az inga 0°, 90°, 180°, 270° azimutokba forgatása pontosan, üzembiztosan, ugyanakkor hirtelen gyorsulások és lassulások nélkül, a rendkívül érzékeny ingaszerkezet szempontjából kíméletesen, mechanikai sokk nélkül történjen. A forgatás során a megfelelő indulás és megállás az inga lengésének csillapodását is kedvezően befolyásolja, rövidítheti a csillapodáshoz szükséges időt.

Az inga különböző mérési azimutokba forgatásához a *3. ábrán* látható szerkezetet készítettük, a forgatásról – az inga szabadon futó felső részével összekötő bordásszíjas hajtáson keresztül – speciális motor gondoskodik. Érdekesség, hogy a legtöbb alkatrész 3D nyomtatással készült. A jelenlegi áttétel 1:10, amelyhez egy 10 és egy 100 fogas tárcsa tartozik a motor, illetve az inga oldalán. A szöghelyzet megfelelő felbontású visszaméréséről optikai elven működő enkóder tárcsa és a hozzá kapcsolt optokapuk gondoskodnak a hajtás motoroldali tengelyén. A tárcsa 100 vonalas, ez a dupla fototranzisztoros kialakításnak köszönhetően fordulatonként összesen 400 inkremenst jelent. Mivel az inkeremensek előjeles számlálása a motoroldali tengelyen történik, az áttétel miatt az inga teljes, 360°-os tartományára vonatkoztatva 0,09°-os felbontást kapunk.

Amennyiben az áttétel nagysága a próbák során nem tűnik kielégítőnek, akkor egy további, csigahajtásos hajtómű kerülhet beépítésre, hogy a torziós szálra ható rántások tovább csökkenjenek. Ezzel persze a szöghelyzet mérési pontossága is javul.

A mérés automatizálását biztosító megoldás architektúrájának vázlatát az *4. ábra* mutatja. A beágyazott mikrovezérlőt tartalmazó egység (RTdev) feladata a valós idejű adatgyűjtés az inga környezetében elhelyezett szenzorokról (hőmérséklet, páratartalom stb., igény szerint), a tápellátás monitorozása, valamint az inga mozgató egységének vezérlése, így a szöghelyzetjeladók kezelése is. A nem időkritikus műveletek személyi számítógépen (PChost) kerülnek megvalósí-



4. ábra. A rendszer felépítése.

tásra. Itt történik az automatizált méréshez rögzített, akár mérésenként egyedi módon definiált forgatási szekvenciák végrehajtása, a CCD-érzékelők adatgyűjtés-vezérlése, a kapott adatok és képek naplózása és mentése, illetve feldolgozása is. A PChost fogadja a kameraképeket is. Itt nem szükséges valós idejű feldolgozás, ugyanakkor a képek rögzítésének pontos időpontját is tárolni kell.

A sikeres mérések fontos követelménye – az inga modernizálásához szükséges egyedi informatikai megoldások mellett – a különleges alkatrészek precíziós beszerzése és gyártása. A soron következő legnehezebb feladat a megfelelő alakú és tömegű próbatömegek gyártása és megfelelő szálakra függesztése.

Összegzés

Eötvös Loránd és munkatársai a súlyos és a tehetetlen tömeg arányosságára vonatkozó kísérletsorozatukban apró, a hibahatárt alig meghaladó eltéréseket kaptak. Az erre vonatkozó publikációkat alaposan áttanulmányozva, a mérésekben olyan szisztematikus hibalehetőséget találtunk, amely indokolttá tette a kísérletek – mai korszerű technikai lehetőségek által kínált jobb feltételek melletti – megismétlését.

2017 júniusában a Wigner Fizikai Kutatóintézetben döntés született az EPF-mérések Eötvös-ingával történő, megismétlésére és az esetleges eltérések tényleges okának feltárására. A mérésekben és ezek előkészületeiben az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpontja, a BME Általános- és Felsőgeodéziai Tanszéke, az Egyesület a Tudomány és Technológia Egységéért (ETTE), a BME Irányítástechnika és Informatika Tanszéke vesznek részt, más további szervezetek, tanszékek és szakértők bevonásával.

A méréseket a KFKI területén lévő Jánossy Föld alatti Fizikai Laboratóriumban, 30 m mélységben, megfelelő nyugalmi körülmények és kontrollált feltételek között tervezzük. A mérések előkészületi munkái több mint egy éven keresztül folytak a BME Általános- és Felsőgeodéziai Tanszékén. A mérések céljára átalakított Eötvös–Pekár-inga 2018. december 20-án került a mérések helyszínére, a Jánossy Föld alatti Fizikai Laboratóriumba [16]. Az inga beszabályozása, az előzetes kalibrációs mérések, a vezérlőmotor tesztelése és ez alapján első fejlesztése megtörtént, a CCD-érzékelők felszerelése és a vezérlő szoftver programozása, a vonalkódos skála elkészítése és az első próbatömegek gyártása lezajlott, a precíziós kódgyűrű felszerelése 2019 áprilisában megtörténik. A tényleges mérések – terveink szerint – ezután azonnal elkezdődnek.

Irodalom

1. Eötvös R., Pekár D., Fekete E.: Beiträge zum Gesetze der Proportionalität von Trägheit und Gravität. *Annalen d. Physik* (1922) 11–66.
2. Tóth Gy.: Az Eötvös–Pekár–Fekete ekvivalenciamérések szabályos hibája. *Fizikai Szemle 69/5* (2019).
3. Fischbach E., Sudarsky D., Szafe A., Talmadge C., Aronson S. H.: Reanalysis of the Eötvös experiment. *Physical Review Letters 56/11* (1986) 3.
4. Bod L., Fischbach E., Marx Gy., Nárayné Ziegler M.: Az Eötvös-kísérlet száz éve. *Fizikai Szemle 42/3* (1992) 94–101.
5. Király P.: A 100 éves Eötvös–Pekár–Fekete kísérletek és máig tartó hatásuk. *Fizikai Szemle 57/1* (2007) 1.
6. Franklin A., Fischbach E.: *The rise and fall of the fifth force: Discovery, pursuit, and justification in modern physics*. Springer (2016).
7. Roll P. G., Krotkov R., Dicke R. H.: The equivalence of inertial and passive gravitational mass. *Ann. Phys. 26* (1964) 442.
8. Braginsky V. B., Panov V. I.: Verification of Equivalence Principle of inertial and Gravitational Mass. *Zh, Eksp. Theor Fiz. 61* (1971) 873.
9. Adelberger E. G., Gundlach J. H., Heckel B. R., Hoedl S., Schlamminger S.: Torsion Balance Experiments: A Low-energy Frontier of Particle Physics. *Progress in Particle and Nuclear Physics 62* (2009) 102–134.
10. Völgyesi L., Moser M.: The Inner Structure of the Earth. *Periodica Polytechnica Chem. Eng. 26* (1982) 155–204.
11. Völgyesi L., Moser M.: The Inner Structure of the Moon. *Periodica Polytechnica Chem. Eng. 29* (1985) 59–70.
12. Nobili A. M., Anselmi A.: Relevance of the weak equivalence principle and experiments to test it: Lessons from the past and improvements expected in space. *Physics Letters A 382* (2018) 2205–2218.
13. Szabó Z.: Az Eötvös-inga históriája. *Magyar Geofizika 40/1* (1999) 26–38.
14. Völgyesi L., Égető Cs., Laky S., Tóth Gy., Ultmann Z.: Eötvös-inga felújítása és tesztmérések a budapesti Mátyás-hegyi-barlangban. *Geomatikai Közlemények XII* (2009) 71–82.
15. Csapó G., Laky S., Égető Cs., Ultmann Z., Tóth Gy., Völgyesi L.: Test measurements by Eötvös-torsion balance and gravimeters. *Periodica Polytechnica Civil Eng. 53/2* (2009) 75–80.
16. Völgyesi L., Szondy Gy., Tóth Gy., Péter G., Kiss B., Deák L., Égető Cs., Fenyvesi E., Gróf Gy., Ván P.: Előkészületek az Eötvös-kísérlet újramérésére. *Magyar Geofizika 59/4* (2018), 165–179.

ZEBRACSÍKOK FELTÉTELEZETT HŰTŐ HATÁSÁNAK KÍSÉRLETI CÁFOLATA – 1. rész

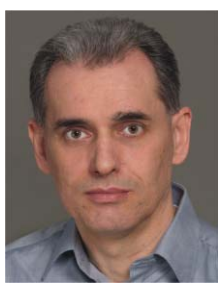
Horváth Gábor, Pereszlényi Ádám, Száz Dénes
ELTE Biológiai Fizika Tanszék
Barta András
Estrato Kutató és Fejlesztõ Kft., Budapest
Jánosi Imre Miklós
ELTE Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék
Gerics Balázs
Állatorvosi Egyetem, Tájanatómiai Intézet, Bécs, Ausztria
Susanne Åkesson
Lundi Egyetem, Biológia Tanszék, Svédország

A zebrák szembeötlő fekete-fehér csíkos mintázatának titokzatos szerepét *Wallace* [1] és *Darwin* [2] óta kutatók élénken vitatják. Mostanáig 18 különböző magyarázatot vetettek fel a zebracsíkok lehetséges funkcióira, amelyek négy fő csoportba sorolhatók [3]:

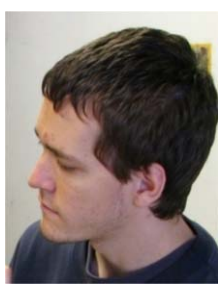
1. ragadozók elleni védelem, beleértve az álcázást és a vizuális összezavarás különböző vonatkozásait,
2. társas kölcsönhatások megkönnyítése,
3. vérszívó rovarok (cecelegyek és bögölyök) vizuális vonzásának csökkentése,
4. testhőmérséklet szabályozása.

A 3. funkció helyességét bögölyökre terepkísérletekben igazoltuk [4]. Jelen cikkünkben a 4. hipotézissel foglalkozunk. A 4. feltételezés szerint a zebracsíkok a test hűtését szolgálják, hiszen a felváltva sorakozó, napsütötte fekete és fehér csíkok fölött a hőmérséklet-különbségek által kiváltott örvénylő légáramok hűtő hatást biztosítanak. E hipotézis észszerűnek tűnik, mert a fekete zebracsíkok jobban elnyelik a napfényt és ezért melegebbek, mint a napsugárzást zömében visszaverő és ezért hűvösebb fehér csíkok. Infravörös felvételek szerint a napsütötte fekete csíkok melegebbek, mint a napsütötte fehérek, és e hőmérséklet-különbség fokozódik a léghőmérséklet emelkedésével. Éjjel azonban a hőmérséklet-különbségek fordítottak: a fekete csíkok hűvösebbek, mint a fehérek [3]. *Caro* [3] hőkamerával végzett mérései nem igazolták, hogy napfényben a

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 sajátságait 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.



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 állatpreparálással is foglalkozik.

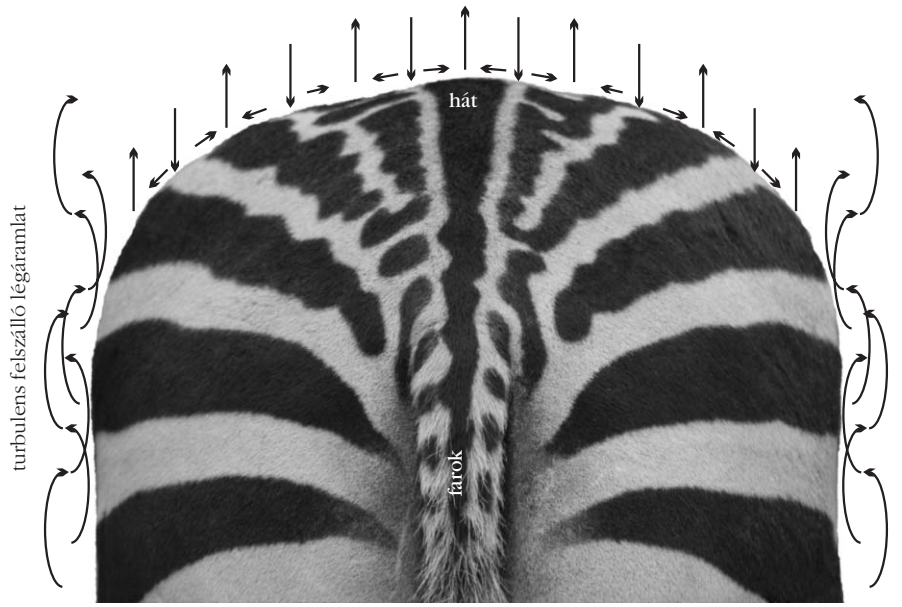
Száz Dénes 2013-ban végzett biofizika mesterszakon az ELTE-n. A Biológiai Fizika Tanszéken 2018-ban doktorált. Kutatásai felölelik a dunavirág kérészek kivilágított hidaknál történő fénycsapdázódását, a vikingek égpolarizációs navigációját és a poláros fényszennyezést. 2017-től az ELTE szombathelyi Savaria 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.

Barta András az ELTE-n végzett fizikusként, majd ugyanott szerzett PhD-fokozatot biofizikából a Biológiai Fizika Tanszék Környezetoptika Laboratóriumában. A bio- és környezetoptikával kapcsolatos alapkutatásokon 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.

Jánosi 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 idősor-analízis, légköri és óceáni adatbankok „bányászata". Az ELTE Környezettudományi Doktori Iskola vezetője.

zebrák testfelületi hőmérséklete alacsonyabb volna, mint más patásoké (zsiráf, impala, bivaly). Másrészt, *Irondo* és *Rubenstein* lézeres infravörös digitális hőmérővel gyűjtött adatait röviden említik *Larison* és munkatársai [5]. Eszerint a zebrák testfelszíni hőmérséklete napfényben lényegesen alacsonyabb (29,2 °C), mint a hasonló méretű antilopoké (32,5 °C). E mérési adatokat viszont hivatalosan soha nem publikálták. Ne feledjük azonban, hogy a testfelületi hőmérséklet nem feltétlenül arányos a kiterjedt testek maghőmérsékletével [3], pedig a hőszabályozás tekintetében ez utóbbi a legfontosabb paraméter. A maghőmérséklet nem lehet magasabb egy kritikus értéknél, különben az állat túlhevül, ami halálos. Caro és munkatársai [6] 7 lóféle, valamint 20 zebraalfaj esetében vetették össze azok csíkozását (illetve annak hiányát) az évi hőmérséklettel, és nem találtak összefüggést köztük. Larison és munkatársai [5] Afrika számos részén a léghőmérséklet változékonyságát hasonlították össze Burchell-zebrák csíkozottságával. Ők pozitív korrelációt találtak az izotermia és a leghidegebb negyedév középhőmérséklete, valamint a csíkozás intenzitása között. Jelen tanulmányunkban ezt az ellentmondást kívánjuk feloldani.

A hőszabályozási hipotézis szerint felszálló légáramok alakulnak ki a melegebb fekete zebracsíkok fölött, amelyeket a szomszédos hidegebb fehér csíkok fölötti hűvösebb levegő pótol (*1. ábra*). Ily módon a váltakozó fekete-fehér csíkok periodikus konvektív légörvények kialakulásához vezetnek. A napsütésben ezen örvények a zebra testét elvileg oly módon hűthetik, hogy meleg levegőt szállítanak el a fekete csíkok fölül és/vagy felgyorsítják a verejték elpárolgását.



1. ábra. A napsütötte zebracsíkoknál feltételezett, hűtő hatású légörvények. A zebracsíkok hőszabályozási szerepéről szóló hipotézis szerint napsütésben a fekete csíkok melegebbek a fehéreknél, ezért szélcsendben az előbbiek fölött felszálló, míg az utóbbiak fölött leszálló légáramlatok lehetnek. Ilyen fel- és leszálló konvektív légárampárokból álló periodikus légörvények azonban a zebratestnek csak a közel vízszintes felületrészei fölött keletkezhetnek. A ferde és függőleges felületrészeknél a légáramlatok inkább kaotikusak, turbulensek lehetnek.

E hipotézissel legalább három probléma van.

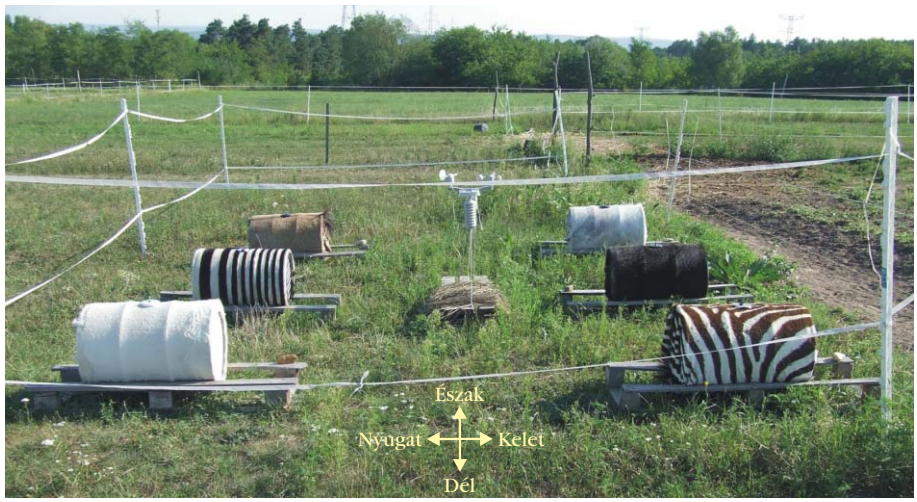
1. Mindeddig nem dokumentálták a napsütötte zebracsíkok fölött előrejelzett konvektív légörvényeket. Ilyen örvények leginkább a zebrák csíkos testfelületének csaknem vízszintes részein alakulhatnának ki. A zebratest erősen ferde vagy függőleges részei, például a horpaszok mentén a fölmelegedő turbulens légáramlás a testfelülettel párhuzamosan jöhet létre, ami megakadályozza a periodikus örvények kialakulását (*1. ábra*). Így napsütésben és forróságban csak a test majdnem vízszintes csíkos háti zónájának lehetne hűtő hatása. Erős fényelnyelésük miatt a fekete csíkok egyértelműen hátrányosak a ferde és függőleges testtájakon (például nyakon, lábakon). Amennyiben a zebrák csíkozottsága a hűtést szolgálná, akkor a csíkoknak csak a háton lenne értelmük. Márpedig a zebrák testfelszínének zöme csíkos.

2. A vízszintes csíkos felületek fölött feltételezett konvektív légörvények stabilitása sem ismert. Ezen örvényeket könnyedén elfújhatják a gyenge helyi szellők is, amelyek napsütésben gyakorlatilag folyamatosan tapasztalhatók. Továbbá, ezen örvényeket a zebrák mozgása is megszakíthatja [3].

3. Nem ismeretes az sem, hogy a zebrák csíkos vízszintes testfelületei fölött napsütésben esetleg kialakuló légörvények erősebben hűtenek-e, mint egy egyszínű testfelület izzadása és fölötte a nem-periodikus légáramlások.

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 lundi Centre for Animal Movement Research igazgatója. Nemzetközi tudományos expedíciók szervezője-résztvevője, 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.



2. ábra. A terepkísérletek során használt, állatbőrökkel bevont, vízzel töltött 6 fémhordó elrendezése, köztük az automatikus meteorológiai állomással. A hordókat a füves talaj fölött 10 cm magasan fa raklapok tartották. A hordók palástján lévő lyukat egy kör alakú fém kupak fedte. A kupak függőleges fém rúdja végén volt egy automatikus hőmérő, ami a víz maghőmérsékletét mérte a hordó közepén.

E súlyos nyitott kérdések miatt a zebracsíkok hűtő hatásának hipotézise fizikailag és fiziológiailag is vitatható. A fekete és fehér zebracsíkok a napfényt nagyon eltérően verik vissza. Mindezidáig kérdéses volt, hogy egyáltalán van-e ennek hűtő hatása, és ha igen, akkor annak mi a mechanizmusa, és végeredményben valóban csökkenti-e a testhőmérsékletet.

Cikkünk célja a zebracsíkok hűtő hatásának kísérleti vizsgálata. Négyhónapos terepkísérletben termográfiás és termodinamikai méréseket végeztünk különböző modelleken (*2. ábra*). Ily módon meggyőzőbb érveket szolgáltattunk a zebracsíkok hűtő hatása ellen [7], mint a korábbi kutatások, amelyek egyszerű megfigyelések [3] vagy összehasonlítások [5, 6] voltak. Kísérletünk az állatmodellek maghőmérsékletének mérésén alapult, amit hőkamerás felvételekkel egészítettünk ki [7], és nem csak zebrák testfelületi hőmérsékletét regisztrálta, mint azt korábban tették [3].

Kísérleti módszerek

Terepkísérletek állatbőrökkel bevont hordókkal

Az 1. terepkísérletet 2017. június 10. és 30. között végeztük egy gödi lovastanyán (47° 43’ N, 19° 09’ E, Észak-Magyarország), majd július 6. és 27. között (2. kísérlet), augusztus 6. és 26. között (3. kísérlet), valamint augusztus 30. és szeptember 19. között (4. kísérlet) megismételtük. Hat fémhordót (átmérő = 30 cm, hosszúság = 60 cm, falvastagság = 1 mm) csapvízzel töltöttünk fel, és két párhuzamos sorban, egymástól 2 m távolságban a füves talajra helyeztük őket (*2. ábra*). Derült időben napkeltétől napnyugtáig közvetlen napfény és égfény érte őket úgy, hogy sosem voltak árnyékban. A hordók vízszintes hossztengelye a földrajzi kelet–nyugat iránnyal volt párhuzamos (*2. ábra*). Így derült napokon a hordók hengerpalástját túlnyomórészt közvetlen napfény világította meg, ami – a nyári időszámításnak megfelelően – délután 1 óra körül volt a legerősebb. Ezen elrendezésnek köszönhetően, a hordók fala által elnyelt napfény a leghatékonyabban melegíthette a hordók víztartalmát.

A hordókat fa raklapokra helyeztük, amelyek 10 cm magasságban tartották őket a füves talaj fölött (*2. ábra*). A hordók hengerpalástja tetejének közepén egy kör alakú lyuk (átmérő = 5 cm) volt, amin keresztül – függőleges fémrúd alsó végéhez rögzítve – egy automata digitális hőmérőt (HOBO Pendant Temperature Data Logger, ONSET, Cape Cod, Massachusetts, USA) engedtünk le a hordó középpontjába, ahol 5 percenként folyamatosan mérte a víz maghőmérsékletét. A fémrúd felső végét egy kör alapú fémsapka (átmérő = 7 cm) tartotta, ami eltakarta a hordó burkolatán lévő lyukat. A sapka vízbe merülő rúdját, végén a hőmérővel, egy 15 gramm súlyú anyacsavar tartotta függőlegesen. A sapkát a hordó külső mintázatának megfelelően festettük be.

A hordókat a következő állatbőrökkel borítottuk be: fehér marhabőr, fekete marhabőr, barnásszürke lóbőr, szürkemarhabőr, fekete-fehér csíkos marhabőr (mű zebrabőr), valódi zebrabőr (*Equus burchelli boehmi*). A ló- és marhabőröket magyar ló- és marhatartóktól kaptuk, a zebrabőrt pedig egy magyar állatkerttől szereztük be. A nyers bőröket csáváztuk, majd nedves állapotban húztuk őket a hordókra, így a kiszáradásukat követően a lehető legjobban szorultak rá a hordókra, miáltal csak egy nagyon vékony légréteg maradt a bőr és a hordófal között.

A mű zebrabőr 50-50%-a fekete és fehér csíkokból állt, amelyek vastagsága – a valódi zebrabőr mintázatának megfelelően – 2 és 7,5 cm között változott. A csíkokat egy szűcs varrta össze fekete és fehér marhabőrcsíkokból. E csíkok merőlegesek voltak a hordó hossztengelyére, azaz függőlegesek, amikor a hordó a talajon feküdt. E mintázat jól modellezte a zebratest elülső felének csíkmintázatát. A hordók kör alakú véglapja a hordópalást mintázatának megfelelően volt befestve, vagy ugyanazzal a bőrrel volt borítva, mint a hordópalást. Mivel e véglapokat csak rövid ideig – napkeltekor és napnyugtakor – érte gyenge napfény és máskor többnyire árnyékban voltak, ezért a hordópalásthoz viszonyított termikus hatásuk elhanyagolható volt.

A négy terepkísérletben a következő bőrök borították a hordókat: (1) fehér marha, fekete marha, szürke ló, műzebra; (2) fehér marha, fekete marha, szürke ló, műzebra, valódi zebra; (3, 4) fehér marha, fekete marha, szürke ló, műzebra, valódi zebra, szürkemarha.

A hordók mellett egy karám volt, ahol a homokos talajon lovakat tartottak (*2. ábra*), és ezért a hordók borítása néha poros lett. Így minden másnap a hor-

dók felületét egy kefével leporoltuk, és a hordók elhelyezkedését véletlenszerűen megváltoztattuk.

Meteorológiai változók rögzítése

Kísérleteink alatt a hordók közé telepített automata meteorológiai állomással (Conrad Electronic, equipment no: 672861) folyamatosan rögzítettük a $T_{\text{lég}}$ léghőmérsékletet és a w szélsebességet. Az érzékelők a talaj fölött 1 m magasságban voltak, hogy közvetlenül mérhessük a hordókat befolyásoló időjárási paramétereket. Az állomás adatgyűjtő egységét egy esőálló műanyag dobozban a talajra helyeztük.

Hőkamerás mérések

Napsütötte élő zebrák (*Equus burchelli boehmi*) testfelszínének hőmérséklet-mintázatát a Budapesti Állat- és Növénykertben mértük 2016 júliusában egy hőkamerával (VarioCAM®, Jenoptik Laser Optik Systeme GmbH, Jena, Germany). A terepkísérleteinkben használt, állatbőrökkel bevont, napsütötte hordókról napközben óránként készítettünk hőképeket 2017. július 18-án, 30-án és augusztus 15-én 8:00/9:00 óra (= UTC + 2 óra = nyári időszámítás) és 19:00 óra között. A zebrák és hordók felszíni hőmérsékletének térbeli mintázatát egy egyenes vonal mentén mértük, amihez egy saját fejlesztésű szoftvert használtunk.

Spektroszkópiai mérések

Spektroszkópiai méréseket délben végeztünk teljes napsütésben, felhőtlen ég alatt. Az állatbőrökkel borított hordók $I(\lambda)$ visszaverődési spektrumát egy 350 nm $\geq \lambda \geq$ 825 nm hullámhossztartományban érzékeny spektrométerrel (Ocean Optics STS-VIS, Largo, USA) mértük 15 perc alatt, miközben a megvilágítási körülmények gyakorlatilag nem változtak. Egy adott hordó felszínének 5 különböző pontján mértünk, majd ezen 5 spektrumot átlagoltuk. Kiszámoltuk az

$$INT = \int_{350\ \text{nm}}^{825\ \text{nm}} I(\lambda)\,\mathrm{d}\lambda$$

integrált, valamint a

$$wh = \frac{INT}{INT_{\text{fehér marha}}}$$

(wh = 1: fehér, wh = 0: fekete) fehérséget, ahol $INT_{\text{fehér marha}}$ a fehérmarhabőr-spektrum integrálja.

A hordók maghőmérsékleteinek összehasonlítása

A hordók maghőmérskéleteinek átlaga és szórása

Mind a négy kísérlet összes napjára 12:00 és 18:00 óra között (UTC + 2 óra, 1–3. kísérlet), valamint 12:00 és 17:00 óra között (4. kísérlet) meghatároztuk a hordók maghőmérsékleteinek átlagát (számtani közepét) és szórását. Külön kiszámoltuk a maghőmérsékletek átlagait és szórásait a meleg napokra, amikor a napi átlagos léghőmérséklet 25 °C-nál magasabb volt (ekkor volt a legnagyobb esélye a zebracsíkok fölötti légörvények kialakulásának).

Statisztikai elemzés: Bonferroni post-hoc teszttel kiegészített ANOVA (Statistica 7.0) statisztikai vizsgálattal meghatároztuk, hogy van-e különbség a hordók napi átlagos maghőmérsékletei között. E statisztikai tesztet minden kísérletnél külön elvégeztük (i) az összes napra, és (ii) csak a meleg napokra (amikor a napi átlagos $T_{\text{lég}}$ > 25 °C volt).

Adatok szűrése a léghőmérsékletre és szélsebességre vonatkozó küszöbértékekkel

Feltételezésünk szerint a zebracsíkok fölötti légörvények létrejöttének két fő meteorológiai előfeltétele, hogy (i) a léghőmérséklet egy adott T^* küszöbértéknél magasabb legyen, és (ii) a szélsebesség egy adott w^* küszöbértéknél alacsonyabb legyen. Mivel nem találtunk e küszöbértékekre vonatkozó szakirodalmi adatokat, ezért bizonyos tartományokon belül változtattuk őket. Egy állatbőrrel bevont hordó felszínén bekövetkező bármilyen hőmérséklet-változás bizonyos Δt időkéséssel befolyásolja a hordó vizének maghőmérsékletét. Δt értékét úgy becsültük meg, hogy kiszámoltuk a

$$CC(\delta) = \int_{t_{\min}}^{t_{\max}} T_{\text{lég}}(\tau)\, T_{\text{mag}}(\tau + \delta)\,\mathrm{d}\tau$$

keresztkorrelációs integrált, ahol $T_{\text{lég}}(t)$ és $T_{\text{mag}}(t)$ a t időpontban mért léghőmérséklet és maghőmérséklet, δ pedig az időkésés. A CC keresztkorrelációs integrált δ függvényében egy adott hordóra mind a négy kísérletnél a legmelegebb napokon (ezek rendre 2017. június 28., július 20., augusztus 10. és szeptember 1. volt) $t_{\min}$ = 6:00 óra és $t_{\max}$ = 20:00 óra (UTC + 2 óra) között számoltuk. A $CC(\delta)$ függvény δ^* időkésésnél meghatározott maximuma becslést ad a $\Delta t = \delta^*$ termikus válaszidőre. A keresztkorrelációs számolásokhoz az R Statistics 3.2.3 szoftvert használtuk.

Teszteltük azon hipotézist, hogy a zebracsíkos hordók fölött konvektív légörvények csak akkor tudnak kialakulni, ha egyszerre teljesülnek a $T_{\text{lég}} > T^*$ és $w < w^*$ feltételek, és e légörvények Δt időkéséssel csökkentik a csíkos hordók T_{mag} maghőmérsékletét. Először azon $t_{\text{hűtés}}$ időpontokat határoztuk meg, amikor mindkét feltétel teljesül, majd kiszámoltuk a

$$\Delta T(t_{\text{hűtés}}; T^*, w^*) = T_{\text{hordó}}(t_{\text{hűtés}} + \Delta t) - T_{\text{műzebra}}(t_{\text{hűtés}} + \Delta t)$$

különbségeket egy adott típusú bőrrel bevont hordó maghőmérsékletei és a mű zebrabőrrel borított hordó maghőmérsékletei között a T^* és w^* küszöbértékek függvényében, melyeket a 25 °C $\geq T^* \geq$ 37 °C és 1 km/h $\geq w^* \geq$ 10 km/h tartományokban változtattunk. Mindig a mű zebrabőrrel burkolt hordó maghőmérsékletét tekintettük referenciaértéknek, mert e csíkos hordó mind a négy kísérletben szerepelt.

Statisztikai elemzés: a Python 2.7.12 programnyelv Scipy statisztikai függvénymodulját felhasználva, páros Wilcoxon-tesztet végeztünk a T^* és w^* küszöbértékekre, valamint a Δt időkésésre, hogy különbséget keressünk a mű zebrabőrrel bevont hordó és a szürke ló-, szürke marha-, valamint valódi zebrabőrrel bevont hordók maghőmérsékletei között, amikor az N esetszám (a pillanatnyi w és $T_{\text{lég}}$ értékekre teljesült a $w < w^*$ és $T_{\text{lég}} > T^*$ feltétel) nagyobb volt, mint 20.

Folytatás a következő számban.

Irodalom

1. A. R. Wallace: Mimicry and other protective resemblances among animals. *Westminister Foreign Quarterly Reviews 32* (1867) 1–43.
2. C. R. Darwin: *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*. John Murray, London (1871) Vol. 2, 302.
3. T. Caro: *Zebra Stripes*. University of Chicago Press, Chicago, London (2016)
4. Á. Egri, M. Blahó, G. Kriska, R. Farkas, M. Gyurkovszky, S. Åkesson, G. Horváth: Polarotactic tabanids find striped patterns with brightness and/or polarization modulation least attractive: an advantage of zebra stripes. *Journal of Experimental Biology 215* (2012) 736–745.
5. B. Larison, R. J. Harrigan, H. A. Thomassen, D. I. Rubenstein, A. M. Chan-Golston, E. Li, T. B. Smith: How the zebra got its stripes: a problem with too many solutions. *Royal Society Open Science 2* (2015) 140452.
6. T. Caro, A. Izzo, R. C. Jr. Reiner, H. Walker, T. Stankowich: The function of zebra stripes. *Nature Communications 5* (2014) 3535.
7. G. Horváth, Á. Pereszlényi, D. Száz, A. Barta, I. M. Jánosi, B. Gerics, S. Åkesson: Experimental evidence that stripes do not cool zebras. *Scientific Reports 8* (2018) 9351.

A FIZIKA TANÍTÁSA

A KIFORDÍTOTT KÖRHINTA, AMELYEN ÉLÜNK

Bokor Nándor
BME Fizika Tanszék

A sebesség illúzió, a gyorsulás nem

Képzeljünk el két űrhajót, amint kikapcsolt hajtóművel elsuhannak egymás mellett a világűrben. (Az űrhajók ablakai el vannak sötétítve, nem lehet kinézni rajtuk.) Mind a két űrhajó mozog? Vagy az egyik áll, és csak a másik mozog? Ezek a kérdések önmagukban értelmetlenek. Semmivel sem jogosabb például az elsőt állónak és a másodikat mozgónak tekinteni, mint fordítva. Ha a második űrhajót hirtelen eltávolítjuk, és csak a – változatlanul ugyanúgy suhanó – első űrhajóra összpontosítjuk figyelmünket, annak jogossága is megszűnik, hogy egyáltalán mozgásról beszéljünk. Értelmetlen például az a kérdés, hogy a magára maradt első űrhajó *milyen irányban* mozog a térben. Az űrhajósok – külső viszonyítási pont híján – egy ilyen kérdésre nem tudnának mit felelni: *semmilyen irányban* nem éreznek semmi különlegeset, hiszen szabadon lebegnek az űrhajó belsejében. (Ezt az állapotot nevezzük súlytalanságnak.)

Bokor Nándor egyetemi docens a BME-n szerzett villamosmérnök-diplomát 1993-ban, majd ugyanott fizikából PhD fokozatot 1999-ben. Munkájában – az optika számos területén végzett kutatásai mellett – legszívesebben a fizika, azon belül kiemelten a relativitáselmélet oktatásának pedagógiai kérdéseivel foglalkozik. Ez utóbbi témában számos publikációja jelent meg a *Fizikai Szemlében,* valamint a *Physics Education* és a *European Journal of Physics* folyóiratokban.

Más a helyzet, ha a magányos űrhajó hajtóműve be van kapcsolva, vagy ha az űrhajót előzőleg megforgatták. Ilyenkor az űrhajósok – feltéve, hogy az űrhajóhoz képest nyugalomban vannak, azaz például be vannak csatolva az ülésükbe, vagy kapaszkodnak egy korlátba – *éreznek* valamit. Az ülés vagy a korlát *nyomja vagy húzza* őket egy bizonyos irányba, és ezt az irányt meg tudják állapítani anélkül, hogy kinéznének az ablakon. Azt mondjuk ilyenkor, hogy eredő erő hat rájuk, ami az erő irányába *gyorsítja* őket. A gyorsulás tehát olyan fajta állapot, amit – a sebességgel ellentétben – az űrhajósok ténylegesen *átélnek,* nagyságát és irányát behunyt szemmel is érzékelik. (Hasonló módon a beépített gyorsulásmérőjüket az okostelefonok „behunyt szemmel is” tudják alkalmazni, míg sebességméréshez muszáj magukat külső tárgyakhoz pozicionálni, például a GPS-vevőjükkel.)

Összefoglalva a fentieket: a sebesség relatív fogalom (csak más testekhez viszonyítva van jelentése, „nem érezzük”), a gyorsulás pedig „abszolút fogalom” („érezzük magunkon”, kimutatásához nincs szükségünk arra, hogy más testhez viszonyítsuk a helyzetünket).

A gyorsulást *erő* okozza, ezt tekinthetjük akár az erő definíciójának is. A gyorsulást érezzük, tehát a ránk ható erőt is érezzük. Érezzük, amikor valaki megrúg minket, amikor nekiütközünk egy falnak, amikor megragadják a karunkat és hirtelen odébb rántanak bennünket stb. (Egy kiterjedés nélküli, ideális tömegpont természetesen nem érezhet semmit. Az emberi érzékelés részletei – még tisztán fizikai szempontból is – bonyolultak, hiszen idegrendszerünk

végső soron a minket felépítő „tömegpontok” relatív elmozdulásait méri, és ebből következtet arra, hogy erőhatás ért bennünket. A cikk mondanivalója szempontjából azonban szükségtelen ezen részletekbe belemenni, megelégedhetünk azzal az intuitív képpel, hogy gyorsulásunkat és a ránk ható erőt valóban érezzük, sebességünket azonban nem.)

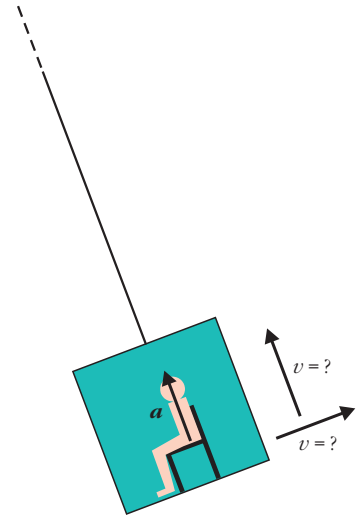
Mozog-e a Föld?

Ezek után elgondolkozhatunk azon, hogyan helyes értelmezni a *Galileinek* tulajdonított híres kijelentést: „És mégis mozog a Föld!” Mit jelent itt a „mozog” szó? (Ez nagy horderejű kérdés, kicsit drámaian azt is mondhatjuk, hogy néhány száz évvel ezelőtt emberéletek múltak rajta.) Egészen biztosan *nem* arról van szó, hogy a Földnek nullától különböző *sebessége* van a Naphoz, a bolygókhoz, a csillagokhoz képest: ez ugyan kétségtelenül igaz, de ezt korábban sem vitathatta senki. *Pontosan* ugyanilyen jogos ugyanis azt mondani, hogy ezek az égitestek mozognak a Földhöz képest. A cikk első bekezdésében láttuk, hogy a két kikapcsolt hajtóművel suhanó űrhajó között – márpedig ilyen kikapcsolt hajtóművel suhanó űrhajók a Nap, a Föld, a bolygók és a csillagok is! – nincs kitüntetett szereposztás, csak a *relatív* sebességeknek van fizikai jelentése. Nincs tehát értelme azon veszekedni, hogy a Nap és a Föld, mint tömegpontok közül melyik áll és melyik mozog, a szerepek bárhogyan kiosztathatók közöttük. Még provokatívabban megfogalmazva: nem pusztán ízlés kérdése egyenrangú kijelentésnek tekinteni azt, hogy a Nap kering a Föld körül, azzal, hogy a Föld kering a Nap körül: maga a Természet nem tesz különbséget a két látásmód között. (Jogos ellenvetésnek tűnik a fentiekre, hogy a Föld és a Nap kettősére nem alkalmazható a két kikapcsolt hajtóművű űrhajó analógiája, hiszen – ellentétben az űrhajókkal – ők nagy gravitációs *erőt* fejtenek ki egymásra, és a Nap gravitációs ereje sokkal jobban *gyorsítja* a Földet, mint a Föld (ugyanakkora) gravitációs ereje a sokkal nagyobb tömegű Napot. Ez azonban nem igaz, mert – mint később látni fogjuk – a „gravitációs erő” és az általa okozott „gyorsulás” ugyanúgy illúzió, mint a sebesség: ezeket *sem érzi* senki.)

Ahhoz tehát, hogy az „És mégis mozog a Föld!” állításnak igazi tétje legyen, muszáj, hogy a „mozog” szót – ellentétben a köznapi használatával – ne a sebességre, hanem a Föld belső mérésekkel is kimutatható, átélhető, érezhető mozgásjellemzőjére, azaz *gyorsulására* értsük. Fogalmazzuk meg az állítást tehát így: „És mégis gyorsul a Föld”, vagy még pontosabban – de most már egyre kevésbé elegánsan – így: „És mégis gyorsul a Földön ülő megfigyelő.” Igaz-e ez az állítás?

A körhinta

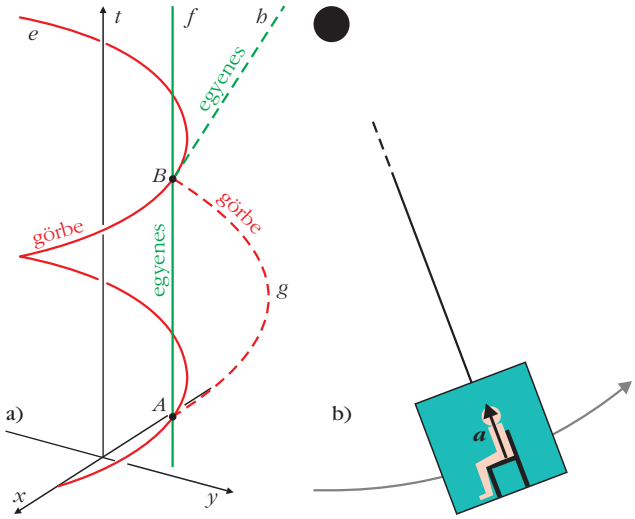
Mielőtt a kérdésre válaszolnánk, egy kis kitérő. A továbbiakban fontos szerepet fog játszani a *körmozgás* fogalma, fontos tehát, hogy körültekintően definiáljuk, mit értünk alatta. (A „körmozgás” és a „körhintán utazás” kifejezéseket rokonértelműként fogom használni.) A körmozgást az előző szakaszban leírtaknak megfelelően *átélt élményként* akarom megfogalmazni, tehát a „körmozgás illúzióját” (amikor például egy korcsolyázó piruettezik, és az ő nézőpontjából a nézőtéren ülök mind „körmozgást végeznek”) nem akarom a valódi körmozgások közé sorolni. Motivációnk az, hogy olyan receptet adjunk az űrhajós kezébe, amelyet követve *lokális mérésekkel* megállapíthatja – anélkül, hogy kinézne az ablakon és saját magát kinti tárgyakhoz pozicionálná –, hogy űrkabinja körpályán mozog-e vagy nem. Azzal, hogy „a pálya alakja kör”, nem nagyon jutunk előbbre, mert ehhez a megállapításhoz külső nézőpont kell, azonkívül a pálya kör alakja csak egy bizonyos nézőpontból igaz, amelyben például a középpont áll.



1. ábra. Kötélnél fogva gyorsított űrkabin.

Tudjuk, hogy az (egyenletes) körmozgás során a tömegpont gyorsulása állandó nagyságú és merőleges a sebességre. Ez már részben segítség, hiszen a körpályán keringő űrhajós *érzi* ezt az állandó gyorsulást. A sebességet viszont nem, és így azt sem, hogy a gyorsulás minden pillanatban a sebességnek csak az irányát változtatja-e (egyenletes körmozgás), csak a nagyságát (egyenes vonalú, egyenletesen gyorsuló mozgás), esetleg mindkettőt (görbe vonalú, egyenletesen gyorsuló mozgás). (Megjegyzés: A cikkben szereplő körhinták *nagy méretűek,* azaz a pálya sugarához képest az űrhajóst elhanyagolható méretűnek tekintem. Ekkor az űrhajós egyes tömegpontjainak gyorsulásvektora mind párhuzamos és egyforma nagyságú; az űrhajós „nem szédül”, és számára az egyenletes körmozgás valóban olyannak érződik, mint egy egyenletesen gyorsuló egyenes vonalú mozgás.)

Tegyük fel például, hogy egy űrkabinhoz kívülről hosszú kötél van erősítve, amely megfeszül, bent az űrhajós pedig érzi, hogy a testét alulról egyenletes erővel nyomja az űrkabin ülése. Ez jelentheti például azt is, hogy (1) a kabint a kötélnél fogva egy űrhajó egyenletesen gyorsulva húzza előre, vagy azt is, hogy



2. ábra. Körhinta.

(2) egy hatalmas űrbázis nagy sugarú körpályán pörgeti (*1. ábra*). Az űrhajós belső méréssel miként derítse ki, hogy melyik eset igaz? A megoldás: fogjon a kezébe egy tömegközéppontjában alátámasztott *pörgettyűt* (lehet elemmel működő, motoros változat is, hogy a súrlódási lassulás miatt ne kelljen aggódni), állítsa a pörgettyű forgástengelyét a gyorsulásvektor irányába, és figyelje, hogy a forgástengely és a gyorsulásvektor egymással bezárt szöge hogyan változik. Ha a pörgettyű forgástengelye állandó szögsebességgel elfordul a gyorsulásvektorhoz képest, akkor az űrhajós tudni fogja: körhintán ül. További dolgokat is megállapíthat:

1. A körpálya középpontja arra van, amerre a gyorsulásvektor mutat (ezt mostantól centripetális gyorsulásnak hívhatjuk),

2. A körmozgás szögsebessége akkora, amekkora a pörgettyű forgástengelyéé[1] az űrkabinban, csak ellenkező irányú.

3. A centripetális gyorsulás mért nagyságából és a mért szögsebességből megállapíthatja a körpálya sugarát is.

A *2.b ábra* az űrbázist (fekete kör) és az űrbázis által kötélen megpörgetett űrkabint (négyzet alakú szoba) mutatja, a *2.a ábra* pedig e mozgás 3D téridődiagramja, az űrbázishoz rögzített inerciarendszerből nézve. E vonatkoztatási rendszerben az űrbázis nyugalomban van az origóban, tehát világvonala a téridődiagram *t* tengelye. A keringő űrkabin világvonala a *t* tengelyre felcsavarodó, *e* jelű spirálvonal. A *2.a ábrára* néhány további világvonalat is berajzoltam. Az *f* jelű vonal egy olyan űrkabint ábrázol, amely szabadon, az űrbázishoz képest mozdulatlanul lebeg, és szabályos időközönként találkozik a körpályán keringő űrkabinnal (például az *A* és *B* eseményekben). A *g* görbe egy olyan, hajtóművel ellátott űrszonda mozgását ábrázolja, amely a keringő űrkabin mellől indul (*A* esemény), előbb eltávolodik tőle, majd lefékez, visszafordul és gyorsulva ismét találkozik vele (*B* esemény). Végül a *h* világvonal azt mutatja, hogy a téridőben milyen utat követ egy olyan labda, ami a keringő űrkabin külső falához volt ragasztva, de a ragasztó a *B* eseményben hirtelen elengedett: a labda nem gyorsul tovább, érintőirányban indulva egyenletes mozgással távolodik az űrbázistól. Másképp megfogalmazva: a továbbra is körpályán keringő űrhajóshoz képest a pálya közepe (*t* tengely) és az elengedett labda (*h* világvonal) egymással *átellenes oldalra* kerül.

Egy világvonalat definíció szerint *egyenesnek* nevezünk, ha az objektum, amely az adott világvonalat követi, *nem él át gyorsulást;* ha pedig az objektum *gyorsul,* a világvonala *görbe* (a gyorsulás iránya és nagysága megadja, hogy világvonal merre görbül és milyen mértékben). Ráírtam az ábrára, hogy melyik világvonal egyenes és melyik görbe. Vigyázni kell: egy világvonal nem attól lesz egyenes, hogy az ábrán annak néz ki, hanem a két mondattal ezelőtti definíció alapján. A *2.a ábra* csupán egy „térkép" a téridő egy adott tartományáról. Ezt a térképet most olyan szerencsésen sikerült megrajzolni, hogy rajta az egyenes világvonalak tényleg egyenesnek, a görbe világvonalak pedig tényleg görbének néznek ki, ez azonban nem szükségszerűen van így, és – mint látni fogjuk – van, amikor a térképet *nem is lehet* így megrajzolni. (*Sík* téridőben viszont lehet, és a *2.a ábra* éppen ilyen téridőtartományt ábrázol. Lásd *Záró megjegyzések!*)

Most, hogy gondosan definiáltuk a körmozgást, az előző szakasz végén szereplő kérdést ebben a formában tegyük fel: körhintán utazunk-e, amikor a Föld felszínén ülünk?

A newtoni mechanika válasza: a földfelszín kettős körhinta

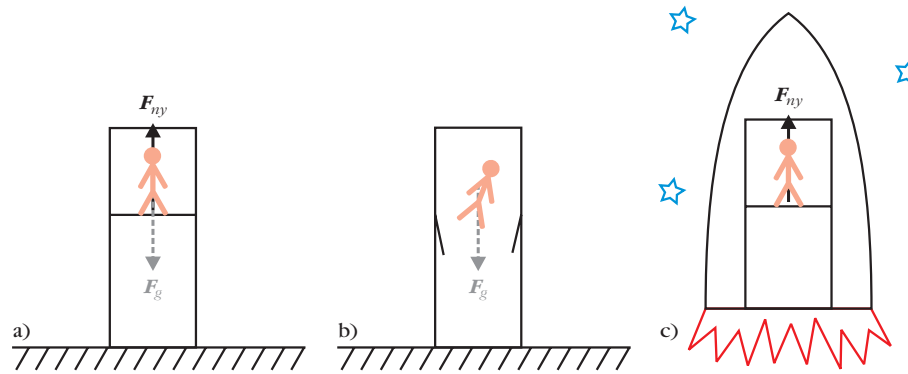
A newtoni nézőpont szerint a Földön ülő megfigyelő *kettős körhintán* utazik, kétféle gyorsuló mozgást is végez. Az első körhinta a Föld *keringő* mozgása a Nap körül (a *Kepler* által megállapított ellipszispályát itt az egyszerűség kedvéért körnek veszem). A gondolatmenet szerint a körpályára kényszerítő erő a Nap gravitációs ereje, ez szolgáltatja a Föld (és a földlakók) centripetális gyorsulását. Ebben a (hibás) értelmezésben a *2. ábra* téridődiagramján a *t* tengely megfeleltethető az álló Napnak, és az *e* világvonal érvényes módon leírhatja a keringő Földet.

A másik körhinta a Föld saját tengelye körüli *forgó* mozgásából adódik: a gondolatmenet itt az, hogy ha valaki az Egyenlítőnél egy szobában ül, akkor a Föld lefelé mutató gravitációs erejének és a szék felfelé mutató nyomóerejének a vektori eredője szolgáltatja a körmozgáshoz szükséges, a Föld forgástengelye felé mutató centripetális gyorsulást. E szerint a (megint

[1] Itt eltekintettem a Thomas-precessziótól [1], ami a pörgettyűnek az űrhajós által mért szögsebességét elhangolja a körmozgás szögsebességéhez képest. A Thomas-precesszió csak a fénysebességgel összemérhető kerületi sebességek – ami a vizsgált példában messze nem teljesül – esetén számottevő hatás.

hibás) értelmezés szerint a *2. ábra* téridődiagramját erre a második körhintára is használhatjuk: a *t* tengely most a Föld középpontjának világvonala, és az *e* világvonalat követi a szobában ülő ember.

Gravitációs erő nincs

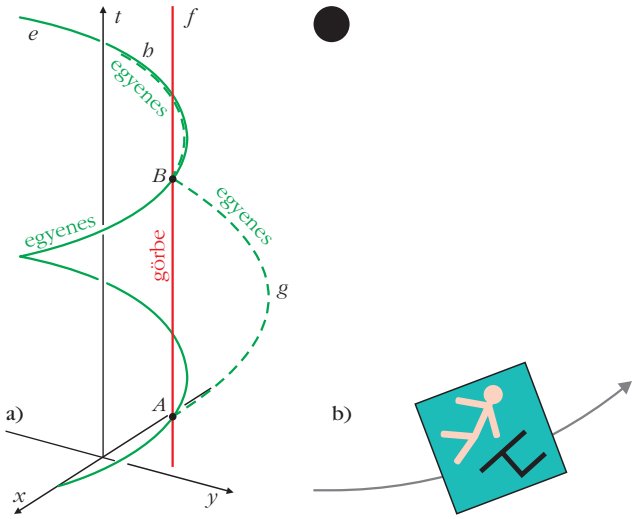


3. ábra. Gravitációs erő nincs.

A newtoni gondolatmenettel az a baj, hogy az előző szakaszban felsorolt három erő (a Nap gravitációs vonzóereje, a Föld gravitációs vonzóereje és a szék nyomóereje) közül a széken ülő ember csak az egyiket *érzi,* a szék nyomóerejét. Az, hogy például a Föld lefelé mutató „gravitációs húzóerejét" nem érezzük [2], könnyen belátható az alábbi gondolatmenettel.

A *3.a ábra* egy embert mutat, aki a Föld felszínén egy toronyszobában áll. A newtoni mechanika szerint az ábrába berajzolt két erő hat rá: a Föld F_g gravitációs ereje és a padló F_{ny} nyomóereje. Valóságos erő-e mind a kettő? Az biztos, hogy az illető nem szabadon lebeg, érzi, hogy teste hosszirányban össze van nyomva. De melyik erő okozza ezt az érzetet? A gravitációs erő, a nyomóerő, esetleg együtt a kettő? A kérdés a következőképpen dönthető el: szüntessük meg előbb az egyik erőt úgy, hogy csak a másikat hagyjuk meg, majd a másik erőt úgy, hogy csak az egyiket hagyjuk meg, és kérjük meg a toronyban levő embert, hogy behunyt szemmel számoljon be róla: a két esetben hogyan változtak meg érzetei az eredeti helyzethez képest, amikor még mindkettő erő hatott rá. Az első esetet mutatja a *3.b ábra*. A toronyszoba padlója egy csapóajtó, amely hirtelen kinyílik, azaz az F_{ny} nyomóerőt sikeresen megszüntettük, míg a Föld továbbra is a helyén van, tehát F_g változatlan. Megváltoztak-e az ember érzetei? Meg bizony: behunyt szemmel most azt érzi, hogy már nem nyomja össze a testét semmi, szabadon lebeg (valójában esik a Föld középpontja felé, de a lényeg, hogy – ha a légellenállástól eltekintünk – behunyt szemmel nem érzékeli, hogy bármilyen irányban gyorsulna). *Semmilyen* erőt (húzást, nyomást stb.) nem érzékel. Ebből rögtön két következtetés adódik: egyrészt a padló nyomóereje igazi erő volt, mert amikor „kivettük a rendszerből", érzetünk rögtön megváltozott. Másrészt kénytelenek vagyunk megállapítani, hogy a Föld gravitációs „ereje" fizikailag nem valóságos, fiktív fogalom, mert amikor elvileg csak az hat ránk (*3.b ábra*), akkor nem érezzük, hogy bármilyen erő hatna ránk. Az ellenkező szereposztással lefolytatott második kísérlet (*3.c ábra*) csak megerősít bennünket ezen következtetésekben. Itt úgy alakítjuk a körülményeket, hogy a kísérleti alanyra továbbra is hasson a padló nyomóereje, az F_g viszont ne legyen ott. Az F_g megszüntetéséhez az kell, hogy a Földtől eltávolodjunk a világűrbe, viszont hogy az F_{ny} megmaradjon, a tornyot muszáj egy gyorsuló űrhajó belsejébe tennünk. Ezután kikérdezzük behunyt szemű kísérleti alanyunkat. Ő *semmilyen különbségről* nem fog beszámolni a *3.a ábrán* mutatott kiindulási állapothoz képest. Ebből ismét arra kell következtetnünk, hogy ha egy „erő" kitörlése a rendszerből nem jár semmiféle érzetváltozással, akkor az az „erő" eleve nem létezett.

A mechanikában máshol is használunk fiktív „erőket": amikor nem inerciarendszerbeli nézőpontból írunk le mozgásokat. Ilyen vonatkoztatási rendszerben Newton 2. törvénye nem érvényes, de mégis változatlan matematikai alakban szeretnénk használni. Ahhoz, hogy ezt megtehessük – és mégse kapjunk hamis eredményt –, a vizsgált tárgyra ténylegesen ható erők mellé további algebrai tagokat is oda kell írnunk. Ezeket a plusz tagokat tehetetlenségi „erőknek" nevezzük (transzlációs tehetetlenségi „erő", Coriolis-„erő", centrifugális „erő", Euler-„erő"). Ebben a bekezdésben az „erő" szót nem véletlenül tettem kényszeresen annyiszor idézőjelbe, ezzel azt akarom kihangsúlyozni, hogy a tehetetlenségi „erők" fizikailag nem léteznek, rajtuk nincs mit érezni. (Képzeljük el, hogy valaki egy szobában guggológyakorlatokat végez, és ezért a levegőben egyhelyben zümmögő méhecskét fel-le mozogni látja. Természetesen elemezheti a méhecske mozgását a saját, nem inerciarendszeréből nézve – ilyenkor első „csalásként" felírja Newton 2. törvényét, második „csalásként" pedig a méhecskére ható erők közé nem létező tehetetlenségi „erőket" is felsorol –, de senki sem gondolhatja, hogy ezeket a fel-le mozgásért felelős tehetetlenségi „erőket" a méhecske ténylegesen érzi.) Pontosan ilyen szempontból kell a gravitációs erőt is az idézőjeles „erők" közé sorolni. A matematikai képletek is árulkodók. A tehetetlenségi „erők" mindegyikének képletében szerepel az *m,* a test tehetetlen tömege (ezért is hívjuk őket tehetetlenségi erőknek). A gravitációs „erő" képletében ugyan egy másik jelentésű *m* betű, a test gravitációs töltése, más néven „súlyos tömege" szerepel, viszont gondos mérésekből úgy tűnik, hogy minden testre a kétféle *m* ugyanaz a szám (tehát jogos őket azonos szimbólummal jelölni). A matematikai képletek ezen összhangja is erősen utal arra, hogy a gravitációs „erő" a fiktív tehetetlenségi „erőkkel" azonos kategóriába tartozik.



4. ábra. Nem körhinta.

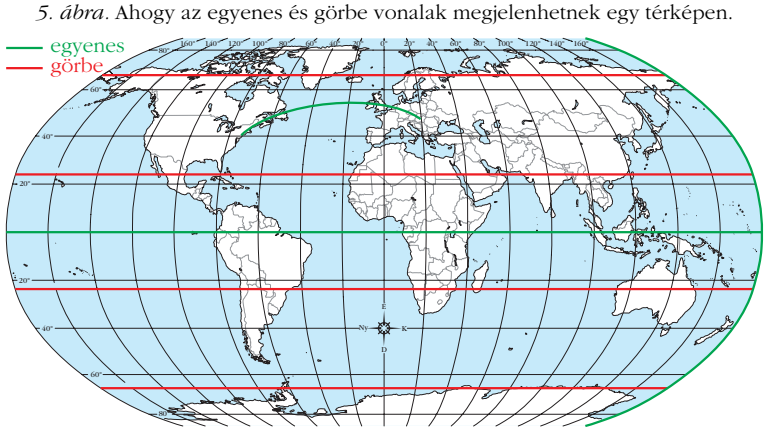
A Föld: kifordított körhinta

Láttuk, hogy a newtoni gondolatmenet szerint a földfelszín „kettős körhinta”-jellegű mozgásának első eleme a Nap körüli keringés. Ez egy speciális „körmozgás”-fajta, amelyben a „centripetális gyorsulást” teljes egészében a gravitációs „erő” okozza. Ez azonban *nem körmozgás* abban a szűkebb értelemben, ahogy a cikkben a mozgást *átélhető jelenségként,* gyorsulásként definiálom. A Föld tömegközéppontja – mivel a gravitációs „erő” nem erő – gyorsulásmentesen halad a téridőben. Ez követhető a *4. ábrán.* Gondolhatunk a *4.a ábra* téridődiagramjára például úgy, hogy az a Naphoz rögzített vonatkoztatási rendszerben mutatja a Nap világvonalát (*t* tengely), és a Föld Nap körüli keringő mozgását (*e* világvonal). Egy másik példa (amelyben a Nap – Föld szereposztást átveszi a Föld – Nemzetközi Űrállomás szereposztás, de a lényeg ugyanaz): a *4.a ábra* a Földhöz rögzített vonatkoztatási rendszerben ábrázolja a Föld körül kikapcsolt hajtóművel keringő Nemzetközi Űrállomás mozgását, ekkor a *t* tengely a Föld világvonala, és az *e* vonal ábrázolja a körülötte keringő Nemzetközi Űrállomást. Ehhez az utóbbi példához illeszkedik a *4.b ábra* is, ahol a kis fekete kör jelképezi a Földet, a négyzet pedig a Nemzetközi Űrállomást, amelybe egy szabadon lebegő űrhajóst is berajzoltam, illetve egy olyan széket is, amelyet nem rögzítettek. Az *f* jelű vonal ebben a példában egy olyan űrhajót jelképez, amely *bekapcsolt hajtóművel,* a Föld középpontjától azonos távolságban tartja a pozícióját, és periodikusan találkozik a Nemzetközi Űrállomással (például az *A* és *B* eseményekben). A *g* világvonal egy olyan kisméretű, *hajtómű nélküli* űrkabin, amelyet a Nemzetközi Űrállomásról lőnek ki (*A* esemény), kezdősebességét gondosan úgy megválasztva, hogy bizonyos ideig távolodjon a Földtől, majd magától megforduljon, közeledjen és éppen a *B* eseményben térjen vissza a Nemzetközi Űrállomáshoz. (Az *f* és *g* világvonalat követő objektumok természetesen valójában nem léteznek, csak pedagógiai okból képzeltem őket oda.) Végül a *h* világvonal azt mutatja, milyen utat követ a téridőben egy olyan labda, amit a Nemzetközi Űrállomáson egy űrhajós tartott a kezében, és a *B* eseményben elengedett.

A Föld körül keringő Nemzetközi Űrállomás belsejében szabadon lebegő (és nem forgó) űrhajós *nem* körhintán utazik, hiszen lokális mérései során nem tapasztal olyat, ami körmozgásra utalna (lásd *Körhinta* című szakasz). Semmilyen irányban nem érez gyorsulást, szabadon lebeg. Világvonala ezért *egyenes.* Az *f* jelű űrhajó a Föld felé irányított, bekapcsolt hajtóművel tud csak a helyén maradni, a benne levő űrhajósok ezért folyamatosan gyorsulást éreznek a Földtől elfelé mutató irányban, ők tehát *görbe* világvonalon mozognak. A *g* űrkabin szintén nem érez gyorsulást, tehát a világvonala *egyenes.* Végül az űrhajós kezéből elengedett labda (amely szintén gyorsulásmentesen mozog, és ezért egyenes világvonalat követ) most nem kerül az űrhajóshoz képest a keringési pálya közepével (a Föld középpontjával) átellenes oldalra, hanem szorosan az űrhajós mellett marad.

A *4.a ábra* téridődiagramján a feliratok látványosan nem felelnek meg annak, amit a vonalakról ránézésre mondanánk, de nem szabad elfelejtenünk, hogy a téridődiagramok csupán térképek, amelyek sokszor torzítva ábrázolják a valóságot. Átrajzolhatnánk-e úgy ezt a téridődiagramot, hogy az egyenes világvonalak valóban egyenes vonalként jelenjenek meg az ábrán? *Nem.* Az *A* és *B* eseményeket például két különböző egyenes világvonal is összeköti, ezt pedig lehetetlen az euklideszi térben ábrázolni (ahol két pont között mindig csak egy egyenes húzható). Ebből levonható a következtetés, hogy a *4. ábra* nem euklideszi, *görbült téridőtartományt* ábrázol. A fő tanulság itt az, hogy egy térkép kinézetét nem szabad túlságosan komolyan venni. Mindennapi életünkben is találkozunk olyan térképekkel, amelyek az egyenes és görbe vonalakat csalókán ábrázolják. Egy ilyen példát mutat az *5. ábra,* amely síkon próbálja ábrázolni a Föld hosszúsági és szélességi vonalait, illetve egy New York – Budapest repülőjá-

5. ábra. Ahogy az egyenes és görbe vonalak megjelenhetnek egy térképen.

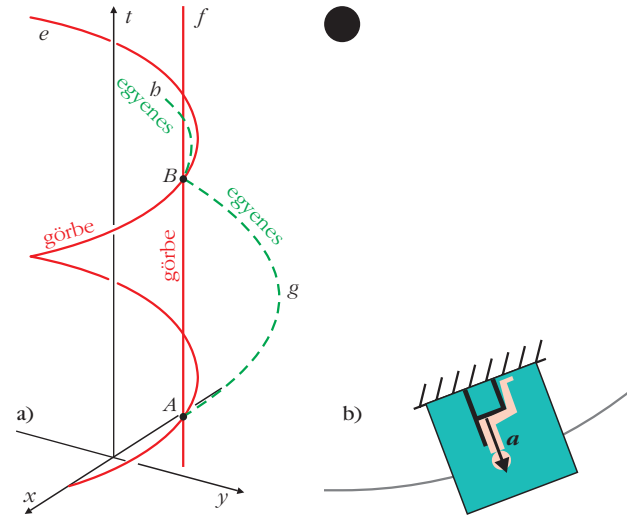


rat útvonalát. (A földgömb egyenesei a főkörök [3], minden más vonal görbe. Itt az egyeneseket természetesen nem a gyorsulásmentes mozgással definiáljuk, hiszen a Föld térképe nem téridőben ábrázol vonalakat. A legszemléletesebb definíció szerint az egyenes: két adott pontot összekötő vonalak közül a legrövidebb. A téridőben bejárt világvonalakra is található ezzel analóg definíció: az egyenes világvonal a két adott eseményt összekötő világvonalak közül a *legbosszabb* [2]. Megmutatható, hogy a kétféle definíció, amit a cikkben az egyenes *világvonalra* adtam – „maximális hosszúságú", illetve „gyorsulásmentes" –, egyenértékű.)

Néhány szó a számadatokról. Nap körüli éves keringésünk centripetális „gyorsulása" $R\omega^2 = 6\cdot10^{-3}$ m/s^2. Ebből nem érzünk semmit, de nem azért, mert kicsi, hanem mert nincs mit érezni rajta, nem valóságos gyorsulás. A Nemzetközi Űrállomáson utazó űrhajósok a Föld körül sokkal nagyobb, $R\omega^2 = 8{,}7$ m/s^2 centripetális „gyorsulással" keringenek; ha ez valódi gyorsulás lenne, akkor az űrhajósok az űrállomás Földdel átellenes falához lennének nyomódva, majdnem akkora erővel, mintha a Földön álldogálnának. Ehelyett nem éreznek semmit, szabadon lebegnek, és ha behunyják a szemüket, nem tudják, hogy merre van a Föld. Ugyanaz tehát a helyzet, mint a cikk elején említett kétűrhajós példával: az űrállomáson tartózkodók esetében sem beszélhetünk abszolút értelemben mozgásról. Ez viszont azt is jelenti, hogy a Föld Nap körüli keringéséről is kénytelenek vagyunk megállapítani, hogy az *nem valóságos* mozgás, olyan értelemben, hogy belső mérésekkel nem kimutatható, *nem érezhető.*

Nézzük most a newtoni elemzés szerinti „kettős körhinta" másik elemét: a Föld saját tengelye körüli forgását. Valóságos-e ez a mozgás? Körpályán mozgunk-e, amikor a Föld felszínén egyhelyben ülünk? Kimutathatjuk-e ezt a tengely körüli forgást belső méréssel, érzékelhetjük-e anélkül, hogy távoli égitestekhez viszonyítanánk a helyzetünket és tájolásunkat? A válasz egyértelmű *igen.* A Föld tengely körüli forgását először *Foucault* nevezetes ingakísérlete mutatta ki a 19. században, de elvileg egy súrlódásmentes lendkerék, vagy egy tömegközéppontjában felfüggesztett pörgettyű is kimutathatná [4]. Ez, *a Föld tengely körüli forgása* tehát az, ami miatt a Galileinek tulajdonított híres kijelentés abszolút értelemben igaz: nem vagyunk központi helyzetű, nyugalomban levő pont a Világegyetemben, a Földön ülő megfigyelő csakugyan *mozog.*

De vajon *körhintán* ül-e? A *6.a ábra* téridődiagramja Föld középpontjához rögzített vonatkoztatási rendszerben ábrázolja ezt a fajta mozgást. A *t* tengely a Föld középpontjának világvonala, és az *e* világvonalat követi a Föld felszínén egy szobában ülő megfigyelő (például a cikket most a kezében tartó olvasó). Az *f* világvonal most egy olyan (nem realisztikus) helikoptert ábrázol, amely az *A* eseményben közvetlenül a szoba felett lebegett, azután – végig megtartva a földfelszín feletti magasságát – egy nap alatt megkerülve a Földet, a *B* eseményben ismét a szoba fölé ért. A *g* vonal egy olyan kő (a gyakorlatban szintén nehezen elképzelhető) mozgását mutatja, amelyet az *A* eseményben a szoba tetejéről dobnak el ferdén – a Föld forgásával ellentétes irányba – felfelé, és éppen egy nap múlva, a *B* eseményben esik vissza a szoba tetejére. Végül a *h* világvonal azt mutatja, milyen utat követ a téridőben egy olyan labda, amit a szobában ülő olvasó tartott a kezében, és a *B* eseményben hirtelen elengedett.



6. ábra. Kifordított körhinta.

A széken ülő megfigyelő belső mérésekkel a következőket állapíthatja meg: egy tömegközéppontjában felfüggesztett pörgettyűt a kezében tartva azt tapasztalja, hogy a pörgettyű tengelye a gyorsulásvektorhoz képest elfordul, méghozzá 1 napos periódusidővel. Ebből megállapítja, hogy körmozgást végez, és a körmozgás szögsebességét is kikövetkeztetheti. Azonban nagyon furcsa, *kifordított* körmozgás ez. Igaz, hogy a széken ülő ember gyorsulást érez (*6.b ábra*), de *rossz irányban,* a körmozgás középpontjától *kifelé.* Mivel a gyorsulásvektor azt mondja meg, hogy világvonalunk mennyire és *milyen irányban* görbül, kénytelenek vagyunk levonni a következtetést, hogy az *e* világvonal a *6.a ábrán kifelé,* a *t* tengelytől elfelé görbül! Hogyan lehetséges ez, ha egyszer az a vonal a *t* tengely *felé* látszik görbülni az ábrán? A válaszhoz megint azt kell az emlékezetünkbe idézni, hogy a téridődiagram csupán egy térkép, és ezért torzíthat. Hogy egy görbe vonal egy adott pontban milyen irányban görbül, annak kiderítéséhez be kell rajzolni a görbe vonal adott pont beli *érintőegyenesét.* Ezek után már leolvasható, hogy a görbe az érintőegyenestől erre vagy arra tér-e el. A *6.a ábrán* a *h* világvonal játssza ezt a szerepet. A *B* eseményben kezdősebesség nélkül engedtük el a labdát, amely azután szabadon mozog (esés közben nem érez semmilyen gyorsulást), világvonala tehát egyenes, és – a közös indulósebesség miatt – a *B* eseményben valóban az *e* világvonal érintője. Az *e* és *h* világvonalakat összevetve most már láthatjuk, hogy a széken ülő megfigyelő világvonala valóban folyamatosan *kifelé* görbül.

A *6.b ábrán* feltüntetett, az ülő megfigyelő által ténylegesen átélt gyorsulást természetesen nem nevezhetjük centripetális („középpontot kereső") gyorsulásnak, mert nem a középpont felé mutat. Ráadásul nagyságra sem stimmel. A Föld felszínén a tengely körüli forgásból adódó centripetális „gyorsulás" az Egyenlítőnél $\sim 3 \cdot 10^{-2}$ m/s^2 (de ezt közvetlenül nem tudjuk mérni, csak – pörgettyű segítségével – a szögsebességet), míg az ülő megfigyelő által érzett, ténylegesen mérhető gyorsulás $a \approx g = 9{,}8$ m/s^2. Ezért (ellentétben a *Körhinta* című szakaszban leírtakkal) ezen a *kifordított körhintán* belső mérésekkel nem tudjuk megállapítani a körpálya sugarát, azaz (az Egyenlítőnél ülő megfigyelő esetében) a Föld sugarát.

A *6.a ábra* téridődiagramján egyetlen *egyenes* világvonalat, a g-t húztam be az A és B események közé. Az olvasóra bízom, hogy az ábrába berajzoljon egy *másik* olyan egyenes világvonalat is, amely az A és B eseményeket köti össze, és ezzel igazolja, hogy a *6.a ábra* is görbült téridőtartományt mutat.

Záró megjegyzések

1. A test belső méréssel érzékelhető gyorsulását – azaz a test pillanatnyi nyugalmi vonatkoztatási rendszerében mért gyorsulást – *sajátgyorsulásnak* hívjuk. A cikkben a gyorsulás szót végig ebben az értelemben használtam.

2. A *Körhinta* című szakaszban és a *2. ábrán* feltettem, hogy az űrbázis sokkal nagyobb tömegű, mint az űrkabin (tehát jó közelítéssel egyhelyben marad, miközben az űrkabint keringeti maga körül), ugyanakkor elég kis tömegű ahhoz, hogy a téridőt maga körül ne görbítse be észrevehető mértékben. Ekkor a *2.a ábra* valóban sík téridőtartományt ábrázol, és az űrbázishoz rögzített vonatkoztatási rendszer inerciarendszer.

3. Bár gravitációs erő nincs, de a gravitáció maga nagyon is létező fizikai jelenség: a téridő görbülete [5]. Ha az űrhajós érzékszervei igazán érzékenyek lennének, akkor a *3.a* és *3.c ábrákon* nem tökéletesen azonos érzetekről számolna be, hiszen a *3.a ábrán* a Föld által okozott téridőgörbület apró árapályfeszültségeket okoz az űrhajó testében, amelyek a *3.c ábrán* hiányoznak. Ezek az árapályfeszültségek azonban rendkívül kicsik, a földfelszínen egy 2 méter magas űrhajós tömegpontjai között legfeljebb $\sim 10^{-5}$ m/s^2 relatív kezdőgyorsulásnak felelnek meg. Azt a következtetést tehát a *3. ábrából* nem szabad levonni, hogy a Földnek *semmilyen* hatása sincs: igenis kelt *gravitációt,* csak a gravitáció szó alatt ezeket az apró *árapályhatásokat* kell érteni, ezek azok a fizikai hatások, amelyeket a Föld ténylegesen létrehoz. A *Gravitációs erő nincs* című szakaszban nem szóltam az űrhajós testében fellépő árapályfeszültségekről, részben mert a *3.a* és *3.b ábrán* ezek elhanyagolhatóan kicsik, részben pedig mert nem változtatnak azon a tényen, hogy gravitációs *erő* nincs.

4. A cikkben leírtak semmi esetre sem jelentik azt, hogy a ptolemaioszi Földközpontú világkép éppolyan helyes, mint a kopernikuszi Napközpontú világkép. Ha csak a Föld és a Nap relatív mozgásáról beszélnének („melyik kering a másik körül"), akkor valóban nem lehetne különbséget tenni közöttük. A kétféle világkép azonban *a teljes Naprendszert és a csillagokat* illeszti egy-egy egységes rendszerbe, tehát *sok égitest* egymáshoz viszonyított mozgásáról tesz állításokat. Távcsöves megfigyelésekkel egyértelműen eldönthető, hogy a ptolemaioszi rendszer állításai nagyrészt tévesek, míg a kopernikuszi rendszer állításai közelítőleg mind igazak [5]. Érdekességképpen megemlítendő, hogy *Tycho Brahe* zseniális Földközpontú Naprendszer-modellje, amely szerint a Nap és a Hold kering az álló Föld körül, viszont a bolygók mind a Nap körül keringenek, éppolyan helyes, mint a kopernikuszi, abból a szempontból, hogy a Földnek azt a fajta „mozgását" tagadja (a Nap körüli keringést), ami valóban nem igazi mozgás, míg az égitestek egymáshoz viszonyított helyzetváltozásait helyesen írja le. A Brahe-modell egyetlen hibája, hogy a Föld másik, *valódi* mozgását, a tengely körüli forgást is tagadja, és például a csillagok szféráját is a Föld körül keringőnek feltételezi.

5. A precizitás kedvéért érdemes megjegyezni, hogy azért a Nap és a Föld akkor sem lenne azonos súlyú szereplő, ha más bolygók nem lennének a Naprendszerben. A köztük levő mintegy háromszázezerszeres tömegkülönbség miatt jó közelítéssel azt mondhatjuk, hogy a Föld a Naprendszeren belül kis próbatömegnek tekinthető, ami a Nap által begörbített téridőben halad. A Nap ugyanakkor a galaxison belül tekinthető kis próbatömegnek, ami a galaxis magja által begörbített téridőben halad. (Ha a Nap és a Föld tömege azonos nagyságrendű lenne, akkor bonyolult kéttestproblémával állnánk szemben, amely az általános relativitáselméleten belül csak numerikusan megoldható [6]. A cikk fő állításai azonban ekkor is változatlanok lennének.)

6. Röviden megjegyzendő, hogy az első bekezdésben szereplő űrhajókkal és általában bármilyen tárgygyal ellentétben a *fény* sebességének önmagában – más objektumokra való hivatkozás nélkül – is van jelentése. Ennek oka az a meglepő tény, hogy a fény *akármilyen* anyagi pont mellett ugyanazzal a sebességgel halad el.

A Föld egy kikapcsolt hajtóművel a világűrben lebegő, kifordított körhinta. Minden olvasónak kellemes utazást kívánok rajta.

Irodalom

1. http://fizipedia.bme.hu/images/5/5b/Wigner_Thomas4.pdf
2. Bokor Nándor: A gravitációról – 1. rész. *Fizikai Szemle 64/5* (2014) 165–168.
3. Bokor Nándor, Laczik Bálint: Vektorok párhuzamos eltolásának szemléltetése – 1. rész. *Fizikai Szemle 61/7–8* (2011) 240–250.
4. Bokor Nándor, Laczik Bálint: Vektorok párhuzamos eltolásának szemléltetése – 2. rész. *Fizikai Szemle 61/9* (2011) 310–316.
5. Bokor Nándor: A gravitációról – 2. rész. *Fizikai Szemle 64/6* (2014) 198–203.
6. T. W. Baumgarte, S. L. Shapiro: *Numerical Relativity*. Cambridge University Press 2010.

A 2018. ÉVI PROMÉTHEUSZ-ÉREM KITÜNTETETTJE

Vannay Lászlóval Simon Ferenc beszélgetett

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat „Prométheusz-éremmel – »A fizikai gondolkodás terjesztéséért« tünteti ki azt, aki a fizikai műveltség terjesztéséhez országos hatással hozzájárult". A 2018. évi díj odaítélésekor az ELFT Díjbizottsága méltatásában azt emelte ki, hogy „*Vannay László* 1994 óta minden évben szervezője és felelőse a fizika OKTV egyik[1] kísérleti fordulójának, aminek keretében mintegy 30 mérési feladatot és kísérleti eszközt állított össze. 2009-es nyugdíjazása óta is töretlen lelkesedéssel és odaadással végzi ezt a munkát."

– *Mit érzett a díj odaítélésekor? Számított erre, vagy váratlanul érte?*

– Őszintén megmondom, nagyon meglepett, eszembe sem jutott, hogy ezért a munkáért bármiféle díjat kapjak.

– *A díjra az ELTE és a BME Fizikai Intézeteinek igazgatói,* Frei Zsolt *és* Zaránd Gergely *együtt terjesztették fel. Úgy tűnik, nagy volt az egyetértés e két intézetben. Mi a véleménye erről?*

– Ennek két okból is külön örülök: először is minden évben az ELTE-s kollégák rendezik az OKTV másik kísérleti fordulóját. Egyik évben mi csináljuk a normál fizikaképzésben résztvevők feladatát, és ők a fakultatív fizikát tanulóknak, a másik évben pedig cserélünk. Így pontosan tudják, hogy ez mennyi munkával jár. A másik pedig, hogy a BME Fizikai Intézetét nem konkurenciának, hanem fontos partnernek tekintik, akivel közös programokat tudnak szervezni.

– *Kérem, meséljen arról, hogy miként kezdte el az OKTV kísérleti fordulóinak szervezését.*

– Úgy tudom, hogy 1993-ban *Gecső Ervin* megkérte a BME Fizikai Intézet akkori igazgatóját, *Zawadowski Alfrédot,* hogy intézetünk vegyen részt a fizika OKTV gyakorlati fordulóinak rendezésében. A professzor úr eleget tett a kérésnek, és engem bízott meg e feladat ellátásával. Igazgató úr azért gondolhatott rám, mert az 1991-es mérnök-fizikus képzés indításakor egy négy féléves labortárgy is – amihez az égvilágon semmink sem volt – megjelent a tananyagban, minden félévre 12 új mérést kellett készíteni. A feladatot elosztottuk egymás között, az egészet pedig én koordináltam, a legtöbb mérést magam állítottam össze. Megbízatásomat indokolhatta az is, hogy korábban középiskolásoknak rendszeresen tartottam felvételi előkészítőt, majd néhány évig létezett a „nulladik évfolyam" azoknak, akiket nem vettek fel. Ők matematika- és fizikaoktatásra járhattak. Ha jól megírták az előírt dolgozatokat, akkor felvették őket. E nulladéves diákoknak tanítottam fizikát. *Fizika összefoglaló és példatár* címmel könyvet – amelynek két kiadása is volt – írtam számukra. Valószínűleg ezen előzmények vezettek megbízatásomhoz.

– *A kísérletek közül melyik az a néhány, ami legközelebb áll a szívéhez?*

– Ha megkérdezik, hogy nyolc unokám közül melyiket szeretem a legjobban, akkor nem tudok válaszolni, ugyanígy nem tudom megmondani, hogy melyik kísérlet áll hozzám a legközelebb.

– *Bizonyára voltak nehéz kísérletek, szépek és az elmúlt 25 év alatt akadhattak mulatságos epizódok a kísérletek tervezésekor-összeállításakor. Kérem, meséljen el néhányat nekünk!*

– Negyed század alatt természetesen több is akadt. Torziós ingát kellett építenünk egy súlypontmeghatározási kísérlethez, ennek 15-20 lengést kellett volna végeznie. De bármilyen rugóanyagot is próbáltunk, bármennyire is finoman csapágyaztunk, az inga néhány lengés után megállt. Végigjártam a rugókészítőket, az órásokat, de olyan rugót ami erre a célra jó lett volna nem találtam. Végül leutaztam a diósgyőri vasgyárba, és tőlük kértem anyagot, amit egy gödöllői lakatos edzett meg, és így készülhetett el a torziós inga. Sok utánajárásba került, pedig csak egy egyszerű rugóról volt szó.

Másik történetet is elmesélek, ami sajnos nem vidám, inkább kellemetlen volt: az üveghez közeli törésmutatójú folyadékot rendeltem meg. Ez arra kellett, hogy egy üvegedénybe helyezett test méreteit és a folyadék törésmutatóját meghatározzuk. A cég – nevét nem mondom – megígérte, hogy időben hozzák. Az OKTV előtt egy hónappal érdeklődtem, megnyugtattak, bár még nincsen meg, de időben meg fog jönni repülővel. A verseny előtti nap is érdeklődtem, közölték, a repülő megjött, de a csomag sajnos „lemaradt" róla. Éjjel az egész szöveget át kellett dolgoznom, hogy e különleges törésmutatójú folyadék nélkül is értelmes feladatokat adhassunk.

– *A feladatok kialakításánál van valami szempont, aminek figyelembevételével dolgozik?*

– A feladatok, főleg a korábbi években, könnyen megvalósíthatók, többféleképpen is megoldhatók voltak. Manapság inkább arra fókuszálok, hogy új ismerettel is – ami passzol a tanulmányaikhoz, de nem feltétlenül tanulják, vagy valami technikai alkalmazása van – gazdagítsam a diákokat. Egyik alkalommal a szálerősítésű műanyagok rugalmassági moduluszát mérettem. Ezen anyagokat például autókarosszériákban, modellezésénél használják, mert kicsi a sűrűségük és rugalmasak, de egyben nagyon erősek – ezért is próbáltam megismertetni a diákokkal. Engem is meglepett, amikor egy beszélgetés közben megtud-

[1] Az OKTV 1., illetve 2. kategóriája számára a harmadik forduló kísérleti versenyét – a kategóriákat évről-évre egymás között váltva – a BME és az ELTE szervezi.

tam, hogy házfelújításoknál, ha szükséges a szerkezet megerősítése, a vasbetongerendák aljára ilyen anyagokat ragasztanak.

Hasonló példa a hangvilla vizsgálata is: azt szerettem volna megmutatni, hogy amikor a hangvillára tömeget teszünk, akkor a sajátfrekvenciája elhangolódik. Az effektusnak gyakorlati alkalmazásai is vannak. Ezt használják például gázérzékelésre is: piezolapkákra specifikusan egyfajta gázmolekulát reverzibilisen megkötő anyagot visznek, ettől a gázmolekula jelenlétében a piezokristály sajátfrekvenciája elhangolódik.

Másik esetben *Horváth Gábor* cikkét[2] olvastam a *Fizikai Szemlében* arról, hogy az elefánt az ormányával hogyan fogja meg a fa törzsét, az oposszum hogyan tekeri fel a farkát a fára, amivel megtartja magát, illetve a matrózok hogyan kötik ki a hajót a kikötői bakhoz. Ezekről ott olvastam és azt mondtam, hogy hoppá ezt meg kellene méretni. A probléma ott volt, hogy egy henger és a rá feltekert kötél között ébredő erőnek a laborban mérhető nagyságúnak kellett lennie. Először egy alumíniumhengerrel próbálkoztam, különböző finomságú csiszolópapírral csiszoltam, políroztam, de a felület nem volt elég jó, végül homokkal lefúvattam, és az bevállt. A másik gond a kötéllel volt: kezdetben hengeres anyagokkal próbálkoztam, horgászdamillal, vékony fémszállal, cérnával, vitorlavarró cérnával stb. De hamar rájöttem, hogy a hengeres anyag ellapul, kicsit megkopik, tehát az érintkező felület használat közben változik. Ezért szalagokra tértem át, mindenfélét kipróbáltam, végül egy karácsonyi napon otthon a csomagolóanyagok között találtam egy virágkötőktől származó szalagot, és az bevállt. Ezekkel sikerült reprodukálhatóan mérhetővé tenni az ébredő erőket.

[2] Horváth Gábor: Hogyan fogódzkodik az oposszum a farkával a faágba? *Fizikai Szemle 58/2* (2008) 62–64.

A termoelemes feladatnál az ragadott meg, hogy néhány millivoltos feszültség jön létre, mert a legtöbb fémpár Seebeck-együtthatója μV/K értékű. Akkor – talán a „Budóban" – olvastam, hogy akár 30 A áram is kialakulhat egy rövidre zárt termoelemben. Azt gondoltam, igen tanulságos lehet, hogy bár a feszültség kicsi, mégis nagy áramok folyhatnak. Ráadásul ezen effektusnak is vannak gyakorlati alkalmazásai. Gázkészülékek biztonsági szelepe is így működik: ha elalszik a láng, akkor az áramkörben nem folyik áram és a biztonsági szelep kikapcsol. Ez nagyon egyszerű biztonsági rendszer. Megmérettem az áramokat vastag rézrúdon, az érintkező fémek egyik átmenetét olvadó víz-jég keverékbe tettük, a másikat gázlánggal melegítettük.

Egyik évben kis napkollektorokat készítettünk – a megújuló energiák népszerűsítésére –, ami szegény műhelyeseinknek jó komoly munka volt. Szépen modellezte a valódi kollektorokat, ki lehetett mérni, hogy működése milyen vízáramlási sebesség mellett stb., optimális.

Volt olyan mérés, a dominósor dőlésének vizsgálata, ami a fizikusoknak kevésbé tetszett. Abban az időben nagy divat volt, hogy dominósort állítottak össze. A Guiness-rekordokba is belekerültek ezek, több millió dominót is kiraktak. Akkor az a gondolatom támadt, hogy vizsgáljuk meg, miként függ a kialakuló állandósult sebesség, és indulásnál a ledőlésekkel haladó zavar gyorsulása, a gyorsulási idő hossza a dominó méreteitől, magasságától, távolságuktól stb. Sajnos több diák azon bukott meg, hogy véletlenül meglökött egy dominót, amitől az egész, már felállított sor eldőlt. Nekik „dugába dőlt" a mérés, ehhez a kísérlethez ügyesség is kellett.

Volt két olyan év, amikor mágneseket ejtettünk függőleges fémcsőbe, az örvényáramok hatását mérettük ki. Ismeretes, hogy a fémcsőben leejtett mágnes – a falban indukált örvényáramok hatása miatt – rövid gyorsulás után egyenletes sebességgel zuhan. A közvélekedés szerint, ha a fémcső falát a szimmetriatengellyel párhuzamosan, azaz most függőlegesen végig felvágjuk, akkor nem lép fel ez a hatás. Ez engem meglepett, és ezért felhasított falu csöveket is vizsgáltattunk, hogy bemutassuk, az örvényáramok hatása ekkor is megjelenik.

Gyakorlati alkalmazás ihlette a nedvesítéssel kapcsolatos mérési feladatot. Napjainkban terjed a hidrofób anyagok alkalmazása. Építmények külső felületén, távvezetékeken, ruhákon, cipőkön stb. alkalmaznak víztaszító anyagokat. A nedvesítést jellemző kontaktszöggel, valamint a felületi feszültség, az oldat koncentrációja és a kontaktszög közötti kapcsolattal ismertettük meg a versenyzőket.

– *Úgy tudom, hogy a kísérleti fordulóban szerepelt eszközök nem a polcon végzik.*

– Igen, az ötlet az volt, hogy amikor már több érdekes, középiskolásoknak szóló feladat is elkészült, akkor – talán 2000-ben – középiskolásoknak szóló fakultatív tehetséggondozást és kísérleti kört indítottunk. Eleinte még a KöMaL-ban hirdettünk, és a je-

lentkezők közül válogattunk. Volt olyan gyerek aki Bajáról járt ide, egy másik pedig Szlovákiából jött a laborgyakorlatra. A projektbe középiskolai tanárokat is bevontam, így lett szakköri gyakorlatvezető *Vankó Péter* kollégám is az Árpád Gimnáziumból, majd ő itt is maradt, és azóta is, egyetemi docensként vezeti a tehetséggondozási programjainkat.

– *Mennyire kap szabad kezet a feladatok kialakításában?*

– Teljesen szabad kezet kapok a feladatok kitűzéséhez. Az egyik fő problémám a megfelelő, sok peremfeltételt kielégítő feladat kitalálása. Minden évben jóval a verseny előtt, az OTKV-feladatokat kitűző bizottság képviselői megtekintik a verseny előkészítésének állását. Velük beszélem meg a javasolt mérési feladatokat, a megoldásokkal együtt. Ilyenkor már a versenyhez szükséges eszközök prototípusai elkészültek, és a próbamérések is megtörténtek, a szükséges anyagok beszerzése, valamint az eszközök sorozatgyártása is előrehaladott állapotban van.

– *A kísérletekhez mennyi segítséget kap kollégáitól? Kiket emelne ki közülük?*

– Az egyik legfontosabb, legtöbb segítséget adók a tanszékünk finommechanikai műhelyének munkatársai, *Horváth Béla* – nem mellesleg Kapoli-díjas fafaragó népi iparművész –, aki jelenleg is itt van, és korábbi munkatársai *Berende László, Halász Tibor, Bacsa Sándor.* A tanszéki kollégáim közül *Fülöp Ferencet* emelném ki, ő az elektronikai dolgokban segít, és a dolgozatok javítását ellenőrzi. Vele már az alapötlettől kezdve megbeszélem a feladatot. A feladatok azonban titkosak, ezért – elvben – minél kevesebb kollégát szabad csak bevonnom. Ha kérdésem van, akár fizikával kapcsolatos, a kollégáktól akkor is csak konkrétumok nélkül kérhetek segítséget. Általában – a BME egyéb tanszékeitől kezdve a KFKI munkatársaiig – mindenki nagyon szívesen segít.

– *Kérem, mutassa be, hogyan szokott történni egy kísérlet kialakítása? Mennyi idő megy el vele, mikor kezdi tervezni, hogy határidőre kész legyen?*

– Ez változó, a fent említett matrózos példánál egy újságcikk inspirált, és rögtön elkezdtem megtervezni, megcsináltatni és kipróbálni a méréshez szükséges eszközöket. Amit viszont eredetileg 2018-ban szerettem volna elkészíteni, nem sikerült, bár kaptam segítséget, mégis a technológiai határaink miatt nem tudtuk létrehozni. Több helyen jártam a kérdésemmel, a BME-n, a Pázmány Egyetemen és az MTA Energiakutató MFA intézetében. Mindenki megtette a tőle telhetőt. Nem adom fel, de most félre kellett tennünk az ötletet. Tehát nagyon változó, van ami gyorsan elkészül, van amit több évig készítek.

A tipikus beosztás az, hogy egy áprilisi szombaton tartjuk a verseny kísérleti fordulóját, majd vasárnap és hétfőn kell kijavítani a 30 dolgozatot, hiszen kedden már zsűrizés van. Az idei évben már több időm lesz a javításokra.

Korábban néhány feladatból készült összefoglaló, azokat a *Fizika Szemlében* jelentettünk meg. Az utóbbi pár évben ezek elmaradtak, mert felmerült, hogy a feladatok szellemi tulajdonjogát nem én birtoklom, hanem a finanszírozó. Nemrégiben hozzájáruló nyilatkozatot sikerült kapnom az Oktatási Hivataltól, így publikálhatom a feladatokat.

– *Felmerült, hogy esetleg valaki más, vagy valamely más intézmény átvegye Öntől ezt a munkát?*

– Egyik évben akadt egy jelentkező. Egy középiskola át is vette e munkát, de a következő évben megint visszakaptam a feladatot. Ennek okát nem firtattam, de azóta sem jelentkezett senki sem, hogy átvenné.

– *Kérem meséljen pályája elejéről, és arról, hogy miként jutott el a BME-re, mutassa be az itteni kutatói-oktatói munkáját.*

– Az esztergomi Ferences Gimnáziumban érettségiztem, ezt követően jelentkeztem a BME Villamosmérnöki karára. Összesen ötször jelentkeztem, minden alkalommal megfeleltem, de azt az értesítést kaptam, hogy hely hiányában nem vesznek fel. Nem keseredtem el, munkába álltam, voltam transzformátor-tekercselő, próbatermi minőségellenőr, motortekercselő, telefonközpont-szerelő és több mint két évig sorkatona. Ezek után 1962. július 1-jén *Gyulai Zoltán* Kristálynövekedési kutatócsoportjába kerültem laboránsnak, az akkori ÉKME Kísérleti Fizika Tanszékére. 1963-ban újra jelentkeztem az egyetemre, maximális pontszámmal felvettek. 1969-ben végeztem a Villamosmérnöki Karon, Mérési és szabályozási szakon. 1975-ben a kutatócsoport elköltözött tanszékről a Budaörsi úton épült új akadémiai kutatóközpontba. Ekkor kaptam ajánlatot, hogy maradjak a BME-n a Kísérleti Fizika tanszéken. Az ajánlatot elfogadtam és 1975 áprilisában egyetemi adjunktusként kezdtem itt dolgozni. Itt dolgoztam 2009-es nyugdíjba vonulásomig, jelenleg címzetes egyetemi docens vagyok.

Oktatási munkám zömét az Építőmérnöki Kar hallgatóinak oktatása adta. Kezdetben egy-egy szak hallgatóinak tartottam előadásokat és vezettem gyakorlatokat. Eleinte a fizika két féléves (2 + 1 heti óraszámmal) tárgy volt, 60–90 hallgatóval. Egyes reformok után 2009-re a Kar diákjai mintegy felének, több mint 400 hallgatónak tartottam előadást és gyakorlatokat (2 + 1 heti óraszámban) egy félévben. Minden hallgatót szóban vizsgáztattam, ameddig energiával bírtam.

A TTK mérnök-fizikus hallgatóinak a kristályok növesztésével és felhasználásával foglalkozó fakultatív tárgy előadásait tartottam, külső közreműködőkkel, akik az adott anyagrészek elismert szakemberei voltak. Névsorban: *B. Barna Péter, Gyulai József, Hasznosné Nezdei Magdolna, Hartmann Ervin, Malicskó László* és *Paitz József.* Őket, mint az ELFT Kristályfizikai Szakcsoportjának elnöke nyertem meg az oktatás részére. Ezen tárgyon felül mérési gyakorlatokat vezettem a Kar hallgatóinak.

Egy időben a BME karain meghirdettem az *Érzékelők a mérnöki gyakorlatban* című fakultatív tárgyat, mérési gyakorlatokkal. A Gépészmérnöki és a Közlekedésmérnöki Karról voltak jelentkezők.

Az oktatási tevékenységhez sorolnám a TDK-dolgozatok, diplomamunkák és doktori dolgozatok té-

mavezetését, a tanszékvezető-helyettesi feladatok ellátását (1989–2009), valamint az elnyert 14 pályázatot, amelyek bevételével a laboratórium fejlesztését és a tehetséggondozást segítettem.

Az oktatási feladataimban segítségemre volt az általam vezetett és sikeresen teljesített 14 ipari megbízás során szerzett tapasztalat is.

Kutatói munkám a Kristálynövekedési Kutatócsoportnál megkezdett tevékenységem folytatása volt. A kutatócsoport elköltözése után az oldatból való kristálynövesztés a tanszékre került. A növesztő berendezések fejlesztése és egykristályok előállítása volt a feladatom. KDP (KH_2PO_4), ADP ($NH_4H_2PO_4$), α-jódsav (HJO_3) és TGS ($(NH_2CH_2COOH)_3H_2SO_4$) egykristályokat növesztettem. A kristályok a tanszéken folyó szilárdtest-fizikai kutatások, valamint lézertechnikai eszközök fejlesztésének alapanyagai voltak. Kristályainkból Q-kapcsolók, deflektorok, frekvenciakétszerezők, piroelektromos érzékelők készültek – időnként külső megbízásokra. A kristálynövesztés és kristályok technikai alkalmazása területén végzett munkámból 35 tudományos közlemény és 7 szabadalom született.

– *Hogyan látja a középiskolai oktatás színvonalának elmúlt 25 évi alakulását, különös tekintettel a tehetséggondozásra?*

– Az OKTV 2006, 2007-es években Szegeden, Debrecenben és nálunk volt, három kategóriában. Ezután 2007/2008-as tanévben már csak két helyen, a BME-n és ELTE-n. Az oktatási hivatal adatai alapján megnéztem a Fizika OTKV-re jelentkezők számának alakulását. Azt látjuk, hogy míg az összes tantárgyból OTKV-re jelentkezők száma alig változik, körülbelül 30 ezer körül van, addig a fizikánál nagymérvű az esés: 2004/2005-ben 3100-an, viszont 2017/2018-ban már csak 1300 gyerek jelentkezett. Ez jelzi a fizika helyzetét a középiskolai oktatásban, jó lenne valahogy segíteni rajta. Manapság sokat hallunk arról, hogy a társadalom számára milyen fontos az innováció szerepének növelése. Véleményem szerint már itt kezdődik a következő generáció felkészítése, hiszen ezen tanulókból lesz majd a műszaki értelmiség krémje. Ha nagymértékben csökken a számuk, akkor 20 év múlva nem lesz innovációra kész műszaki elitünk. Minden évben van néhány diák, aki hibátlanul oldja meg a feladatot – ez nekem is megerősítést ad, hogy jól találtam el a feladatok színvonalát. De látni kell, ide az ország 30 legjobb diákja kerül, és 30 okos diákot mindig találhatunk. Arra viszont nincs rálátásom, hogy az átlagos színvonal csökken vagy sem, csak a fenti számok – sajnos – elszomorítóak.

Általánosságban még azt látom, hogy az OKTV döntőjébe – az ország minden részéből jól azonosíthatóan – néhány középiskolából visszatérően jönnek a diákok, igazából nem is az adott iskolából, hanem egy-egy konkrét kollégától. Az ő tanítványaik vissza-vissza térnek. Tehát a tanár szerepe nagyon fontos. De mindezt csak az eredményhirdetéskor tudom meg, külön szoktam is kérni, hogy még véletlenül se lássam a diákok nevét, hanem csak kód alapján javítok.

A közoktatással kapcsolatban – egy konkrét példával – még a tankönyvek szerepét is megemlíteném. Egyik unokámat megkérdeztem, miért úszik a jég a vízen. Azt a választ kaptam, hogy azért, mert „könnyebb, mint a víz”. Nem véletlenül tettem, pár éve egy másik unokámnál is ugyanez volt a válasz. Akkor utánanéztem, és ez szerepelt a tankönyvben, amelynek szakember szerzője, két lektora volt és egy háromtagú bizottság véleményezte. Sőt, éveken keresztül az iskolákból sem tiltakozott senki azért, hogy e helytelen megfogalmazás kikerüljön a könyvből. Pedig a tankönyv előtte tárgyalta a térfogat- és tömegmérést is, tehát be tudta volna mutatni a jég és víz sűrűsége közötti különbséget.

– *Milyen tervei vannak a jövőre? Nem azt kérjük, hogy mutassa be az idei feladatokat (bár bizonyára sokan szívesen vennék), csak kíváncsiak lennénk, hogy hány évre előre vannak már tervei, mit tartogat a tarsolyában kísérletként.*

– Most is van több elképzelésem, ami 1-2 évre előremutat. Ezeket lényegében párhuzamosan próbálom megvalósítani, beszerezni a hozzá való anyagokat, a műhely segítségével elkészíteni a konkrét kísérleti megvalósítás mintapéldányát. E folyamat során látom, hogy elgondolásomat meg lehet-e valósítani, vagy egy másikat kell kidolgoznom. Ha elgondolom, hogy egy konkrét mérési összeállítás mennyi peremfeltételnek kell megfeleljen, akkor egész hosszú listát tudok mondani: igazodnia kell a középiskolai tanulmányokhoz, bele kell férnie a versenyen rendelkezésre álló időbe, a szükséges eszközöket ésszerű áron kell tudni beszerezni, és tanulságos, érdekes feladatot kell kitűzni. Az idei mérési összeállítás már kialakult, most zajlik az eszközök sorozatgyártása.

– *Ezek szerint, aki az idei fizika OKTV kísérleti fordulójában jó eredményt akar elérni, küldje el kémeit a BME Fizika Tanszék műhelyébe?*

– Nem érdemes, a műhelyben dolgozók nem ismerik a feladatokat, az eszközöket azonban mégis nagyon pontosan, igényesen elkészítik.

Az Eötvös Társulat

fönt van a facebook-on!

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

A 2012. ÉVI FIZIKA ORSZÁGOS KÖZÉPISKOLAI TANULMÁNYI VERSENY ELSŐ KATEGÓRIÁJÁNAK HARMADIK FORDULÓJA

Vannay László, Fülöp Ferenc
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Fizikai Intézet, Fizika Tanszék

Simon Ferenc Vannay Lászlóval készített interjújához kapcsolódóan közöljük az alábbi írást. A kísérleti OKTV-feladatok egészen 2011-ig hagyományosan megjelentek a *Fizikai Szemében*. 2011 után az Oktatási Hivatal nem adott egyértelmű állásfoglalást, hogy a cikkek megjelenhetnek-e vagy sem. Közben, „néhány" év késéssel, Vannay László megkapta az OH engedélyét a feladat megjelentetésére. (A *Fizikai Szemle* nemrégiben hasonló témájú cikket jelentett meg.[1])

✧

A BME Fizikai Intézete 1994 óta rendezi a fizika Országos Középiskolai Tanulmányi Verseny (OKTV) harmadik, döntő fordulóját.

A fizika OKTV – a 2007/2008-as tanévtől kezdődően – két csoportban (kategóriában) kerül megrendezésre, a versenykiírásban megfogalmazott feltételek határozzák meg, hogy a diák az I. vagy a II. kategóriába kerül.

Mindkét csoport részére három fordulóból áll a verseny. Az első két fordulóban a versenyzőknek elméleti problémákat kell megoldaniuk, míg a harmadik fordulóba jutott legjobbaknak mérési feladatokkal kell megbirkózniuk.

A verseny értékelése a második (maximum 60 pont) és a harmadik (maximum 40 pont) fordulóban szerzett pontok összegzésével történik. Ha az összesítés után egyenlő pontszám jön létre, a sorrendet a harmadik, kísérleti fordulón elért eredmény határozza meg.

A Műegyetem Fizikai Intézete 2012-ben az I. kategória versenyének harmadik, döntő fordulóját rendezte. A versenyen 29 diák – 14, illetve 15 fős csoportban – vett részt. Az első csoport délelőtt 8-tól 12 óráig, a másik délután ½1-től ½5 óráig, egymástól függönnyel elválasztott mérőhelyeken dolgozhatott. A mérőhelyeket sorsolással osztottuk ki a versenyzők között.

Mérések függőleges, vastag falú alumíniumcsőben eső mágnesekkel

A verseny során függőleges helyzetű, vastag falú alumíniumcsövekben eső mágnesek mozgását kell vizsgálni.

A feladat megoldásához rendelkezésére álló eszközök

2 darab vastag falú alumíniumcső. A csövek külső átmérője: 25 mm, belső átmérője: 7 mm, hossza: 145 mm. A csöveken 25 mm-enként sugárirányú átmenő furatok (6 darab) találhatók a fénykapuk elhelyezéséhez. Az első furat a cső végétől 10 mm-re helyezkedik el. *Az egyik cső palástja ép, a másikét az alkotójával párhuzamosan felhasítottuk.* A csövek belső felülete sima, tükrösített.

A két cső azonos minőségű anyagból készült!

2 darab fénykapu időmérő elektronikával (használatukat lásd később).

1 darab tápegység az időmérő elektronika táplálására.

7 darab neodímiummágnes-gyűrű* (átmérő 6/2 mm, hossz 5 mm, anyaga: N48).

1 darab műanyag lap, hogy az eső mágnesek erre érkezzenek.

2 darab milliméterpapír.

2 darab „befőzőgumi" a fénykapuk rögzítéséhez.

A mérési összeállítást az *1. ábra* mutatja.

Vannay László villamosmérnök, a BME Fizika Tanszék címzetes egyetemi docense. Kutatási területe kristálynövesztés oldatból és kristályok technikai alkalmazása volt. 1993-tól 1996-ig, majd 1999-től 2004-ig az ELFT Kristályfizikai Szakcsoportjának elnöke. 1975-től 2009. évi nyugdíjazásáig mérnök- és fizikushallgatókat oktatott, 1997-től tehetséggondozó programot vezetett. 1994-től a fizika OKTV kísérleti fordulóinak szervezője, ELTE Fizikai Intézetével váltakozva, hol az I., hol a II. kategória versenyzőinek.

Fülöp Ferenc a BME Villamosmérnöki Karán végzett 1983-ban. Azóta a BME Kísérleti Fizika, majd Fizika Tanszékén dolgozik. Kezdetben infravörös sugárzás detektálásával, hőmérsékletméréssel foglalkozott, majd szilárdtest-fizikai kutatásokban vett részt. Mérnök- és fizikushallgatók számára tart előadást és laboratóriumi mérési gyakorlatokat. Huszonöt éve közreműködik a Fizika OKTV kísérleti fordulóinak megrendezésében.

[1] Németh Viktória, Nguyen Q. Chinh: A Lenz-törvény demonstrálásában használt rézcső méretének hatása a csőben mozgó mágneses testek sebességére. *Fizikai Szemle 68/9* (2018) 318–325. Megtekinthető a http://fizikaiszemle.hu archívumában.

1. ábra. A mérés összeállítása.

Feladatok

1. Állapítsa meg, hogy a felhasított palástú, vastag falú alumíniumcsőben eső 7 darab mágnesgyűrűből álló mágnes sebessége hogyan alakul az esés során! (18 pont)

a. Végezzen gondos méréseket az út-idő függvény meghatározásához!

b. Rajzolja fel az út-idő grafikont.

c. Ismertesse a sebesség alakulását az esés közben!

d. Milyen fizikai effektusok befolyásolhatják az eső mágnes mozgását, és ezek közül melyek hatása hanyagolható el?

e. Magyarázza meg, hogy a sebesség miért alakul a tapasztaltak szerint!

f. Röviden írja le, hogy a feladat megoldása során szerzett ismeretei szerint, hogyan alakul a felhasított palástú csőben a kisebb számú kis mágnesből álló mágnes sebessége az esés során, valamint azt, hogy az ép palástú csőben várhatóan miként alakul az eső mágnesek sebessége! Válaszát indokolja!

2. Végezzen méréseket annak megállapítására, hogy mekkora sebességgel éri el a függőleges, *ép palástú* cső alsó végét a 2, 3, 4, 5, 6 és a 7 darab mágnesgyűrűből álló eső mágnes. A megállapított sebességeket tüntesse fel táblázatban! (9 pont)

3. Végezzen méréseket annak megállapítására, hogy mekkora sebességgel éri el a függőleges, *felhasított palástú* cső alsó végét a 2, 3, 4, 5, 6 és a 7 darab mágnesgyűrűből álló eső mágnes! A megállapított sebességeket tüntesse fel táblázatban! (9 pont)

4. Egy grafikonon tüntesse fel az eső mágneseknek (a 2, 3, … 7 darab kis mágnesgyűrűből álló mágnes) a csövek végénél elért sebességét, a mágnesek számának függvényében, az ép és a felhasított palástú cső esetén! Milyen tanulságot von le a grafikonról? Miért különböző a két függvény menete? (4 pont)

* *Figyelem! Erős mágneseket használnak!*

A használat során különös figyelmet kell fordítani a munkavédelemre. A mágnesekkel pacemakert használó személy nem dolgozhat. A mágneses térre érzékeny műszerek, eszközök, berendezések működése a mágnesek hatására megváltozhat. A mágneses adathordozókon tárolt adatok megsérülhetnek vagy megsemmisülhetnek.

A fénykapuk használata

A két darab fénykapu közül az egyik az indító (fehér jelöléssel), a másik a leállító (piros jelöléssel). Ha az indító kapu fényútját valami megszakítja, az elektronika elkezdi az időt mérni és mindaddig mér, amíg a másik kapu fényútja meg nem szakad. A kapuk az alumíniumcsövek oldalán lévő furatok segítségével helyezhetők el a kívánt helyre. Indítás előtt a kijelzőt az előlapon található gombbal lehet nullázni.

A mért idő számok formájában, ezred másodpercekben olvasható le az elektronika kijelzőjéről. Az elektronika működéséhez 5 V-os feszültség szükséges, ezt a tápegység biztosítja. A beállított tápfeszültséget ne változtassa meg!

A verseny folyamán készített írásos anyagain, grafikonjain minden lap első oldalán, a jobb felső sarokban tüntesse fel a mérőhelye számát (101, … 130)! Egyéb, azonosításra alkalmas adatot (név, iskola stb.) ne tüntessen fel!

Méréseit körültekintően végezze! Pontos eredményeket csak gondos méréssel fog kapni. Jegyzőkönyvét olyan részletesen készítse el, hogy mérései a leírtak alapján pontosan megismételhetők legyenek! Írása olvasható legyen!

A verseny időtartama 4 óra. Igyekezzen méréseit úgy megtervezni, hogy azok a rendelkezésére álló idő alatt végrehajthatók legyenek!

Ha a verseny közben problémái jelentkeznek, forduljon a felügyelő oktatókhoz!

A feladatok megoldása

A felhasított vastag falú csőben eső, 7 darab kis mágnesgyűrűből álló mágnes út-idő függvényének felrajzolásához szükséges méréseket az alábbiak szerint végeztük.

– A vizsgálandó, vastag falú alumíniumcsövet a műanyag alátéttel – függőleges helyzetben – az asztalra helyeztük.

– Az „indító” fénykaput az első, erre a célra létesített furatokba – a cső felső élétől 10 mm-re – helyeztük, és befőzőgumival rögzítettük.

– A „leállító” fénykaput a 2,5 cm-rel lejjebb lévő furatokba helyeztük és rögzítettük.

– Az időmérő elektronikát üzembe helyeztük (rákapcsoltuk a tápfeszültséget és nulláztuk).

1. táblázat

A felhasított falú csőben eső mágnes egyre növekvő megtett útjához szükséges mért idők átlaga

mágnesek száma	2,5 cm	5 cm	7,5 cm	10 cm	12,5 cm
7 db	0,0922 s	0,1734 s	0,3034 s	0,4350 s	0,5730 s

– A kis mágnesgyűrűkből álló mintát – a cső hossztengelyébe hozva – első elemével a csőbe helyeztük, majd elengedtük.

– Az első 2,5 cm-es út megtételéhez szükséges időt ötször mértük és átlagoltuk.

– A „leállító” kaput 2,5 cm-rel lejjebb helyeztük, és ismét ötször mértük az 5 cm-es út megtételéhez szükséges időt.

– A továbbiakban is a fentiek szerint jártunk el a 7,5, a 10 és a 12,5 cm-es út megtételéhez szükséges idők mérésénél.

Különös gondot fordítottunk a minták indítására! Amikor az indítás nem sikerült pontosan (például, ha a minta nem volt függőleges helyzetben és hallhatóan koccant), a mért időt nem vettük figyelembe.

A mérések eredményeit az *1. táblázatban* tüntettük fel. A táblázat adataival felrajzolt út-idő grafikont a *2. ábra* mutatja.

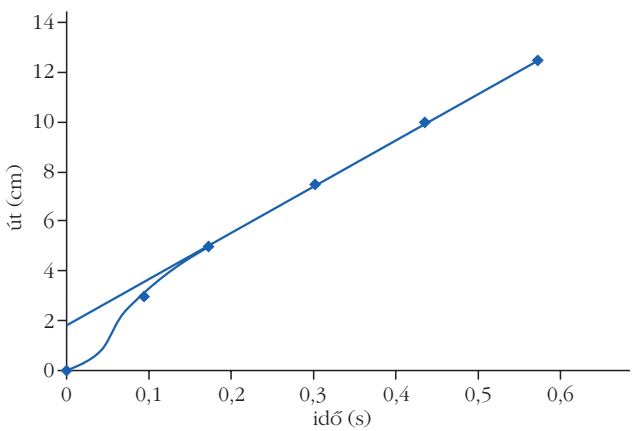
A kapott grafikon alapján megállapítható, hogy a mágnes kezdetben fokozatosan gyorsul, ezt követően lassul, majd ~6 cm után állandó sebességgel mozog.

A csövekben eső mágnesekre a nehézségi erő, a változó mágneses tér hatására a Lenz-törvény értelmében a csőfalban kialakuló örvényáramok miatt fellépő erő, a súrlódási erő, a közegellenállási erő, a felhajtóerő, valamint a Föld mágneses tere hat.

A súrlódási erő hatása figyelmen kívül hagyható, a csőfalra merőleges erő elhanyagolható nagyságú. A közegellenállási erő becsült értéke három, négy nagyságrenddel kisebb a nehézségi erőnél. A Föld mágneses terének hatása is kicsi. Így mondhatjuk, hogy az eső mágnesek sebességét a nehézségi erő és az örvényáramok fékező hatása alakítja.

A mágnes az esés kezdetekor álló helyzetben van, egy része még a csövön kívül helyezkedik el. Változó mágneses tér még nincs, még nem indukálódik feszültség, az örvényáramok hatása nulla. A mágnest a nehézségi erő gyorsítja. A növekvő sebességű esés, valamint az egyre inkább a csőbe érő mágnes hatására fokozatosan növekszik az örvényáramok fékező hatása, de a sebesség még mindig növekszi. Ez az útszakasz ~3,5 cm-ig tart. (A mágnes ekkor ér teljes hosszával a csőbe.) Az eddig elért sebességnél már az örvényáramok fékező ereje nagyobb, mint a nehézségi erő, ezért a sebesség fokozatosan csökken. A csökkenés addig tart, amíg a nehézségi erő és az örvényáramok fékező ereje egyensúlyba jut. Ettől kezdve az esés sebessége állandó. Az indulástól az állandósult sebesség eléréséig terjedő időszakban csak egy mérési pontunk van, azonban a mozgás – jellegét tekintve – csak az elmondottak szerint alakulhat.

2. ábra. A felhasított csőben eső 7 darab mágnesgyűrűt tartalmazó mágnes út-idő grafikonja.



A felhasított palástú csőben eső kisebb számú kis mágnesgyűrűből álló mágnesek sebessége annyiban fog eltérni az eddigiektől, hogy mivel tömegük kisebb, az egyensúlyi helyzet kisebb sebességnél és rövidebb úton fog kialakulni.

Az ép palástú cső esetén a felhasítás nem korlátozza az örvényáramok kialakulását, így minden egyes eső mágnes esetén kisebb sebességnél áll be az egyensúly, mint a felhasított palástú csőnél. Ez azt is eredményezi, hogy megnő az állandó sebességű szakasz hossza.

Az *ép palástú csőben eső mágnesek* állandósult sebességének meghatározása két módon valósítható meg.

Az egyik lehetőség út-idő függvények felvétele és az állandó sebességű szakaszra történő egyenes illesztésével, az egyenes egyenletéből meghatározni a sebességet (ezt időigényessége miatt nem vártuk a versenyzőktől, de természetesen jó megoldásnak tekintettük). A másik lehetőség az állandó sebességű szakaszon, adott út és a megtételéhez szükséges idő mérésével, a $v = s/t$ összefüggés segítségével.

Az *1. ábrán* látható, hogy a felhasított palástú csőben eső, 7 darabból álló mágnes már majdnem 5 cm-es út megtétele után állandó sebességgel mozog, valamint megállapítottuk, hogy az ép palástú csőben eső mágnesek rövidebb úton érik el az egyensúlyi állapotot, ezért a vizsgált útszakaszt az 5 cm-től 12,5 cm-ig, vagy 7,5 cm-től 12,5 cm-ig választhatjuk. A hosszabb út a növeli a mérés pontosságát. Mivel minket az idő nem korlátozott, elvégeztük az út-idő grafikonok felvételéhez szükséges méréseket, (az eredményeket a *2. táblázat* mutatja) és egyeneseket illesztettünk az út-idő grafikon állandó sebességű szakaszára. (A nem felhasznált, 2,5 cm-hez tartozó adatokat halványan tüntettük fel.)

Az illesztett egyenesek egyenletét, továbbá az egyenletekből meghatározott állandósult sebességeket (a regressziós állandók négyzetével együtt) a *3. táblázatban* tüntettük fel. A regressziós állandók

2. táblázat

Az ép falú csőben eső mágnesek egyre növekvő megtett útjához szükséges mért idők átlaga

mágnesek száma	2,5 cm	5 cm	7,5 cm	10 cm	12,5 cm
7 db	0,1792 s	0,3396 s	0,5744 s	0,8036 s	1,0396 s
6 db	0,1824 s	0,4182 s	0,6776 s	0,9492 s	1,2102 s
5 db	0,2102 s	0,5160 s	0,8290 s	1,1316 s	1,4396 s
4 db	0,2936 s	0,6664 s	1,0508 s	1,4176 s	1,7932 s
3 db	0,4038 s	0,8464 s	1,3100 s	1,7582 s	2,2170 s
2 db	0,5420 s	1,1088 s	1,6668 s	2,2496 s	2,8214 s

3. táblázat

Az ép falú csőben eső mágnesek állandósult sebessége egyenesillesztésből és az utolsó 7,5 cm megtételéhez szükséges időből számítva

mágnesek száma	illesztett egyenes	R^2	állandósult sebesség	számított sebesség
7 db	$y = 10{,}733x + 1{,}3518$	1,0000	10,733 cm/s	10,714 cm/s
6 db	$y = 9{,}4418x + 1{,}0660$	0,9999	9,4418 cm/s	9,470 cm/s
5 db	$y = 8{,}1340x + 0{,}7864$	1,0000	8,1340 cm/s	8,120 cm/s
4 db	$y = 6{,}6711x + 0{,}5312$	0,9999	6,6711 cm/s	6,656 cm/s
3 db	$y = 5{,}4822x + 0{,}3463$	1,0000	5,4822 cm/s	5,472 cm/s
2 db	$y = 4{,}3699x + 0{,}1778$	0,9999	4,3699 cm/s	4,379 cm/s

értékei azt mutatják, hogy mérési eredményeink igen jól illeszkednek az egyenesekre.

A *3. táblázat* utolsó oszlopában az 5 cm-től a 12,5 cm-ig tartó út hossza és az út megtételéhez szükséges idő felhasználásával számított sebességeket tüntettük fel. (A számításhoz szükséges adatokat a *2. táblázatból* vettük.)

A két módon meghatározott sebességek nagyon jól egyeznek.

A *felhasított palástú csőben eső mágnesek* állandósult sebességének meghatározásakor ugyanúgy jártunk el, mint az ép palástú cső esetén. Az út-idő kapcsolatok meghatározásához mért adatokat a *4. táblázat* mutatja. Az állandósult sebességű szakaszra (7,5 cm-től 12,5 cm-ig) illesztett egyenesek egyenletét, valamint a belőlük meghatározott sebességeket a *5. táblázatban* tüntettük fel. Ebben a táblázatban az utolsó oszlop a 7,5 cm-től 12,5 cm-ig tartó 5 cm-es út, és a megtételéhez szükséges idő segítségével számított sebesség.

Itt is világosan látható, hogy a két módszerrel megállapított sebességek igen jól megegyeznek.

Most is ki kell hangsúlyoznunk, hogy a versenyzőktől az állandósult sebesség meghatározását az út és a megtételéhez szükséges idő figyelembe vételével vártuk.

A 4. feladat a *3.* és az *5. táblázatban* található sebességértékek felhasználásával könnyen megoldható, amit a *3. ábra* mutat.

A *3. ábra* alapján egyrészt megállapítható, hogy a vizsgált mágnesek állandósult sebessége egyenesen arányos a mágnest alkotó kis mágnesgyűrűk számával, másrészt az, hogy a felhasított palástú cső esetén mindig nagyobb az eső mágnesek állandósult sebessége.

A két vizsgált csőben kialakuló sebességek különbségét – mint azt korábban is megállapítottuk – a

4. táblázat

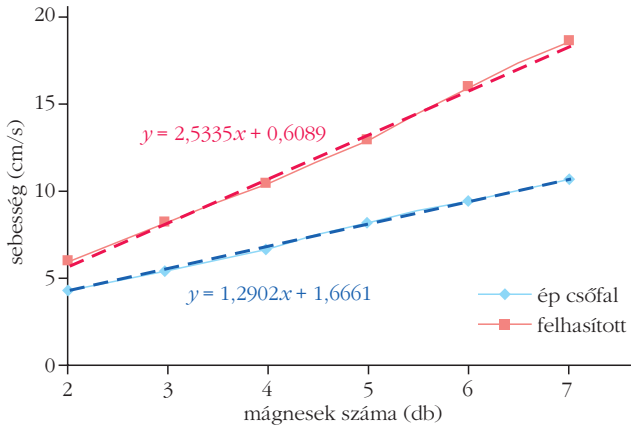
A felhasított falú csőben eső mágnesek egyre növekvő megtett útjához szükséges mért idők átlaga

mágnesek száma	2,5 cm	5 cm	7,5 cm	10 cm	12,5 cm
7 db	0,0922 s	0,1734 s	0,3034 s	0,4350 s	0,5730 s
6 db	0,0984 s	0,2300 s	0,3856 s	0,5444 s	0,6978 s
5 db	0,1132 s	0,2954 s	0,4972 s	0,6908 s	0,8854 s
4 db	0,1702 s	0,4090 s	0,6530 s	0,8924 s	1,1332 s
3 db	0,2544 s	0,5654 s	0,8720 s	1,1682 s	1,4780 s
2 db	0,4012 s	0,8194 s	1,2324 s	1,6520 s	2,0712 s

3. táblázat

A felhasított falú csőben eső mágnesek állandósult sebessége egyenesillesztésből és az utolsó 5 cm megtételéhez szükséges időből számítva

mágnesek száma	illesztett egyenes	R^2	állandósult sebesség	számított sebesség
7 db	$y = 18{,}543x + 1{,}8945$	0,9998	18,543 cm/s	18,546 cm/s
6 db	$y = 16{,}014x + 1{,}3109$	0,9999	16,014 cm/s	16,015 cm/s
5 db	$y = 12{,}880x + 1{,}0983$	1,0000	12,880 cm/s	12,880 cm/s
4 db	$y = 10{,}412x + 0{,}7032$	1,0000	10,412 cm/s	10,412 cm/s
3 db	$y = 8{,}2490x + 0{,}3256$	0,9998	8,249 cm/s	8,251 cm/s
2 db	$y = 5{,}9610x + 0{,}1534$	1,0000	5,961 cm/s	5,961 cm/s



3. ábra. Az állandósult sebességek a mágnesgyűrűk számának függvényében ép és felhasított falú csövek esetén.

palást felhasítása okozza. A felhasítás korlátozza a változó mágneses tér által indukált feszültség hatására létrejövő örvényáramok kialakulását.

A versennyel kapcsolatos tapasztalatok

Az első feladat méréseit mindenki elvégezte, és sokan helyes eredményeket kaptak. A mérési pontokra illesztett „görbék" és azok magyarázatai azonban már igen különbözők voltak.

A koordináta kezdőpontját általában a cső tetejére, vagy az első furat helyére (az indító kapu helyére) vették fel a versenyzők.

Többen az origóból (függetlenül attól, hogy azt hol vették fel) induló egyenest illesztettek a mérési pontokra. Ennek fizikai jelentését nem gondolták át, hiszen az ilyen út-idő grafikon azt jelentené, hogy a mágnes kezdettől fogva állandó sebességgel esik.

Sokan voltak, akik a 2. vagy 3. mérési pontoktól, az 5.-ig kapott eredményekre illesztettek egyenest, és megállapították, hogy itt a mágnes állandó sebességgel mozog, de az indulás körül történtekkel nem foglalkoztak.

Volt, aki az origóból induló parabolát csatlakoztatott az állandó sebességhez tartozó egyeneshez (a parabolatengely a felvett koordináta egyik vagy másik tengelyével volt párhuzamos), nem gondolva arra, hogy milyen mozgást jelentene egy ilyen görbe.

Az indulástól az állandósult sebesség eléréséig történteket csak néhányan írták le helyesen, és közülük sem mindegyik rajzolta meg jól a grafikon kezdeti szakaszát.

A grafikonok felrajzolásánál tapasztalt problémák jelentek meg a sebesség alakulásának leírásakor is.

Az eső mágnes mozgását befolyásolható fizikai effektusok közül teljes listát senki sem adott. Érdekes módon csak egy-két említés történt a Föld mágneses terére, vagy a felhajtóerőre.

A sebesség alakulásának magyarázata a legtöbb esetben az állandósult sebességű szakaszra vonatkozott, amit az örvényáramok hatása és a nehézségi erő egyensúlya eredményezett.

Csak néhányan voltak, akik a súrlódási erő, illetve a csőben összenyomódó levegő hatásával magyarázták az állandósult sebesség kialakulását.

2011-ben a diákok vékony falú, függőleges helyzetű, alumínium- és rézcsőben eső mágnesek mozgását vizsgálták.[2] Ekkor több versenyző vélekedett úgy, hogy a csövek palástját (a cső hossztengelyével párhuzamosan) felhasítva a mágnesek „szabadon" esnének. A kitűzött feladattal ezen elképzelés hibás voltára kívántuk felhívni a figyelmet.

Eredmények

A második és harmadik fordulón elért pontszámok összesítése után az élmezőnyben az alábbi sorrend alakult ki.

1. *Németh Márton,* a Veres Péter Gimnázium (Budapest) tanulója, felkészítője: *Székely György.*

2. *Pataki Bálint Ármin,* a Herman Ottó Gimnázium (Miskolc) tanulója, felkészítői: *Dezsőfi György* és *Dudás Imre.*

3. *Szekeres Kornél,* a Fazekas Mihály Gimnázium (Debrecen) tanulója, felkészítője: *Adorján László.*

4. *Gémes Gábor* (Hódmezővásárhely Megyei Jogú Város Önkormányzat Gimnáziuma), 5. *Brunner Kristóf* (tatabányai Árpád Gimnázium) és *Broda Balázs* (miskolci Árpád Gimnázium), 7. *Szaksz Bence* (győri Kazinczy Ferenc Gimnázium) és *Krisztián Dávid* (egri Szilágyi Erzsébet Gimnázium), 9. *Tardos Jakab* (Fazekas Mihály Fővárosi Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium), 10. *Erdős Gergely* (nagykanizsai Batthyány Lajos Gimnázium), 11. *Pásztor Dániel* (budapesti Eötvös József Gimnázium), *Mezősi Máté* (miskolci Herman Ottó Gimnázium) és *Sulyok András Attila* (Szentendrei Református Gimnázium), 14. *Vágány András* (budapesti Veres Péter Gimnázium, 15. *Hódsági Kristóf* (győri Czuczor Gergely Bencés Gimnázium).

Köszönetnyilvánítás

A verseny anyagi hátterét részben az Oktatási Hivatal biztosította. Ezt ezúton is köszönjük.

A verseny lebonyolításához szükséges eszközök kivitelezéséért *Horváth Bélának, Halász Tibornak* és *Bacsa Sándornak,* a megfelelő körülmények megteremtéséért *Gál Bélánénak* és *Mezey Miklósnak* mondunk köszönetet.

A versennyel kapcsolatos adminisztrációs és gazdasági ügyek intézéséért *Honti Editet* és *Kovács Annát* illeti köszönet.

Elismerés és köszönet illeti mindazokat (szülőket, tanárokat, barátokat stb.), akik segítették a versenyzők munkáját és ezzel hozzájárultak a verseny sikeréhez.

[2] Vannay László, Fülöp Ferenc: Fizika OKTV harmadik fordulója, a második kategória részére – 2011. *Fizikai Szemle 61/11* (2011) 387–392.

XXVIII. ÖVEGES JÓZSEF KÁRPÁT-MEDENCEI FIZIKAVERSENY – GYŐR, 2018. MÁJUS 25–27.

Lévainé Kovács Róza
szervező, ELFT Általános Iskolai Oktatási Szakcsoport elnöke
Tasi Zoltánné
ELFT Általános Iskolai Oktatási Szakcsoport tagja
Tóth Zsuzsanna
országos döntőn szervező tanár

Már elindult az újabb Öveges-versenysorozat, amelynek iskolai (2019. február 5.) és megyei (március 19.) fordulóját követő három napos országos döntőjére május 24. és 26. között kerül sor. Most tekintsünk vissza a 2018-as versenyre.

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat fontos feladatának tekinti a természettudományok iránt érdeklődő, fizikából tehetséges tanulók képességeinek korai felismerését és fejlődésük segítését. Ennek egyik jól bevált, több évtizedes múlttal rendelkező módja hazánkban az általános és középiskolai tanulmányi versenyeken való szerepeltetés.

Ezen versenyek első lépcsője az Öveges József Kárpát-medencei Fizikaverseny, amely a 14 éves korosztálynak ad lehetőséget az erőpróbára. A háromfordulós verseny az egész ország területét lefedi, a megyék és a főváros legjobban felkészült tanulói vesznek részt az országos döntőn (sőt a határon túli, fizikát magyarul tanulók is indulhatnak). A 2018. évi, 28. megmérettetésre 269 általános és középiskolából 1182 versenyző nevezett. A döntőbe 74 hazai és 11 határon túli magyar diák kapott meghívást, közülük 63-an, illetve 6-an tudtak részt venni.

A verseny anyagi hátterének megteremtésére pályázatot adtunk be a Nemzeti Tehetség Programhoz, ahol egymillió forint vissza nem térítendő támogatást nyertünk. Az NTP-TMV-17-0031 azonosító számú pályázatra kapott összeget a három forduló megszervezésére, valamint az országos döntőn a versenyzők és rendezők ellátására fordítottuk. A pályázatot minden évben *Lévainé Kovács Róza* készíti.

Az Emberi Erőforrások Minisztériuma által kiírt pályázat biztosította forrás mellett még támogatókra is szükség volt, a felajánlásokat ezúttal is köszönjük.

A verseny krónikája

A 2018. évi verseny mottója: „… minden ismeret még gyönyörűbbé teszi előttünk a világot” (*Öveges József*).

Az ünnepélyes megnyitón *Sólyom Jenő,* az Eötvös Loránd Fizikai Társulat elnöke köszöntötte a versenyzőket és a megjelenteket. A versenyt *Simon Róbert Balázs* országgyűlési képviselő nyitotta meg.

A 69 versenyzőnek színvonalas megmérettetését biztosította, hogy a feladatsorokat a szakma jeles képviselői állították össze, illetve lektorálták. A tanulók munkáját elismert szakemberekből álló zsűri többszörös ellenőrzéssel javította.

A tanulók számára ismerkedési lehetőség is volt ez a szűk három nap. A versenyen kívüli idejüket változatos programmal tudtuk megtölteni: megismerhették Győr városát, a Jedlik-kiállítást, koszorúztak *Jedlik Ányos* szobránál.

Első este a Borsos Miklós Múzeumban volt tárlatlátogatás, majd *Härtlein Károly* és *Tóth Pál* kísérleti bemutatóját figyeltük nagy érdeklődéssel (*1. ábra*).

A szombati verseny a kísérletelemzéssel, a számításos feladatok megoldásával és a mérőkísérlettel indult. A fizikatörténet és a teszt délutánra maradt.

A kollégáknak tapasztalatszerzés, szakmai megújulási lehetőség, munkájukban visszajelzés ez a verseny.

1. ábra. Első este Härtlein Károly és Tóth Pál kísérletei tanítva szórakoztatták a versenyzőket és a felnőtteket.

A versengés után, pihentetésül a Mobilis Interaktív Kiállítási Központba tett látogatást a csapat. A második este ismét a kísérletezésé volt, *Pál Zoltán* tanár úr irányításával a versenyzők felszabadultan vettek részt benne. Az ünnepélyes eredményhirdetésen *Kroó Norbert,* az ELFT tiszteletbeli elnöke mondott köszöntőt. A feladatmegoldást a zsűri elnöke, *Hadházy Tibor* tanár úr értékelte.

A pályázati és a szponzori támogatásból értékes díjakat tudtunk biztosítani a helyezet-

teknek és felkészítőiknek. Az általános iskolások értékelésében 1. díjat 1 fő, 2. díjat 3 fő, 3. díjat 1 fő kapott, míg a gimnazisták közül 1. díjat 3 fő, 2. díjat 3 fő és 3. díjat 7 fő érdemelt ki. Ők és felkészítőik oklevelet és értékes könyveket vehettek át. A különdíjas diákok száma 13, felkészítői munkáért 14 kollégánk kapott külön elismerést.

Ebben az évben ötödik alkalommal két emlékdíjjal ismertük el a felkészítő pedagógusok kiemelkedő tevékenységét. Csákány Antalné-díjban az a fizikatanár részesülhet, aki 5 év távlatában a legeredményesebb felkészítőnek bizonyul. E díjat *Horváth Gábor* (Fazekas Mihály Fővárosi Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium) tanár úr kapta.

Rónaszéki László-díjban részesülhet az a fizikatanár, aki a legtöbb versenyzőt indítja az Öveges József Kárpát-medencei Fizikaverseny első fordulójában és közülük a legjobb arányban jutnak be a döntőbe. Ezen feltételeknek 2018-ban *Horváth Norbert* (Baár-Madas Református Gimnázium, Általános Iskola és Kollégium) felelt meg.

A versenyt *Borsi Róbert* győri önkormányzati képviselő, a Közigazgatási és Közrendvédelmi Bizottság elnöke zárta.

A mindenkori beszámoló legtanulságosabb része, a döntő feladatai következnek.

Kísérletelemző feladat

Vetíteni fognak egy filmet, nézd meg figyelmesen!

A film első részében egy elektromos töltések szétválasztására alkalmas gépet (Wimshurst-féle megosztógép) látsz. Működtetése közben – a szétválasztott, és külön-külön felhalmozott töltések mezejében fellépő jelentős elektromos feszültség hatására – szikrakisülések figyelhetők meg.

A következő részben az elektromos töltéseket mérőzsinórokkal fémfóliacsíkokra vezetjük, amelyek egy félgömb alakú üvegedény belső falára vannak ragasztva. Az edénybe grafitfestékkel vezetővé tett pingponglabdát teszünk. A megosztógépet folyamatosan működtetve a labda mozgásba jön.

Fizikai ismereteid alapján magyarázd meg a látottakat! Írd le néhány mondatban, hogyan jön mozgásba a grafitfestékkel vezetővé tett pingponglabda!

A jelenség leírásában törekedj az olvashatóságra! Mondataid megfogalmazásában légy igényes!

Elért eredmények

A versenyzők három halmazba sorolhatók aszerint, ki hogyan birkózott meg a kísérletelemző feladattal. A legnagyobb létszámú (30 fő, 44%) csoport tagjai hibátlanul, vagy egy-két apróbb pontatlanságot elkövetve oldották meg a feladatot. A másik nagyobb csoportba tartozók (18 fő, 26%) nem értették meg a feladatot. A harmadik körbe tartozók közel 30%-os teljesítményt nyújtottak (13 fő, 19%), 5 pontot szereztek.

A 16 pontos kísérletelemzésben közepesen szerepeltek a versenyzők. Az átlagpontszám 9, ez 56%-os teljesítményt jelent. A maximális pontot szerzett tanulók száma 22 (32%). A legmagasabb pontszámot elért tanulók nemcsak helyesen oldották meg, hanem a szakmai nyelvet is pontosan alkalmazták. Sajnos 18 fő (26%) nem szerzett pontot, 34 fő (49%) nem érte el az 50%-os teljesítményt.

A javítóbizottság észrevételei

– többen nagyon szépen, lépésről-lépésre megmagyarázták a jelenséget, jó értelmező rajzokat készítettek, ügyeltek a pontos megfogalmazásra,

– néhányan csak leírták az elektromosságtani ismereteiket, a kísérlethez nem illőket is,

– az elektróda jelenléte miatt néhányan elektrolízisre gondoltak,

– voltak, akik a mágneses hatással, mások a mágneses indukcióval, vagy az elektromos árammal próbálták magyarázni a filmen látottakat,

– a „pozitív töltést kap" kifejezés használata nem volt egyértelmű (rossz szóhasználat, vagy protonfelvételt értett rajta a versenyző?).

Mérőkísérleti feladat

A rendelkezésedre álló eszközök, anyagok felhasználásával határozd meg a gyurma sűrűségét!

Felhasználható eszközök:

- pohár, benne víz (A mérés során csak a kiadott vízmennyiség használható fel!)
- gyurma,
- fonál,
- mérleg.

Megjegyzés: a gyurma tetszés szerint alakítható, formázható, darabolható. Az esetlegesen kifolyt víz felitatásához, a nedvesség letörléséhez a mellékelt konyhai papírtörlőt használhatod. A kiadott eszközökön, anyagokon kívül mást (például vonalzót hosszúságmérésre) nem használhatsz a méréshez!

A víz sűrűsége $\rho_{víz}$ = 1000 kg/m^3.

Elért eredmények

Tíz hibátlan megoldás született, 33 fő (48%) teljesítménye 50% feletti. Összesen ketten nem kaptak pontot erre a feladatmegoldásra. Az átlag 14 pont, 58%-os összteljesítményt jelent.

A javítóbizottság észrevételei

– Többen a megoldási útmutatótól eltérően, de frappáns, logikus, hibátlan megoldást adtak.

– Egy versenyző öt mérés átlagát vette, és így számolta helyesen az átlagtömeget és kapta a hibátlan végeredményt.

– Másik tanuló a hibátlan méréshez az elméleti hátteret is remekül kifejtette.

– A dolgozatok külalakja az elmúlt évekhez képest javult.

– Többen úgy tekintették, hogy a gyurma a vízben lebeg, szintén gyakori hiba volt a látszólagos tömeg elnevezés használata a magyarázat leírásakor.

– Sokan a gyurmánál tapasztalható felhajtóerőnyi súlycsökkenést akarták megmérni a mérlegen észlelt felhajtóerőnyi súlycsökkenés helyett.

– A pohár falán lévő bordázattal való térfogatmérés csak becslés lehet, rossz eredményre jutott a tanuló.

– Tipikus hiba az erő és a tömeg azonos fogalomként való kezelése. Ezen mennyiségek közé sokan egyenlőségjelet tettek.

– 10 N : 0,339 N = 29,49 g/cm^3

– Egy tanuló a víz tömegét úgy akarta megmérni, hogy a vizet közvetlenül a digitális mérleg lapjára öntötte, két részletben, mivel egyszerre nem fért rá. A mérleg természetesen tönkrement.

Számításos feladatok

A számításos feladatok témájának és nehézségének megválasztása – a tantervi óraszámok és a tárgyra fordítható egyéb időkeretek miatt – egyre nagyobb fejtörést okoz a Feladatkitűző Bizottságnak. Ugyanakkor egy országos verseny követelményszintjének üzenete van a következő időszak tanítási gyakorlatára és a további megmérettetésekre való felkészülésekre.

1. feladat (mechanika)

A gyors folyású Vizavize folyó egy egyenes szakasza mentén, egymástól 20 km távolságban található két kikötőváros, Felsőviza és Alsóviza, melyek között rendszeres hajójárat közlekedik. Két, Alsóvizán lakó jó barát, Péter és Pál egy napon játékos kísérletre szánja el magát: kipróbálják, hogyan lehet „palackpostát” küldeni egymásnak. Péter felszáll az Alsóvizáról induló, folyásiránnyal szemben, állandó nagyságú sebességgel haladó hajóra, és – ahogyan azt előzetesen Pállal megbeszélték – 20 percenként a vízbe dob egy-egy bedugaszolt üvegpalackot, benne a papírdarabkára írt üzenettel. Éppen a hatodik palackot dobja a folyó vizébe, amikor a hajó Felsővizára érkezik. Pál, aki Alsóvizán maradva sorra halássza ki a folyóból a palackokat, csodálkozva tapasztalja, hogy két palack érkezése között nem 20 perc, hanem 60 perc telik el! Miután azonban egy kicsit elgondolkodik, rájön a dolog nyitjára.

Ugye, neked is sikerült?

a) Mekkora – parthoz viszonyított – sebességgel tette meg a hajó a két kikötő közötti távolságot?

b) Mekkora – Felsőviza és Alsóviza között állandónak tekinthető – sebességgel áramlik a folyó vize?

Elért eredmények

A folyóvízen mozgó hajó és palackposta felkeltette a versenyzők érdeklődését. Az a) feladatrésszel csak néhány tanuló nem boldogult, körülbelül 90%-uk helyesen számolt. A feladatban szereplő jelenséggel kapcsolatban sokféle és igen kreatív ötlet született, amelyek a jó megoldáshoz vezettek. Jellemző volt a rendezett külalak, amely segítette a javítók munkáját, a megoldások értelmezését.

Az első számításos feladat bizonyult a legkevésbé sikeresnek, megoldottsága 53%. Hibátlanul dolgozott 12 versenyző, mindössze egy pontot veszítettek hárman, ketten egy pontot sem szereztek ezzel a feladattal. Jelentős azok aránya, akik csak az a) feladatrésszel boldogultak (18 fő, 26%), vagy a b) feladatrészhez épp hozzá tudtak fogni (19 fő, 27,5%).

A javító bizottság visszajelzései

– A b) feladatrészben a sebességértékek meghatározásánál több esetben nem volt egyértelmű, hogy mi volt a választott vonatkoztatási rendszer, valószínűleg ebből következett, hogy többen tévútra tértek.

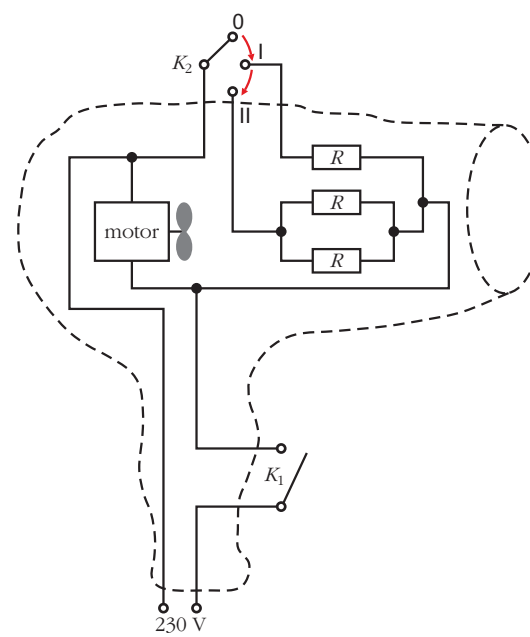
– A számolások során könnyebb lett volna tört alakú mérőszámokkal végezni a műveleteket, akik tizedes tört mérőszámokkal dolgoztak, olykor nem vették figyelembe a végtelen tizedes törtalakot, ebből pontatlanság is adódott.

2. feladat (elektromosságtan, hőtan)

A mellékelt [*2.*] *ábrán* egy 230 V-os hálózati feszültségről működő hajszárító vázlatos kapcsolási rajza látható. A K_1 főkapcsoló zárásával működésbe lép egy elektromotor (*M*), melynek tengelyére rögzített ventilátor másodpercenként 25 dm^3 szobahőmérsékletű (20 °C-os) levegőt áramoltat át a fűtőbetét fölött. A fűtőbetét három, krómnikkel huzalból tekercselt, egyenként R = 105,8 Ω ellenállású részből épül fel. A hajszárító által kifújt levegő hőmérsékletét a K_2 háromállású fokozatkapcsoló segítségével lehet beállítani. A kapcsoló 0 állásában szobahőmérsékletű („hideg”), az I, illetve II állásban pedig más-más hőmérsékletű meleg levegő áramlik ki a hajszárító fúvókáján.

a) Zárjuk a főkapcsolót. Mekkora a fűtőbetét által leadott teljesítmény, ha ezt követően a fokozatkapcsolót az I, illetve a II állásba billentjük?

2. ábra. A hajszárító kapcsolási rajza.



b) Feltételezve, hogy a fűtőbetét által leadott hőmennyiséget teljes egészében a felette átáramló levegő veszi át, becsüld meg, milyen hőmérsékletű levegőt fúj ki a hajszárító a fokozatkapcsoló I, illetve II állásában! A levegő fajhője 1000 J/kg átlagsűrűségét a vizsgált hőmérsékleti tartományban vegyük 1,1 kg/m^3-nek.

Elért eredmények

A verseny legjobb, 81%-os megoldottságú feladata lett ez a 28 pontos, hajszárítós, összetett probléma. Huszonhét fő hibátlanul oldotta meg az összetett feladatot, tizenkilencen maximum 3 pontot veszítettek. A versenyzők 81%-a az elérhető 28 pont legalább felét megszerezte. Négy versenyző nem szerzett pontot.

A javítóbizottság észrevételei

– Az a) feladatrész (elektromos) sokkal jobb eredményt hozott, mint a b) rész (hőtani). Itt is jellemző volt az áttekinthető munkavégzés.

– Hiba, hogy a teljesítményt energiaváltozásként használták.

– Sajnos sokan nem dolgoztak a mértékegységekkel, vagy nem egyeztették azokat.

– Előfordult, hogy keverték a fizikai mennyiségek és a mértékegységeik jeleit.

– A kapott eredményeket nem vetették össze a valósággal, így fordulhatott elő, hogy a hajszárító 3 millió °C-ra tudta felmelegíteni a levegőt.

– Sokan nem ismerik a helyes hibajavítás módját, így például satírozások is előfordultak.

Tesztek

Az Öveges-verseny feladatkitűzői régóta arra törekednek, hogy az alkalmazásra képes tudás hasznosítására építsenek. Ennek megfelelően a teszt kérdései a felismerésen túl, a megszerzett tudás alkalmazását is igényelték, így hasznosabb, igényesebb, de teljesíthető tudást várt el a versenyzőktől. Az akadályt jól vették a tanulók, a teszt a második legeredményesebb (72%) feladattípus volt. A változatosan összeállított feladatsornak különösen az elektromosság témaköréhez tartozó feladatai (2., 7., 10) voltak sikerek, körülbelül 80%-ban bizonyultak hibátlannak. Az indoklást kívánó feladatokból is az e témakörhöz tartozó feladat volt az eredményesebb, itt sokkal pontosabban használták a fogalmakat. A javítóbizottság észrevétele szerint a 12-es, indoklást igénylő, mechanikai témájú feladatnál jelentős különbségek adódtak a tanulók között, valószínűleg a középiskolában tanulók (a diákok kódszámmal versenyeznek, a javítók nem tudják, hogy a számhoz melyik versenyző tartozik) megfogalmazásban szerepelt a munkatétel, a mozgási energia fogalma, illetve a dinamika alapegyenletével és a kinematikai összefüggések alkalmazásával elkészített megoldás.

Az elérhető 47 pontból 9 versenyző (13%) szerzett legalább 40 pontot, 30 pontnál kevesebbet 16 versenyző (23%) ért el.

A javítóbizottság észrevételei

– A tanulók többségének ezen a területen is volt sikerélménye.

– Nem okozott hátrányt (kivéve a határon kívüli tanulókat) vagy előnyt a különböző tantervből és tankönyvből tanulás sem.

– A követelményszintet tehát jól sikerült beállítani.

Fizikatörténeti feladat

A korábbi évekhez képest jól sikerült a fizikatörténeti feladat megoldása. Ez is igazolja, hogy e feladattípusnak van helye a versenyen. Megfelelő mennyiségű és a tanulók életkori sajátosságaihoz igazodó színvonalú felkészülési anyagot sikerült ajánlani.

Egyetlen tanuló dolgozott hibátlanul, kettő egy pontveszteséggel.

A javítók nehezményezték, hogy a versenyzők Eötvös Loránd nevének helyesírását gyakran elvétették, valamint keverték Eötvös Józseffel.

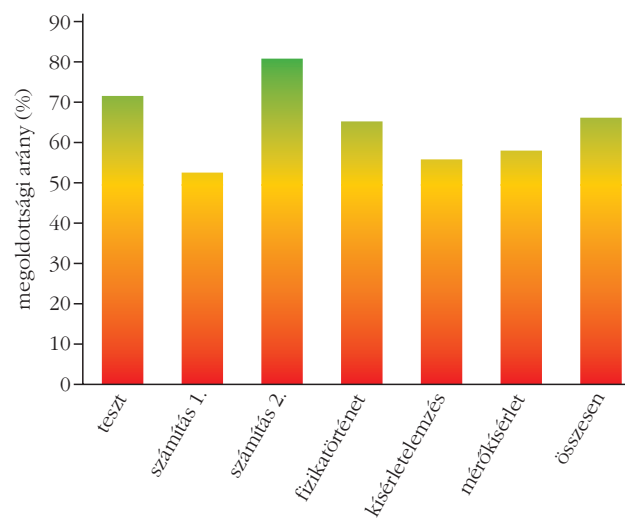
Összegzés

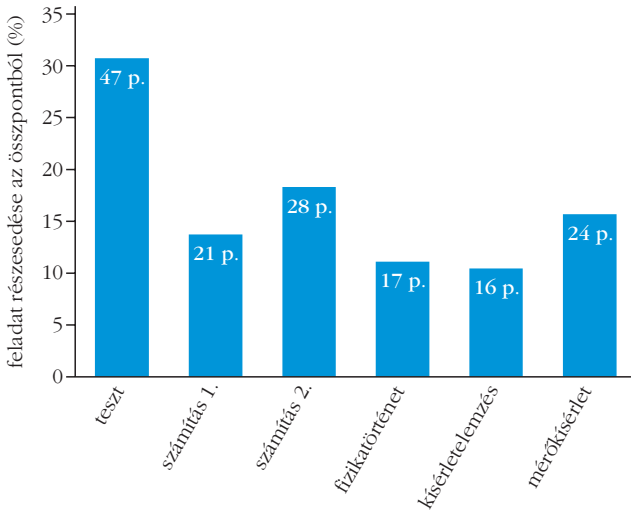
A verseny feladatainak teljesítményszintje alapján megállapítható, hogy főként sikerélményt nyújtó, ezáltal a tantárgyi attitűdöt javító feladatsorral találkoztak a döntő résztvevői. Fontos szempont, hogy egy ilyen komplex verseny feladatsorának bonyolultsága a reális tudást tükröző rangsor kialakítását segítse elő.

Ugyanakkor fizikaoktatásunk meghatározó része a kísérletezés, így érthető, hogy a mérőkísérlet és a kísérletelemzés összpontszáma adta a szerezhető pontok közel negyedét. Ezek megoldása a korábbiakhoz képest most gyengébb képet mutatott, a felkészülésnél célszerű nagyobb hangsúlyt fektetni e területre.

A versenyzők teljesítményének idei átlaga 66% volt, ez és a feladatokra lebontott eredmény látható a *3. ábrán*.

3. ábra. Az egyes feladatok és a teljes feladatsor átlagos megoldottsága.





4. ábra. Feladattípusok súlyának százalékos eloszlása.

Minden feladattípusban volt hibátlan munka, maximális pontszámú versenyző. A tesztben a leggyengébben teljesítő 21 pontot (45%) gyűjtött, a többi feladatnál – legtöbben a kísérletelemzésnél – nullapontosak is akadtak.

A mezőny remekül boldogult az összetett számítási feladattal, ennél a teszt megoldottsága csupán 9%-kal gyengébb, ez biztatóan jó. A nehezebbnek szánt 1. számításos feladat 53%-os átlagos megoldottsága a korábbi évek szintjéhez mérhető. A történeti teszt a korábbiakhoz képest jobban vizsgázott, eredményessége a 3. legjobb lett. A kísérletelemzéssel és a mérőkísérlettel a szerezhető pontszám alig több mint felét érték el a versenyzők.

A döntősök 91,3%-a 50% feletti teljesítményt nyújtott e nehéz megmérettetésen, és mindössze 8,7%-a nem érte el a szerezhető pontszám felét. A győztes 91,5%-os, hárman 87,6%-kal követik őt és a négy legjobb közül hárman az általános iskolai oktatásból kerültek a döntőbe, ahogy az abszolút győztes is.

Értékelés – általános megjegyzések

A Feladatkitűző Bizottság a 160 megszerezhető pont számát hagyományosan úgy állapította meg, hogy a holtverseny valószínűsége minél kisebb legyen, és így a rangsor megállapítása egyértelmű lehessen.

A különböző tevékenységet igénylő feladattípusok súlyarányának beállítása a teljes versenyanyagban arra irányult, hogy az minél jobban leképezze a reálisan feldolgozható tananyagot. A feladatkitűzők egyik célja az volt, hogy az általános iskolás tananyag minél nagyobb részét fedjék le a tesztkérdések és mérjék a versenyzők alkalmazásra érett tudását is.

A verseny során két teszt megfogalmazásában pontatlanságot fedeztek fel a kollégák, ezért a versenybizottság a zsűri elnökének javaslatára a teszt 4. és 5. feladatát törölte, ezzel 7 ponttal csökkentette a szerezhető pontszámot, így lett a teszt 47 pontos, a feladatsor 153 összpontszámú. A szerezhető 153 pont 31%-át, 47 pontot a teszt adta. A két számításos feladat – 49 pont, az összpontszám 32%-a – együtt ért körülbelül annyi pontot, mint a teszt. Nem mondhatunk le az általános iskolás korúak fizikaoktatásában a kísérletezés meghatározó szerepéről, ezért képviseli a mérőkísérleti és a kísérletelemzési feladat együttes 40 pontja a szerezhetők negyedét (*4. ábra*).

A különféle feladatok megoldásának időrendje az egyes versenyzőcsoportok esetén váltakozott, forgószínpadszerűen bonyolódott.

Díjazottak

Abszolút I. helyezett

Radvánszki Ferenc, a budapesti Áldás utcai Általános Iskola tanulója 140 ponttal (*5. ábra*), felkészítő tanára *Rudolf Tamásné*. Az abszolút I. helyezettet illető Üveges József érmeket – névre szóló vésetés után – a győztes tanuló és felkészítő tanára iskolájuk tanévzáró ünnepségén vehették át.

Az abszolút első helyezett és felkészítő tanára a Magyar Innovációs Szövetség díját, harminc-, illetve húszezer forint pénzjutalmat, valamint az okleveleket *Budavári László* regionális igazgatótól vehették át. A Femtonics Kft. díját *Takács Mirtill* marketingigazgató adta át.

Általános iskolások kategóriája

I. díjat nyert

Bertalan Dániel, a veszprémi Szilágyi Erzsébet Keresztény Általános és Alapfokú Művészeti Iskola diákja – felkészítő tanára: *Hartmann-né Nagy Éva* –, aki a Pannon Egyetem Mérnöki Karának különdíját, 5 napos részvételt a Pannon Egyetem táborában, is átvette *Szalai István Károly* dékán úrtól.

Szabó Milán Bogdán, a budapesti Bornemissza Péter Gimnázium, Általános Iskola, Alapfokú Művészeti Iskola tanulója – felkészítő tanára: *Réthelyi Judit* –, aki egyben a Härtlein Károly által felajánlott díjban, részvétel a BME gyermekegyetemi programján, is részesült.

5. ábra. Radvánszki Ferenc, aki fölényesen nyerte a versenyt.

II. díjat nyert

Kovács Balázs Csaba, a hatvani Kossuth Lajos Általános Iskola diákja, felkészítő tanára *Kádár Emese,*

Juhász Márk, a kecskeméti Református Általános Iskola tanulója, felkészítő tanára *Gyömbér Csaba,*

Kinyó András, a Szegedi Tudományegyetem Gyakorló Gimnázium és Általános Iskola diákja, felkészítő tanára: *Kormányosné Horváth Ivett.*

III. díjat nyert

Turányi Vilmos, a siófoki Beszédes József Általános Iskola tanulója, felkészítő tanára: *Varga Zoltán.*

Gimnazisták kategóriája

I. díjat nyert

Tóth Ambrus, a Fazekas Mihály Fővárosi Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium tanulója, felkészítő tanára *Csefkó Zoltán.* Ambrus a Härtlein Károly által felajánlott díjban – részvétel a BME gyermekegyetemi programján – is részesült.

II. díjat nyert

Szőke-Brandt Áron, a budapesti Piarista Gimnázium tanulója, felkészítő tanára: *Chikán Éva,*

Moré Áron, a dunakeszi Radnóti Miklós Gimnázium diákja, felkészítő tanára: *Horváth Henrietta,*

Csordás Kevin, a bajai III. Béla Gimnázium tanulója, felkészítő tanára: *Lakner Attila.*

III. díjat nyert

Kun Timon, a budapesti Békásmegyeri Veres Péter Gimnázium diákja, felkészítő tanára: *Erdősi Katalin,*

Polgár Sándor, a budapesti Városmajori Gimnázium és Kós Károly Általános Iskola tanulója, felkészítő tanára: *Jäger Csaba,*

Molnár Anna, a budapesti Városmajori Gimnázium és Kós Károly Általános Iskola tanulója, felkészítő tanára: Jäger Csaba,

Narozsnyi István, a budapesti Szent István Gimnázium diákja, felkészítő tanára: *Szatmáry-Bajkó Ildikó,*

Koszta Benedek, a szegedi Radnóti Miklós Kísérleti Gimnázium tanulója, felkészítő tanára: *Somogyi Anikó,*

Osváth Klára, a budapesti Baár-Madas Református Gimnázium és Általános Iskola és Kollégium diákja, felkészítő tanára: Horváth Norbert,

Fekete Richárd, a debreceni Fazekas Mihály Gimnázium tanulója, felkészítő tanára: *Türk Zsuzsanna.*

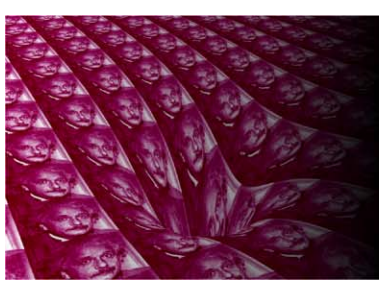
Az országos döntőre érkezéskor minden versenyző leadta azt a pár mondatos bemutatkozó levelet, amelyre az eredményhirdetéskor szükség lehet. Az első díjasok bemutatkozása során – felolvasás vagy rögtönzés révén – több információt kaptunk életükről, hobbijukról, terveikről.

Akik nélkül nem lenne verseny

Köszönet a résztvevő diákoknak és a rendezés alábbi főszereplőinek, *Slezsák Zsolt, Slezsákné Horváth Katalin, Szeidemann Ákos, Győri István,* Härtlein Károly, *Molnár László,* Pál Zoltán és *Varga István* feladatkitűzőknek; Hadházy Tibor, *Halász Tibor, Juhász Nándor, Juhász Nándorné, Kovács László, Sós Katalin* lektoroknak; *Pőheim Judit* és *Szabó Miklós* győri főszervezőknek; az online-rendszer működtetőjének, *Reszegi Miklósnak;* a 2. forduló lebonyolításában – név szerint fel nem sorolt – közreműködőknek; Juhász Nándornak, Juhász Nándornénak, Pál Zoltánnak, Varga Istvánnak, a 2. forduló javítóinak; az országos döntő versenybizottsági elnökének, Sós Katalinnak, az SZTE-JGYPK Általános és Környezetfizikai Tanszék docensének; az országos döntő zsűrije elnökének, Hadházy Tibor nyugalmazott főiskolai tanárnak és *Kiss Gyulának,* a verseny társelnökének; a győri szervező kollégáknak; az országos döntő javítóinak.

2018-ban már 15. éve ad otthont a versenynek a győri Kazinczy Ferenc Gimnázium. Köszönet *Németh Tibor* igazgató úrnak és helyettesének, *Poócza Józsefnek.*

Köszönjük az alábbi intézmények, vállalkozások támogatását, akik segítsége nélkül rendezvényünk nem valósulhatott volna meg: Emberi Erőforrások Minisztériuma, Nemzeti Tehetség Program, Emberi Erőforrás Támogatáskezelő, Magyar Innovációs Szövetség, Győri Tankerületi Központ, győri Révai Miklós Gimnázium, *Csákány Anikó,* Pencom Kft., Karcagi Ipari Park Kft., National Instruments Hungary Kft., Mozaik Kiadó, Duna Takarék Bank Zrt., Almus Pater Taneszköz Kft., Eötvös Loránd Geofizikai Alapítvány, *Székely István* Infogroup, Balázs-Diák Kft., Győrlakk Festékgyártó Kft., Győr Plusz Média, „Emelj fel emlék" Alapítvány, győri Czuczor Gergely Gimnázium, Coop Győr Zrt., Tourinform Győr, Széchenyi István Egyetem, *Méhész János,* Femtonics Kft. és Két-foton Képalkotó Központ, Pannon Egyetem Mérnöki Kar, Magyar Tehetséggondozó Társaság, *Kovács Sándor* országgyűlési képviselő és Mobilis Interaktív Kiállítási Központ.

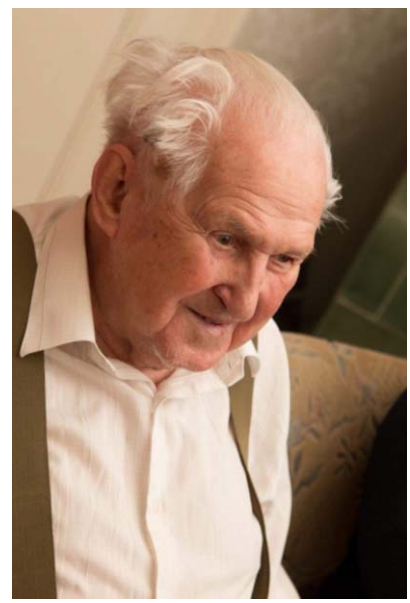


A szerkesztőbizottság fizika tanításáért felelős tagjai kérik mindazokat, akik a fizika vonzóbbá tétele, a tanítás eredményességének fokozása érdekében új módszerekkel, elképzelésekkel próbálkoznak, hogy ezeket osszák meg a Fizikai Szemle hasábjain az olvasókkal!

DOMBI JÓZSEF (1920–2019)

Egy hónappal 99. születésnapja előtt 2019. január 6-án elhunyt *Dombi József,* az SZTE TTIK Optikai és Kvantumelektronikai Tanszékének címzetes egyetemi tanára, a „tanárok tanára". Több mint 70 éven át, magas színvonalon oktatott a Szegedi Egyetem fizikai tanszékein, úttörő munkát végzett a molekulárisluminesz-cencia-kutatásokban. Minden területen önmagával, munkatársaival és hallgatóival szemben is maximális követelményeket állított és teljesített.

Sosem okozott gondot neki, hogy szót értsen a tanítványokkal, akiktől egyre nagyobb korkülönbség választotta el. Országszerte szeretettel emlékeznek óráira hajdani tanítványai matematika-fizika szakos tanár-, gyógyszerész-, vegyészhallgatók stb. A szigorú szakmai követelmények mellett a tananyagon kívül többet, mást is adott, irodalom, történelem, zene, latin közmondások színesítették előadásait.



Dombi József 1920-ban született a Zala megyei Nagylengyelben. 1938-ban érettségizett Zalaegerszegen. Ugyanabban az évben fölvették a m. kir. Ferencz József Tudományegyetem Matematikai és Természettudományi Karára és az Eötvös Loránd kollégiumba. A kollégium diákjaitól extra teljesítményeket vártak, amelyeket Dombi József maximálisan teljesített. Már hallgató korában több egyetemi tanszéken kutatott, oktatott, *Gombás Pál,* később *Fröblich Pál* professzorok hívták dolgozni a Kísérleti Fizikai Intézetbe. Tanulmányait 1942-ben fejezte be a m. kir. Horthy Miklós Tudományegyetemen. Az egyetemi évek alatt és után középiskolákban (Szeged, Kaposvár, Paks) tanított matematikát és fizikát. Majd 1944 októberétől 1946 októberéig Németországban amerikai fogságban volt.

1950-ben került a Szegedi Tudományegyetem *Budó Ágoston* által vezetett Kísérleti Fizikai Intézetébe, ahol 1989-ig dolgozott. A háborús évek okozta nehézségek miatt az egyetemi oktatás kellő színvonalra való emelése, továbbá a kutatómunka megszervezése, a kutatólaboratóriumok megfelelő felszerelése voltak az első feladatok. A tanszék kitartó munkájának sikerét jelentette, hogy mind az oktatás, mind a kutatás terén eredmények koronázták a sok fáradozást, kiemelkedően fontos munkát vállalt ebben tanszékvezető-helyettesként Dombi József.

Budó Ágoston vezetésével a molekuláris luminesz-cencia és ezen belül az oldatok abszorpciós és fluoreszcenciaspektrumaira vonatkozó kutatásokat végeztek saját építésű mérőberendezéseken. Nemzetközileg is jegyzett eredményeket értek el. Szeged luminesz-cenciaiskolának számított. Igen jó volt az együttműködés a Budapesten hasonló kutatásokat végző kollégákkal. A témában elért magyar eredmények nemzetközi elismerését mutatja, hogy 1966-ban az I. Nemzetközi Lumineszcencia Konferenciát Budapesten rendezték meg. Munkatársaival többek között az oldatok lumineszcenciás tulajdonságainak hőmérséklet- és koncentrációfüggését tanulmányozták. A hetvenes években indították el a Szegedi Lumineszcenciás Konferenciák sorozatát.

1950-ben egyetemi doktori címet, majd 1968-ban *Lumineszkáló oldatokban lejátszódó energiaátadási folyamatokról* című kandidátusi értekezését megvédve a fizikai tudomány kandidátusa fokozatot kapott. Ebben az évben egyetemi docenssé nevezték ki.

Budó Ágoston korai halála után *Ketskeméty István* vezetésével tért át a Kísérleti Fizikai Tanszék a spontán fénykibocsátás vizsgálatáról a kényszerített fénykibocsátás – a lézerek – vizsgálatára. Dombi József hosszú ideig maga is részt vett a kutatásokban. 1985-ben ment nyugdíjba, de 2016-ig folyamatosan, napi rendszerességgel dolgozott a fizika oktatása érdekében. 1989. június 1-jétől, az akkor *Bor Zsolt* vezetésével megalakult Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék dolgozója, majd címzetes egyetemi tanára lett.

1950-től tartott előadásokat biológus, vegyész, gyógyszerész, fizikus és fizikatanár szakos hallgatóknak. Budó Ágoston 1969-ben bekövetkezett halála után pedig 17 éven keresztül a II. éves (elektromosságtan, fénytan, atomfizika) főkollégium előadója volt. Több egyetemi tankönyv, jegyzet szerzője.

A Budapesten (1949) létrehozott Eötvös Loránd Fizikai Társulat, szegedi csoportja 1950-ben alakult, amelynek alapító tagja volt. Több előadást tartott a Társulat Vándorgyűlésein.

Dombi József az SZTE TTIK-n az arany-, gyémánt-, vas- és a rubindiploma után 2018-ban megkapta a gránitdiplomát. Kitüntetései: József Attila emlékérem (1975), Felsőoktatás kiváló dolgozója (1985), József Attila-emlékplakett (1986), Felsőoktatásért Emlékplakett (1998), Szegedért Emlékérem (2010), Marx György Felsőoktatási díj (2016), Magyar Érdemrend Tiszti keresztje (2017).

Halálával egy nagy tanáregyéniségét veszítette el a magyar fizikustársadalom és a Szegedi Tudományegyetem. Dombi Józsefet a Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kara és a Fizikai Intézet saját halottjának tekinti.

KITÜNTETÉSEK MÁRCIUS 15. ALKALMÁBÓL

A magyar fizikusok, a magyar fizikai kutatás előmozdításában, az élenjáró kutatás fejlesztésében dolgozó szakemberek közül alábbi kollégáink tevékenységét ismerték el nemzeti ünnepünk alkalmából magas állami kitüntetésekkel. A magyar fizikustársadalom nevében gratulálunk a díjazottaknak.

Széchenyi-díj

Kiss L. László, a Magyar Tudományos Akadémia levelező tagja, a Magyar Tudományos Akadémia Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpontjának főigazgatója a pulzáló csillagok, exobolygók és kis égitestek asztrofizikájában elért, világszerte elismert kiemelkedő eredményei, valamint a Piszkéstetői Obszervatórium műszerparkjának felújításában végzett munkája, továbbá nagy hatású oktatói és tudománynépszerűsítő tevékenysége elismeréseként részesült a díjban.

Magyar Érdemrend középkeresztje a csillaggal polgári tagozat

Gyulai József Széchenyi-díjas fizikus, a Magyar Tudományos Akadémia rendes tagja, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Kar Elektronikus Eszközök Tanszékének professzor emeritusa és a Magyar Tudományos Akadémia Energiatudományi Kutatóközpont Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézetének tanácsadója a hazai anyagtudomány, főként a mikro- és nanoszerkezetű félvezető anyagok kutatása területén elért, nemzetközileg is kiemelkedő tudományos eredményei, a fiatalabb generációk tudományos kibontakozását segítő egyetemi oktatói munkája, valamint jelentős tudományszervező tevékenysége és

Gerard Albert Louis Mourou Nobel-díjas fizikus, az International Center for Zetta-Exawatt Science and Technology igazgatója, az Haut College de l'Ecole Polytechnique tagja és professzora, a lézerfizika egyik legelismertebb szaktekintélye az ultragyors lézeres tudományok területén folytatott magyarországi kutatások és fejlesztések világszínvonalra emelése érdekében végzett magas színvonalú, példaértékű munkája elismeréseként vehette át a díjat.

Magyar Érdemrend középkeresztje polgári tagozat

Bársony István Széchenyi-díjas villamosmérnök, a Magyar Tudományos Akadémia rendes tagja, a Magyar Tudományos Akadémia Energiatudományi Kutatóközpont Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézetének kutatóprofesszora a funkcionális anyagok kutatása és innovatív mérnöki alkalmazása területén végzett, nemzetközi szinten is kiemelkedő munkája, valamint tudományterülete kapcsolatainak szervezésében, illetve a mérnöki-kutatói utánpótlás nevelésében elért sikereivel érdemelte ki a kitüntetést.

Magyar Érdemrend tisztikeresztje polgári tagozat

Groma István, a Magyar Tudományos Akadémia doktora, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar Fizikai Intézet Anyagfizikai Tanszékének tanszékvezető egyetemi tanára és

Paparó Margit, a Magyar Tudományos Akadémia doktora, a Magyar Tudományos Akadémia Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpontja Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézetének kutatóprofesszor emeritája, nyugalmazott tudományos tanácsadója kapta e magas elismerést.

Magyar Arany Érdemkereszt polgári tagozat

Rakovics Vilmos, a Magyar Tudományos Akadémia Energiatudományi Kutatóközpont Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézete Mikrorendszerek Laboratóriumának tudományos főmunkatársa, valamint

Varga Dezső, a Magyar Tudományos Akadémia Wigner Fizikai Kutatóközpont Részecske- és Magfizikai Intézet Nagyenergiás Fizikai Osztálya MTA Lendület Innovatív Detektorfejlesztő Kutatócsoportjának vezetője, tudományos munkatársa érdemelte ki a kitüntetést.

Prometheus-díj

Hargitai Tibor, a KFKI Atomenergiai Kutatóintézet, Budapesti Kutatóreaktor nyugalmazott vezetője részesült az elismerésben.

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 főtitkár, felelős szerkesztő Lendvai János főszerkesztő.
Kéziratokat nem őrzünk meg és nem küldünk vissza. A szerzőknek tiszteletpéldányt küldünk.
Nyomdai előkészítés: Kármán Stúdió, nyomdai munkálatok: OOK-PRESS Kft., felelős vezető: Szathmáry Attila ügyvezető igazgató.
Terjeszti az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, előfizethető a Társulatnál vagy postautalványon a 10200830-32310274-00000000 számú egyszámlán.
Megjelenik havonta (nyáron duplaszámmal), egyes szám ára: 900.- Ft (duplaszámé 1800.- Ft) + postaköltség.
HU ISSN 0015–3257 (nyomtatott) és **HU ISSN 1588–0540** (online)

NEM KELL HŐSNEK LENNED!
MARADJ A FIZIKA BARÁTJA!

SZÁMÍTUNK RÁD,

támogasd jövedelemadód
EGY százalékával
az Eötvös Loránd Fizikai Társulatot!
Adószámunk: 19815644-2-43

Társulatunk működési biztonsága az intézményes szponzorálás fokozódó bizonytalansága miatt egyre nagyobb mértékben függ tagjaink anyagi támogatásától. Egyik legfőbb szponzorunk – támogatási rendszerének teljes revíziója miatt – már 2018-ban sem hagyta jóvá Társulatunk támogatását, és sajnos a jövő sem biztató. Hisszük, hogy minden tagunk már rendezte éves tagdíját. Sokan szerény mértékben túl is fizetik annak összegét. Bizonyára lesznek még, akik néhány ezer forint többletet is felajánlanak ügyünknek.

Az önkéntes adományokat az **10200830-32310274-00000000** számlaszámon fogadjuk.

KON-TRADE KFT. 2040 Budaörs, Gyár u. 2.
Telefon: +36 (23) 503-880 • Fax: +36 (23) 503-896 • Email: info@kon-trade.hu

KON TRADE

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

FONTOS HÍREK

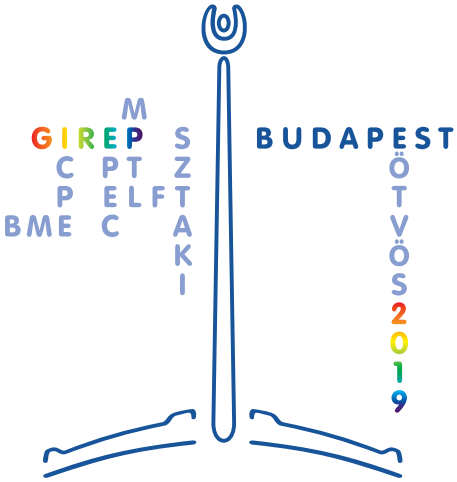
A résztvevők – a támogató intézményeknek köszönhetően – térítésmentes, különbuszos, angol nyelvű szakmai kirándulásokon vehetnek részt.

A látogatások helyszínei:

- Paksi Atomerőmű, Paks (http://www.atomeromu.hu)
- Nemzeti Radioaktívhulladék Tároló, Bátaapáti (http://www.rhk.hu)
- ELI-ALPS Kutatóközpont, Szeged (https://www.eli-hu.hu)
- MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont (https://wigner.mta.hu) és MTA Energiatudományi Kutatóközpont (https://energia.mta.hu), Budapest
- BME Oktatóreaktor (http://www.reak.bme.hu) és MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet (https://www.sztaki.hu), Budapest

A szakmai látogatásokkal kapcsolatos további információk a következő linken érhetők el: https://girep2019.hu/scientific-programme/scientific-visits

Kísérjék figyelemmel a konferencia folyamatosan frissülő weblapját!



ISSN 0015325-7

Emberi Erőforrások Minisztériuma

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

Műegyetem 1782

Részletes információk: https://girep2019.hu