

fizikai szemle

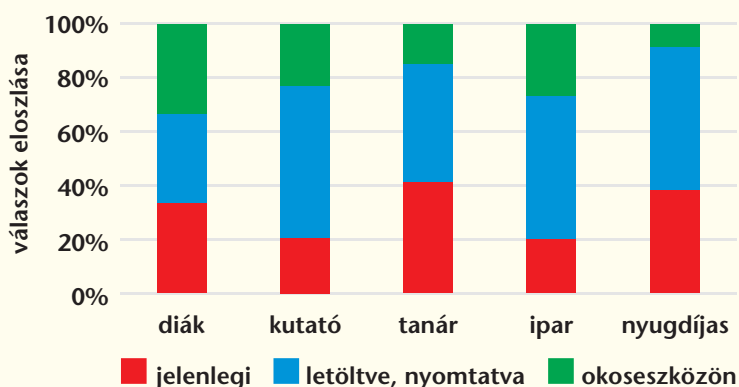


2016/10

A Fizikai Szemle elektronikus megjelenéséről

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat vezetése nem először foglalkozik a *Fizikai Szemle* jövőjével (lásd *Fizikai Szemle* 2016/2). A jelen probléma kettős indíttatású. Nem kell részleteznem, hogy egy folyóirat elektronikus kiadásának vannak előnyei: színes megjelenés, új formátumú illusztrációk, a terjesztés egyszerűsége. Ugyanakkor én is mindig megörülök, amikor kézbe vehetem a *Szemle* legújabb számát, annak ellenére, hogy – főtitkárként – a műszaki szerkesztő jóvoltából elektronikusan hamarabb is látom. De azt is tudom, hogy a fizikai előállítás és a terjesztés költséges, és mindig elgondolkozom, hogy jól csináljuk-e? Kutatóként már hozzászóltam, hogy a könyvtárat elektronikus úton használom, az általam elolvasni kívánt cikkeket letöltöm, esetleg ki is nyomtatom. Ezért az elnökség határozata alapján kíváncsian vállaltam egy elektronikus kérdőív összeállítását, amelyben arra a kérdésre kerestük a választ: mennyire kívánatos a *Fizikai Szemle* előállítása papíron? A felmérés 2016. február 29-én zárult.

A válaszadókat foglalkozásuk és munkahelyük alapján 5 kategóriába soroltuk: tanár, kutató, iparban dolgozó, nyugdíjas és diák. A felmérés alapján a legtöbben, 146-an elektronikusan, míg 63-an jelenlegi formájában olvasnák legszívesebben a *Szemlét*. Az elektronikus olvasásban megkülönböztettük azokat, akik okoseszközön, illetve letöltve/kinyomtatva olvasnák a *Szemlét*. Az eredményeket az ábrán foglaltam össze. A felmérésben résztvevők többsége a *Fizikai Szemle* elektronikus megjelenését javasolta, ugyanakkor a Társulat tagságának sajnos csak mintegy harmada vett részt a szavazáson.



A fenti felmérés alapján szeretnénk bevezetni, hogy azok, akik kedvenc folyóiratukat elektronikusan kívánják olvasni, ezt megtehessek úgy, hogy ezáltal – a Társulat számára – csökkentsék a terjesztés és az előállítás költségeit.

Megkérjük minden tagunkat/előfizetőnket, hogy a 356. oldalon található és onnan ki is vágható kérdőíven legkésőbb 2016. november 15-ig nyilatkozzon, hogy 2017. január 1-jét követően milyen formában szeretné megkapni a *Fizikai Szemlét*. Az elnökség fenntartja magának a jogot, hogy azon tagtársainknak, akik nem nyilatkoznak, kijelölje a terjesztés módját.

A *Fizikai Szemle* elektronikus megjelenésének formáját egyelőre az előző évekhez hasonlóan tervezzük, a régebbi számok megtalálhatók a folyóirat honlapján: <http://fizikaiszemle.hu>. Bízunk abban, hogy a *Fizikai Szemle* még hosszú időn keresztül szolgálja az Eötvös Loránd Fizikai Társulat tagjait, előfizetőit és rajtuk keresztül a magyar társadalmat.

Kérjük, hogy nyilatkozatát 2016. november 15-ig

- beszkenelve, **e-mailben**, „Fizikai Szemle nyilatkozat” megjelöléssel az elft@elft.hu címre, **vagy**
- a nyilatkozat eredeti példányát **postai úton** az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, 1092 Budapest, Ráday u. 18. fszt. 3. címére **küldje el**.

Újfalussy Balázs
az ELFT főtitkára

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:
Szatmáry Zoltán

Szerkesztőbizottság:
Bencze Gyula, Czitrovszky Aladár, Faigel Gyula, Füstöss László, Gyulai József, Horváth Dezső, Horváth Gábor, Iglói Ferenc, Kiss Ádám, Németh Judit, Ormos Pál, Papp Katalin, Simon Péter, Sükösd Csaba, Szabados László, Szabó Gábor, Trócsányi Zoltán, Ujvári Sándor

Szerkesztő:
Lendvai János

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:

Balról jobbra Szalai Sándor, Baksa Attila és előtűk Balázs András, a 67P/Churyumov–Gerasimenko üstökösre leszálló Philae hibatűrő központi számítógépének magyar fejlesztői a Rosetta integrálásánál az ESTEC-ben.

Szalai Sándor: A Rosetta–Philae sikere magyarok részvételével 322
Mivel járultak hozzá magyar kutatók és mérnökök a Naprendszer és az élet keletkezésének megfejtését kutató űrmisszió sikeréhez

Bognár Gergely: Értelmes-e az antropikus kérdés? 327
Visszafelé bató okokról, párbuzamos univerzumokról, mindent leíró elméletekről olvashatunk az akár vitára is készített írásban

Király Márton, Radnóti Katalin: Az atomerőművek működéséről 331
egyszerűen, típusaik és jövőjük – 1. rész
A cikk a tanításban is alkalmazható módon dolgozza fel az atomenergia jelenében és jövőjében felmerülő kérdéseket

IN MEMORIAM...

Radnai Gyula: Centenárium megemlékezések, 2016 – 3. rész 336
– Nobel-díjas szovjet-orosz fizikusok
A száz éve született A. M. Prohorov és V. L. Ginzburg életútja

A FIZIKA TANÍTÁSA

Horváth Gábor, Szferle Tamás, Nagy-Czirok Lászlóné Kiszi Magdolna, 340
Gudmon Olivér, Nagy Norbert: A talajról köszörülve visszapattanó labda mechanikája – 1. rész
Mikor pattan föl a labda függőlegesen vagy vissza az eldobó kezébe?
Egy számos labdajátékban megfigyelhető jelenség tudományos igényű elemzése

Stonawski Tamás: A teázás termodinamikája 347
Termodinamikai elemzés és kísérletezés az optimális teáscsésze megkonstruálására

Simon Gyula: Érdekes mérések az elektromágnesség köréből 352
A myDAQ-pályázat győztes versenyműve

PÁLYÁZATOK

Találd fel magad! 356
– 26. Ifjúsági Tudományos és Innovációs Tehetségkutató Verseny

S. Szalai: Hungarian contributions to the success of the Rosetta mission
G. Bognár: Makes the Anthropic Principle sense?
M. Király, K. Radnóti: Types and future of nuclear power plants – Part 1

IN MEMORIAM...

Gy. Radnai: Centenary commemorations 2016 – Part 3
Nobel prize winning Soviet-Russian physicists born 100 years ago

TEACHING PHYSICS

G. Horváth, T. Szferle, M. Nagy-Czirok Kiszi, O. Gudmon, N. Nagy: Mechanics of the slipping rebounding ball – Part 1
T. Stonawski: Thermodynamics of tea drinking
Gy. Simon: Interesting measurements in the topic of electromagnetism

COMPETITION



A ROSETTA–PHILAE SIKERE MAGYAROK RÉSZVÉTELÉVEL

Szalai Sándor
Wigner FK

Az Európai Űrügynökség (ESA) június 1–3. között Budapesten rendezte a Rosetta–Philae űstökös-kutató űrmisszió záró konferenciáját. A fejlesztésben részt vevő MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont, MTA Energiatudományi Kutatóközpont (EK), Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, valamint az SGF Technológia Fejlesztő Kft. űrkutatói és mérnökei munkájának ez komoly elismerése. Magyarok fejlesztették a leszállóegység két létfonosságú részét: a központi számítógépet és a tápellátó rendszert. A konferencia Európa számos országából érkezett mintegy 80 résztvevővel, sűrű programmal, sok tudományos és technikai jellegű előadással sikeresen lezajlott. A kutatók és a fedélzeti műszerek, valamint szolgálati alrendszerek készítői részletesen beszámoltak a Naprendszer- és űstökös-kutatásban elért új tudományos eredményekről és a technikai-technológiai jellegű sikerekről is. A konferencia a tanulságokat összefoglaló *Lessons learnt* szekciójában elhangzott előadások a tapasztalatok levonásán túl jövőben alkalmazható javaslatokat is ismertettek.

A Rosetta–Philae leszállóegység jelentős sikerét jelzi, hogy a Nemzetközi Asztronautikai Akadémia (IAA) *Laurels for Team Achievement* díját 2016-ban a leszállóegység nagy létszámú „csapata” kapta, amelyvel a nagyszámú kutató és fejlesztőmérnök több éves munkáját ismerték el. Az átadó ünnepséget Bonnban, a német DLR űrügynökség központjában tartották február 23-án, ahol a magyar fejlesztőket *Balázs András* képviselte, aki a Philae leszállóegység hibátűrő központi számítógépének (CDMS) fejlesztését vezette. A díjátadás alkalmából az IAA elnöke, valamint a DLR vezetői méltatták a misszió sikereit. A DLR korábbi vezetője a projekt nemzetközi jellegét aláhúzva beszédében külön megemlítette, hogy a leszállóegység igen bonyolult feladatot ellátó vezérlő szoftverét Magyarországon fejlesztették még azelőtt, hogy az ország az ESA teljes jogú tagja lett volna. A március 15-i nemzeti ünnep alkalmával Magyarország köztársasági elnöke megosztott Széchenyi-díjat adományozott az űrkutatás világtörténetében egyedülálló magyar mérnöki teljesítményért, a leszállóegység műszerei elkészítése során végzett kiemelkedő munkájuk elismeré-

seként *Apáthy Istvánnak*, *Balázs Andrásnak* és *Bánfalvi Antalnak*.

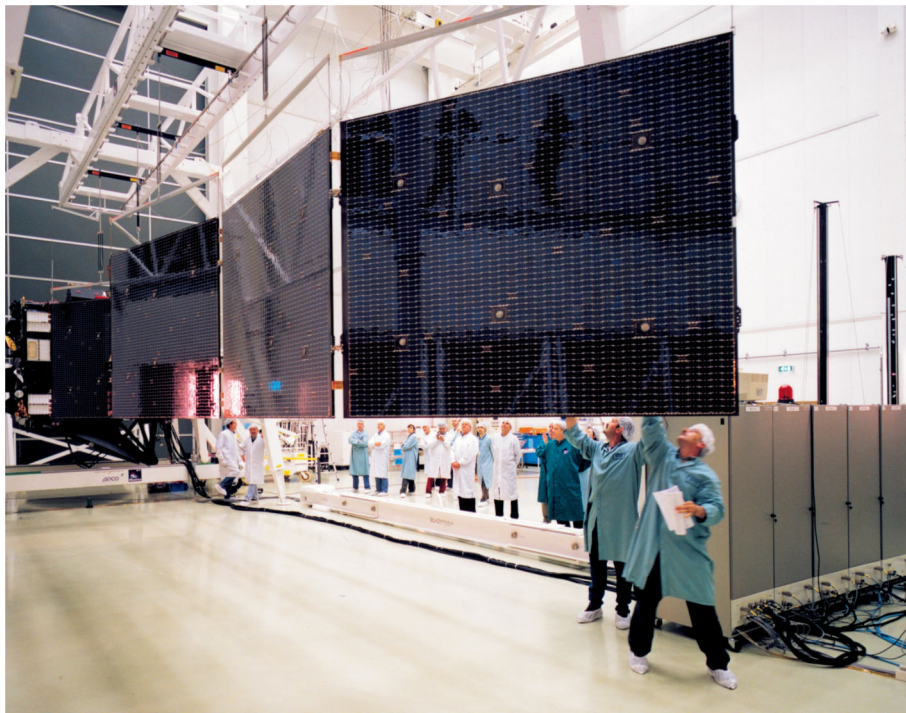
A Rosetta misszió a nevét a rosette-i kőről kapta, amely három nyelven tartalmaz azonos feliratot (egyiptomi démotikus írással, ógörög nyelven és egyiptomi hieroglifákkal). A Philae a Nílus szigete az asszuáni gát fölött, Egyiptomban. A ma Angliában található philae-i obeliszok oldalán szintén hieroglif és démotikus írással egyiptomi és ógörög nyelvű felirat található. A hieroglif írást megfejtő francia *Champollion* a rosette-i kő és a philaei obeliszok feliratait együtt tanulmányozva találta meg a megoldást, mindkét szövegben – hieroglifákkal írva – meglelte *Ptolemaiosz* király és *Kleopátra* királynő nevét. Ezáltal a két lelet a hieroglifák megfejtésének a kulcsa lett. Maga a rosette-i kő 1802 óta a londoni British Museumban található, a Philae szigeti obeliszok pedig szintén Angliában van, felfedezője szállította Kingston Lacy-ba. Az űstökös-kutató misszió a Naprendszer és az élet keletkezésének megfejtéséhez adhat kulcsot, ezért kapták az űrszondák nevüket e két egyiptomi leletről.

A leszállóegység „agyát”, a működését irányító számítógépet (Command és Data Management System – CDMS) a Wigner FK és az SGF Kft. fejlesztette.

A Rosetta és a Philae szondák összeszerelése az ESA technikai központjában (ESTEC) (forrás ESA).



Szalai Sándor a műszaki tudomány doktora, a Wigner FK kutató professor emeritusa. 1980 óta űrkutatási műszerek fejlesztője, főbb munkái: a Halley-űstökös VEGA szondáinak képfelvévő és követő rendszere, a Phobosz és Mars-96 több műszere, a NASA Szaturnusz kutató Cassini szonda két műszere, az ESA MarsExpress, VénuszExpress és Rosetta szondák több műszere, jelenleg a BepiColombo és JUICE szondák plazmafizikai műszerei. Kitüntetései: Állami Díj (1986), NASA (1998) és ESA oklevél (2004, 2009).



Az egyik 32 m² felületű napelemtábla nyitásának ellenőrzése az ESTEC-ben (forrás ESA).

és a ROMAP műszeregyüttes SPM plazmadetektora.

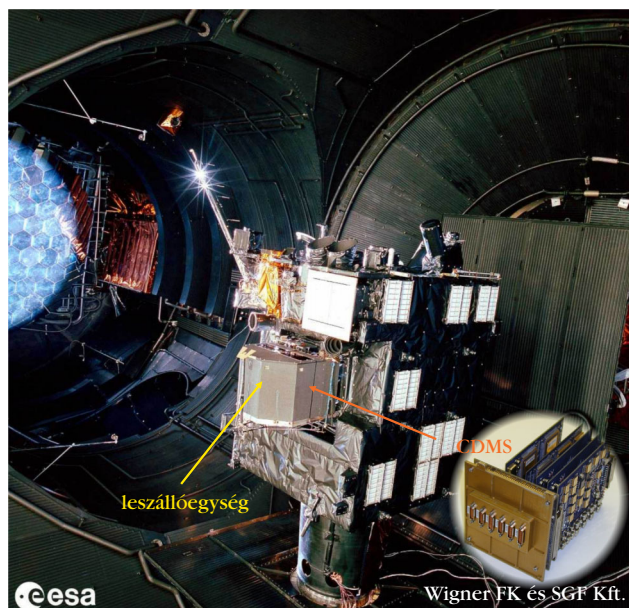
A már összeszerelt szonda 2003. január 11-re tervezett indítását az Ariane hordozórakéta műszaki bizonytalanságai miatt elhalasztották. Emiatt az eredetileg tervezett Wirtanen-üstökös helyett új célpontot kellett keresni. A 67P/Churyumov–Gerasimenko (továbbiakban 67P) üstökösre esett a választás. Az új célpontot a Hubble-űrteleszkóppal alaposan tanulmányozta egy háromtagú kutatócsoport, melynek egyik tagja *Tóth Imre*, az MTA Csillagászati Kutatóintézet munkatársa volt. Az 1969-ben felfedezett 67P üstökös sok tekintetben hasonlít a Wirtanen-üstökösre, egy kicsit nagyobb, magjának átmérője mintegy 4 km, Nap körüli keringési ideje 6,6 év. Az ESA 2004. március 2-án indított űr-

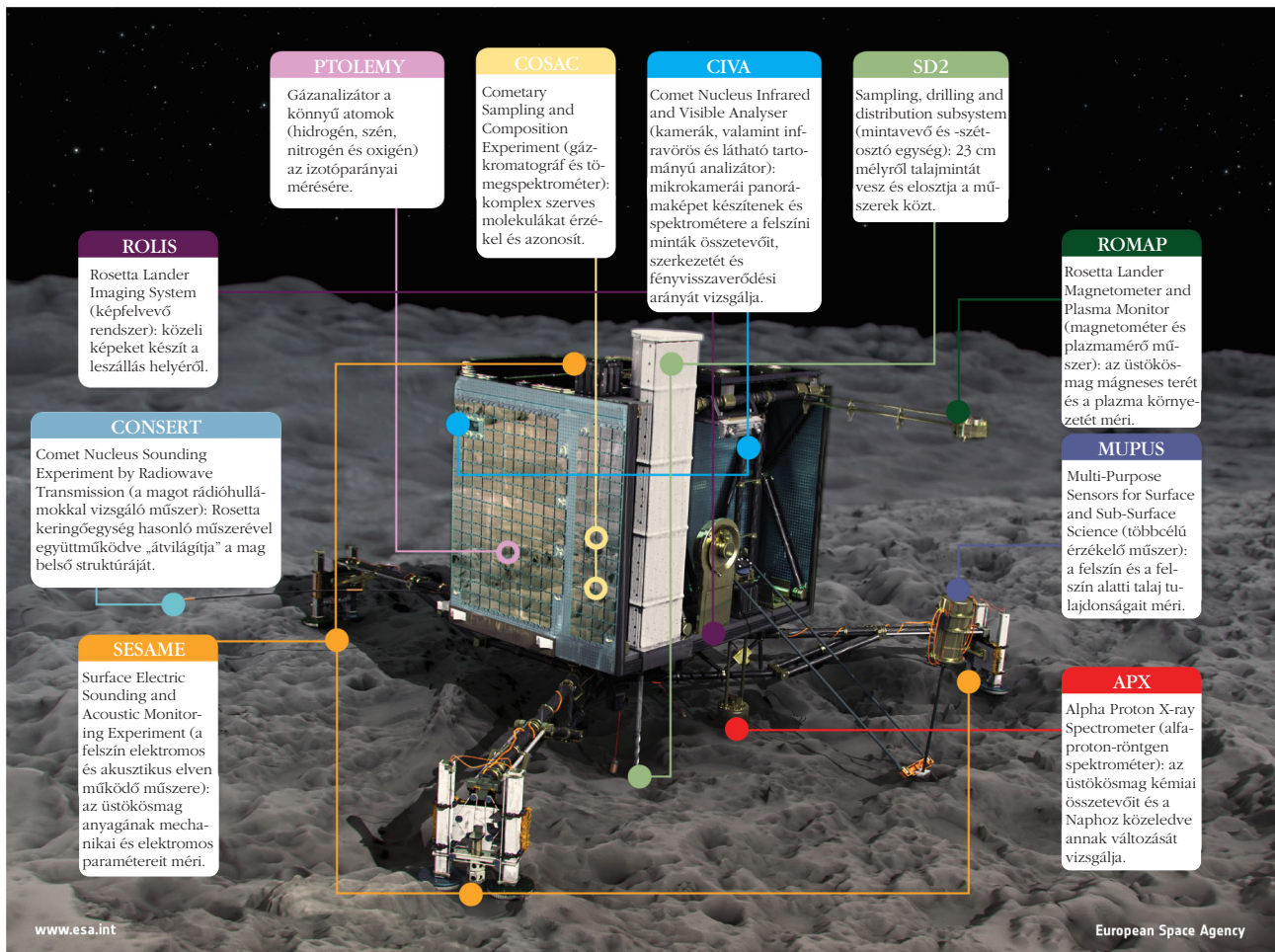
szondapárosa (Rosetta anyaszonda és a Philae leszállóegység) az űrkutatás történetének világraszóló, sikeres programja, mivel most először sikerült hosszú időn keresztül megfigyelni egy üstökös aktivitásának változását a Naphoz közeli pályaszakaszon, valamint elő-

szondapárosa (Rosetta anyaszonda és a Philae leszállóegység) az űrkutatás történetének világraszóló, sikeres programja, mivel most először sikerült hosszú időn keresztül megfigyelni egy üstökös aktivitásának változását a Naphoz közeli pályaszakaszon, valamint elő-

A megbízhatóság tesztelésének egyik eleme: a Philae ellenőrzése vibrációs asztalon (forrás ESA).

A Rosetta és a Philae a Nap-szimulátort tartalmazó hő-vákuumkamrában (ESTEC) (forrás ESA).





A Philae tudományos műszereinek elhelyezkedése, fantáziakép (forrás ESA).

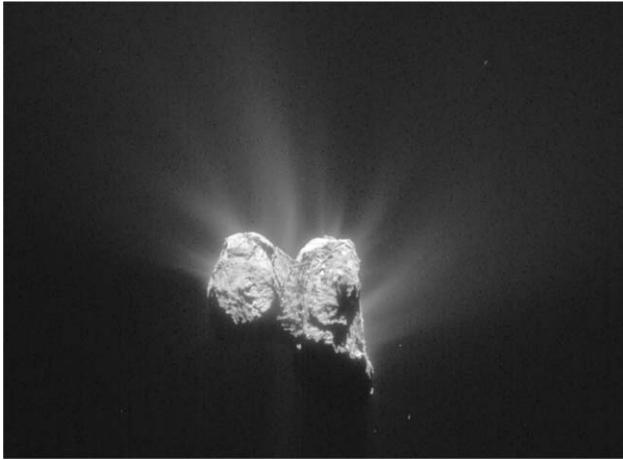
ször sikerült leszállni egy üstökös felszínén, és ott helyszíni méréseket végezni. A korábbi üstökösutató űrmissziók vagy elszágludtak az üstökös mellett, vagy belecsapódtak. A Halley-üstökös 1986-os napközelsége idején hat szonda szágludott el az üstökös mellett: a Giotto 596 km, a Vega-2 8030 km, a Vega-1 8890 km, a Suisei 150 000 km, a Sakigake 7 millió km, az ICE pedig 30 millió km távolságban. A Giotto és a két Vega szonda csupán alig háromórányi közeli megfigyelést végeztek a retrográd pályájú üstökös magjáról, miközben az üstökös mellett körülbelül 300 ezer km/h sebességgel elszágludtak.

A Rosetta misszió tervezése 1993-ban kezdődött, a magyar kutatók már az elején részt vettek ebben. Kezdetben két, 45 kg tömegű leszáglőegységet terveztek: a NASA és CNES fejlesztésében a Champolliont és a Németországban fejlesztendő Rolandot.

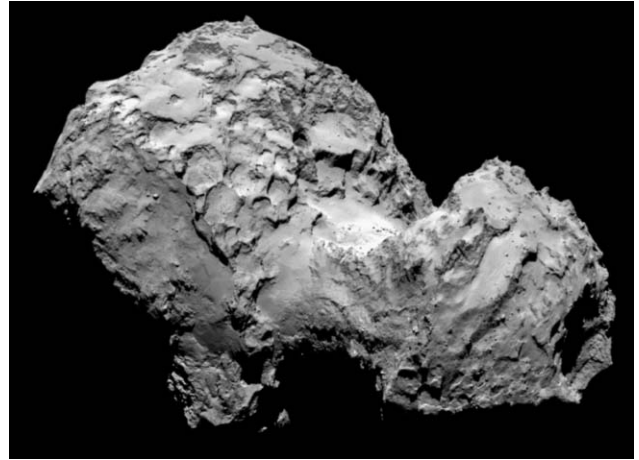
A NASA visszalépése után az ESA vezetése javasolta, hogy csak egy leszáglőegység legyen, amely egyesíti a korábbi két változat tudományos céljait. Az új célpontoz az átrepülési idő 8 helyett 10 év lett. A várakozás egy éve alatt az űrszonda műszaki felépítésén lényegében nem változtattak, de a szoftverek egy részét át kellett írni, és a két üstökös tömegének különbözősége miatt a leszáglőegység „lábait” is módosították.

Annak érdekében, hogy a szonda az üstökös hosszabb időn át közelről megfigyelje, azonos pályára kellett állítani az üstökös magjáéval. A jelenlegi indító-rakéták energiája nem elegendő ahhoz, hogy a Jupiteren túlra nyúló pályájú 67P üstökös sebességét a Rosetta szonda elérje. Ezért bolygók mellett elrepülve, azok gravitációs lendítő hatását kihasználva lehetett felgyorsítani a Rosetta szondát. A tíz évig tartó repülése során tudományos mérésekre is sor került: 2008. szeptember 5-én a Steins, majd 2010. július 10-én a Lutetia mellett elrepülve a két kisbolygót vizsgálta közelről. 2011. június 20-án hibernálták a Jupiter közeli pályaszakaszán, annak ellenére, hogy 64 m² felületű napelemtáblái vannak, mivel a szolgáltatott energia nem tette lehetővé a műszerek és vezérlő számítógép működését. Csúpn időzítő órája működött, és néhány kritikus egység minimális fűtése volt bekapcsolva. A Rosetta 10 éves bolygóközi repülése során 6,4 milliárd km-t repült már, és 673 millió km távolságra volt a Földtől, amikor az előre beprogramozott időben, 2014. január 20-án felébredt. A szonda bekapcsolta szolgálati egységeit, és elküldte első jeleit. Ezután sorozatos földi pályakorrekciós parancsok hatására 2014. augusztus 6-án az üstököshöz közeli pályára állt.

2014. november 14-én, 500 millió km-re a Földtől megkezdődött a küldetés legizgalmasabb szakasza. A



Az üstökös képe 2015. június 1-jén, amikor aktív gáz- és porkilövések voltak (forrás ESA).



Az üstökös magja a Rosetta mag körüli pályára állásakor, a gáz- és porkilövések szerencsésen lecsökkentek (forrás ESA).

Philae leszállóegység 22,5 km távolságból, 0,17 m/s induló sebességgel, 7 órás ereszkedés után 0,35 m/s sebességgel az üstökös igen tagolt felszínére érkezett. A pályaszámításoknak megfelelően a lábak az előzetesen kiválasztott 250 méter sugarú körben érték el a felszínt. Ám ekkor kezdődtek a problémák, de azok végül nem hiúsították meg a kitűzött fő feladatok végrehajtását. A tökéletes leszállást két berendezés meghibásodása hiúsította meg. A leszállást előkészítő műveletek során kiderült az ADS (Active Descent System) fúvóka meghibásodása, amely közvetlenül a felszínt éréskor a felszínhez szorította volna a leszállóegységet, amíg az Anchoring System (horgonyzó rendszer) a talajba lövi szigonyát, amely a talajhoz rögzítette volna a szondát. A talajt érés pillanatában viszont sem a fő, sem a tartalék szigony nem lépett működésbe, mert a $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatti hőmérsékleten tett 10 évnyi űrutazás után a pirotechnikai patronok nem lőtték ki a szigonyokat.

A Philae leszállóegység egy teljes értékű fizikai és kémiai laboratórium tíz tudományos műszerrel, amelyek a Rosetta űrszondával összekalibrált egyidejű mérések elvégzésére is alkalmasak. A műszerek a következők: kamerarendszer; α -p-X-sugárzási spektro-

méter; korszerű gázelemző az elemi, molekuláris és izotóp-összetevők érzékeléséhez; infravörös mikroszkóp; felszíni akusztikai és hullámdetektor; permittivitásérzékelő; magyar fejlesztésű porrészecske-érzékelő; többfunkciós felszíni és felszín alatti érzékelő; magnetométer; plazmatér-érzékelő; üstökösmaghullám-érzékelő; fúró, mintavevő és szétosztó berendezés.

A leszálláskor mért szeizmikus adatok vizsgálata azonban kimutatta, hogy a vékony felszíni poros hóréteg alatt annyira kemény jégtömeg található, hogy a szigonyok várhatóan meg sem tudtak volna kapaszkodni. A tervek szerinti leszállóhelyen fordulatoként 6-7 napfényes óra lett volna, viszont a Philae-t – végleges pozíciójában – a 12,4 órás tengelyforgás során csak 1,2 órán át érte napfény. Ez eredményezte, hogy közel 60 órás működés után elfogyott az energia, és a szonda hibernált állapotba került. A Naphoz közeledő üstökös felszínén a hőmérséklet-emelkedés következtében a Philae képes volt 2015. április 25-én életre kelni, és megkezdte a másodlagos tudományos küldetést. Az erősebb napfény több energiát szolgáltatott, és 2015. június 13-án újból rádiókapcsolatot létesített a Rosetta űrszondán keresztül a Földdel. Ezután még további nyolc alkalommal kommunikált,

A Philae CIVA kameráival leszállás közben készített képek összemontírozva. A karikákkal a lábak látható részei vannak jelölve a felszín háttérében (forrás ESA).



újabb tudományos adatokat is küldve. A rádióadók és -vevők állapota folyamatosan romlott, az elsődleges adó meghibásodása után, 2015. július 9-én a Philae már a tartalék adóján küldte el utolsó adatsomagjait. A fedélzeti számítógép összességében több tíz megabájtnyi adatot küldött a Földre, és a másodlagos küldetés 2,5 hónapja alatt is hibátlanul működött. A Philae a tudósok számára még így is évekig tartó tudományos elemzésre váró mérési adatokat továbbított teljesen automatikusan.

A konferencián a kutatók többek között beszámoltak a pontos leszállóhely megtalálására tett erőfeszítésekről. Tudományos műszerek (elsősorban a mágnetométer és az üstökösrag átvilágítására kifejlesztett rádióberendezés, amelynek egységei részben a Rosetta keringőegységen, részben a Philae leszállóegységen voltak) mérési adatait elemezve sikerült behatárolni azt a területet, amelyen a végső leszállás megtörtént, ezt a területet a keringőegység kamerájának képeit vizsgálva fésülték át a Philae helyének meghatározása céljából.

Ez utóbbi nagy felbontású közelképek információkat szolgáltatnak az üstökösrag keletkezéséről és a felszín formáló folyamatokról is. A simább területeken megfigyelt repedéshálózatok illóanyagvesztésből és termikus anyagfáradásból fakadó aprózódásra utalnak. A durvább felületű szemcsés agglomerátumok méreteloszlásából következtetni lehet az üstökösrag keletkezésének körülményeire, a Naprendszer keletkezésének legelső fázisaira. A felszín tulajdonságaira annak dielektromos állandójának méréséből is következtethetünk. Ilyen mérések alapján állítják a kutatók, hogy az üstökösrag összepréselt porból és jégből áll, amelyet szilárd héj burkol.

Több műszer analizálta a felszín anyagának összetételét is. A jégen kívül komplex, szerves vegyületekben gazdag port sikerült kimutatni, amelynek összetétele jól modellezhető a Földön is megszokott vegyületek keverékéeként. Kimutatták, hogy a keverék nem tartalmaz savakat, ként és aromás vegyületeket, viszont az élő anyag egyszerűbb építőkövei nagy valószínűséggel megtalálhatók benne. A leszállás során a por-detektor felső korlátot határozott meg a porfluxusra, továbbá mm-es méretű, rendkívül porózus szerkezetű porszemcséket talált. A leszállóegység és a keringőegység együttműködéséből származnak a mag belső szerkezetére vonatkozó információink. A magot átvilágító rádióberendezés adataiból kitűnik, hogy a mag kis skálán rendkívül porózus, viszont nagyobb üregeket nem tartalmaz. Sikerült pontosítani a jég és por arányára, valamint a por lehetséges összetételére vonatkozó információkat is.

Az eredmények jelentőségét az egyik résztvevő így foglalta össze: „Soha ezelőtt még nem szálltunk le ilyen ősi objektumra, amely a Naprendszer születésének és korai fejlődésének legrégebbi és talán legjobban megőrzött tanúja.”

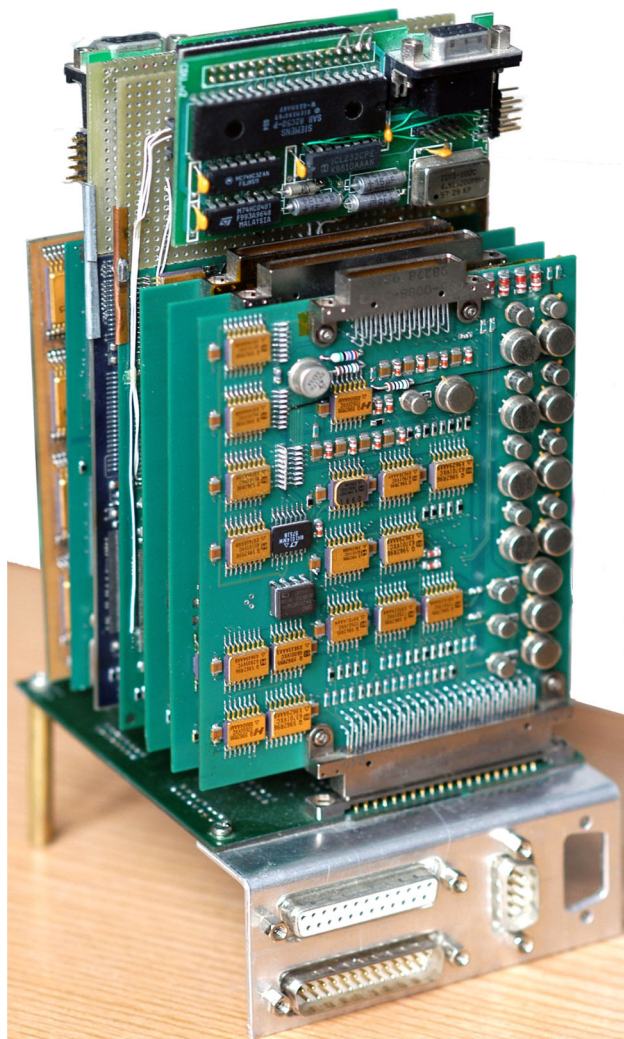
A misszió 2016. szeptember 30-án ért véget, amikor is a Rosetta anyaszondát az üstökös magjára irányították, és közben igen közeli képeket tudtak készíteni és a Földre küldeni.

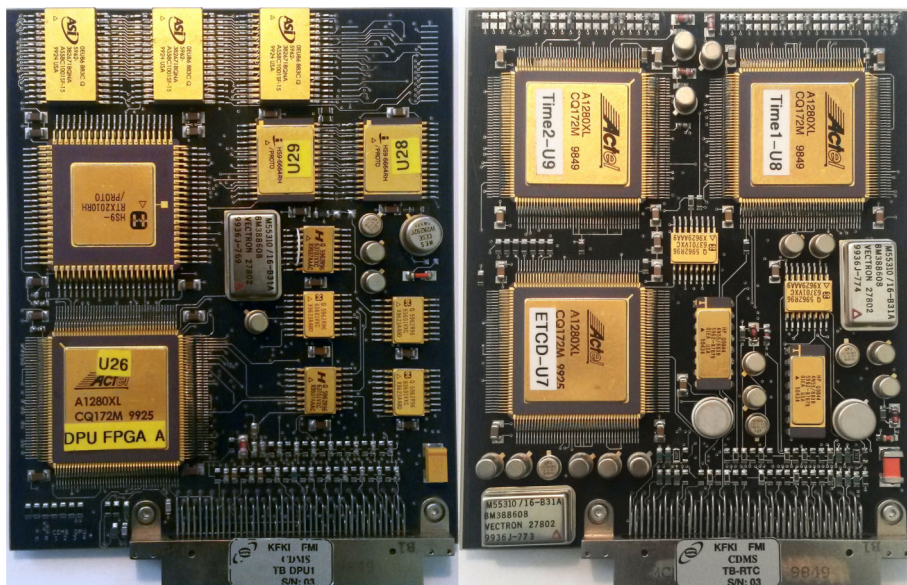
Technikai részletek a központi számítógépről

A Wigner FK és az SGF Kft. által fejlesztett számítógép (CDMS) feladata a leszállóegység összes műveletének irányítása, beleértve a hosszú időtartamú misszió során a hasznos teher (tudományos műszerek, fedélzeti alrendszerek) ellenőrzése, továbbá a megközelítést

követően a leszállóegység és az anyaszonda szétválasztásának előkészítése, a felszínre történő leszállás és felszínhez rögzítés vezérlése, valamint a hőmérséklet-szabályozás megoldása és energiaelosztás vezérlése az üstökösön végzett műveletek során. A Philae a Rosetta közvetítésével veszi a földi irányítás parancsait, és végrehajtja azokat. Gyűjti, majd visszaküldi az alrendszerek és a tudományos műszerek által mért adatokat. A fedélzeti számítógép a leszállóegység egyik legkritikusabb eleme, mivel meghibásodása a küldetés végét jelentette volna. A legfőbb tervezési szempont az volt, hogy a fedélzeti számítógép a funkcionális alrendszerek meghibásodásának bármely kombinációja esetén is funkcióvesztés nélkül tudja ellátni feladatait. Mivel a küldetés során gyors és közvetlen földi beavatkozásra a jelentős jelterjedési idő miatt nincs lehetőség, a számítógépnek autonóm módon kell felismernie, ha egy egység hibásan működik, és azt – egyidejűleg aktiválva a megfelelő tartalék rendszert – ki kell iktatnia. Az aktuális elsődleges processzor (DPU) a pillanatnyi állapotát leíró kritikus

A Philae központi számítógépének szoftverfejlesztői példányai, a kártyákra szerelt kiegészítő rátétek a beágyazott processzor működését kezelő billentyűzet és monitorillesztők, valamint a PROM memóriákat helyettesítő újrairható kis kártyák (saját fotó).





A hibatoleráns számítógép tényleges repülő példányának processzor- és órajelgenerátor-kártyái (saját fotó).

adatait (változók, paraméterek, hivatkozások) – amelyek ahhoz szükségesek, hogy a másodlagos (tartalék) processzor ott tudjon folytatni egy megkezdett folyamatot, ahol az elsődleges befejezte – meghatározott időnként elmenti a másodlagos processzorba. A másodlagos processzor ezeket az adatokat veszi alapul egy esetleges szerepcseré esetén. A DPU megvalósítására a kis fogyasztású, úrminősítésű és sugárazásálló Harris RTX2010 processzort választottuk. Ez a 16 bites processzor a Forth programozási nyelvre optimalizált struktúrájú. A Forth ma már feledésbe merült verem (stack) orientált programozási nyelv. A nyelv két stacket használ, az egyiket az adatok tárolására, a másikat

az utasítás végrehajtáshoz. Az aritmetikai kifejezéseket RPN (Reverse Polish Notation) szintaxissal kell megadni, amelynek lényege, hogy az adatokat a műveleti sorrend szerint a verembe kell írni, a szükséges műveletet meghívva az eredmény az adatverem tetejére kerül. A működtető program tömörítve, négyszeresen került tárolásra az újírható memóriában (EEPROM), az indítási és öntesztelést végző program csak olvasható memóriából (PROM) fut, és az elsőnek talált hibátlan működtető programot a RAM memóriából futtatja. Az EEPROM és RAM memóriák Hamming kódolású hibavédelemmel vannak ellátva.

A CDMS feladatainak ütemezésére, párhuzamos futtatására saját fejlesztésű, valós idejű, preemptív, többfeladatos operációs rendszerre volt szükség. A földi parancsok számának csökkentésére a leszállóegység műveleteinek irányítása statikus és dinamikus működést leíró paramétertáblák segítségével történt. A táblázatokat még a leszállás előtt fel lehetett tölteni, és a körülmények pontosabb ismerete alapján a megfelelő működtető szekvenciát földi paranccsal lehetett indítani.



A Rosetta projektben való részvételünket a Magyar Űrkutatási Iroda támogatta, amelyért ezúton fejezem ki köszönetünket.

ÉRTELMES-E AZ ANTROPIKUS KÉRDÉS?

Bognár Gergely
Révai Mikós Gimnázium, Győr

Mielőtt megpróbálnánk válaszolni a címben felvetett kérdésre, értsük meg magát a kérdést. Mit is jelent az antropikus probléma? Röviden összegezve, ha a fizikai törvényeinkben szereplő állandókat kicsit is megváltoztatnánk, világunk oly alakot öltene, amelyben elképzelhetetlen az élet. A csillagok energiájukat csak

néhány ezer évig sugároznák stabilan, vagy oly ritka elem lenne a szén, hogy szerves lények nem jöhethetnének létre. Az Univerzum nagyon hamar önmagába zuhanhatott volna, vagy a tágulás megakadályozta volna galaxisok és csillagok képződését, és a sort még hosszan folytathatnánk. Sokan sokféleképpen fogalmazzák meg, és egyesek egészen hajmeresztő magyarázatokkal szolgálnak. Egy fél könyvtárat is megtöltő irodalmat átfutva, párhuzamos univerzumokról, mindent leíró elméletekről, visszafelé ható okokról, misztikus világlélekről és a tervező Istenről is olvashatunk. Vannak, akik az egészet értelmetlennek tartják, míg mások a vak véletlennek tulajdonítják.

A kezünkben tartott folyóirat hasábjain illő, hogy első lépésként egy fizikus szemüvegén keresztül közelítsünk a problémához. Az antropikus kérdéshez négyféle hozzáállást különíthetünk el, amely még a fizi-



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

ka, mint tudomány témaköréhez tartozik, és nem téved át más vizekre. Első az elv gyenge változata, második a mindenség elmélete, harmadik a multiverzum-elmélet és végül a problémafelvetés értelmetlensége.

A gyenge antropikus elv

A gyenge antropikus elv mindössze annyit állít, hogy a világról alkotott elméleteink nem mondhatnak elent az élet alapvető feltételeinek. Például a csillagok belsejében lejátszódó fúziós folyamatok megértése során csak olyan elméletet fogadhatunk el, amely kellő mennyiségű szén és az élet számára fontos egyéb anyagok kialakulását írja le. Mi egy olyan világban élünk, amelyben van élet, természetesen az élet kialakulásának feltételei is adottak, következésképpen elméleteinknek ezzel összhangban kell lennie. A gyenge elv tulajdonképpen egy tudományos módszer, amely segítségünkre van elméleteink ellenőrzésében. Nem bizonyító erejű, hiszen attól még, hogy valami életbarát, nem biztos, hogy helytálló, de ha nem az, biztosan el kell vetni, hiszen az élet léte az Univerzumban kísérletileg bizonyított tény! A fizikában az antropikus elv gyenge változatának nagyon fontos helye és szerepe van. Egy tapasztalatilag igazolt tény fejez ki, mint például az Univerzumban található He mennyisége. Hiszen az Univerzum minden olyan leírását félre kell tennünk, amely nem annyi He létét magyarázza meg, mint amit a csillagászok megfigyeltek. Az elv kiváló tudományos módszer, de az antropikus talányra nem szolgáltat magyarázattal.

Válasz mindenre a „Nagy Elmélet”

E folyóirat olvasói számára nem szolgál új információval, hogy a fizikai törvényeinkben szerepelnek állandók, amelyek értékét kísérleti úton határozzuk meg. A legismertebb talán a Föld felszínén mérhető gravitációs gyorsulás, amely hazánkban körülbelül $9,81 \text{ m/s}^2$ körüli érték. Diákjaink hetedik osztályban találkoznak először az értékével, majd középiskolában megtanulják, ahogy mi is megtanultuk, hogy a g Föld felszínén mért értéke levezethető a Newton-féle gravitációs erőtvénnyből. Természetesen pontosabb értéket kapunk, ha a Föld forgását, a tengerszint feletti magasságot, az alattunk lévő kőzetek összetételét stb. is figyelembe vesszük. A legtöbb fizikai állandó levezethető valamilyen magasabb rendű elméletből. Van néhány kivétel, amelyekről ez nem mondható el, például a fénysebesség, a Planck-állandó, a gravitációs állandó, az elektron töltése, a proton tömege, a tér három dimenziója stb. Pontosan ezekről tudjuk, ha egy kicsit is más értéket vennének fel, világunk már alkalmatlan lenne az élet kialakulására. Elképzelhető, hogy egy ma még nem ismert elméletből a jövőben levezethető lesz ezen állandók értéke, a fenti példához hasonlóan. Sokan a mindenség nagy elméletétől várják, hogy magyarázatot adjon a finomhangoltság problémájára. Egy elmélet, amelyből az



A „teremtés oszlopai” a Sas-ködben a csillagok kialakulásának korai fázisát jelentik. A csillagok majd a köd pereménél levő fényes globulákban képződnek. A 2014-ben a Hubble-űrtávcsővel készített részletes felvétel korábbi, 1995-ös változatát a 20. század 100 legfontosabb képe közé választották (NASA, ESA, Hubble Heritage Team).

összes állandó levezethető. Ha létezik ilyen elmélet, és egyszer megtaláljuk, magyarázatot akkor sem adhat az antropikus talányra, legfeljebb eltolja azt. Ha lenne egy természettörvény, amely az életre hangolva „beállítja” a természeti állandók értékét, akkor nem az állandók számszerű értékére, hanem a törvényre kérdeznénk rá. Miért életbarát ez a törvény? Az antropikus kérdés nem tűnne el, a finomhangoltság problémája egy természettörvényre csúszna át, és a talány az lenne: a törvény miért állítja be életbarátnak az Univerzumunkat? A mindenség elmélete nem tünteti el az antropikus kérdést, csak elrejtja azt!

Univerzumok sokasága

Tudományos fantasztikumnak tűnik, hogy a ma ismert Univerzumunk mellett térben és időben „párhuzamos” univerzumok sokasága létezik. A gondolat meglehetősen merész, és első hallásra nem is tűnik túl tudományosnak. Pusztán ezért nem vethetünk el egyetlen elméletet sem. Gondoljunk csak bele, hogy *Galilei* vagy *Einstein* relativitáselméletét és a kvantumfizika koppenhágai értelmezését nem érték-e hasonló vádak? Bármennyire merész a párhuzamos univerzumok gondolata, egy kézlendítéssel nem söpörhetjük az asztal alá. Nem is beszélve arról, hogy nagyon sok és neves

fizikus és csillagász egyre komolyabban tekint felé. Sokan az igazolhatóság hiánya miatt vetik el, mondván kísérleti úton soha nem bizonyítható a párhuzamos világok léte. A kritikai megjegyzés helyénvaló, de teljes egészében nem állja meg a helyét. Minden fizikai elméletnek szüksége van igazolásra, de ezt nemcsak közvetlenül, hanem közvetve is megtehetjük. Ha a multiverzum-elmélet a mi világunkban mérhető és eddig nem értelmezett fizikai jelenségekre szolgáltat magyarázatot, akkor közvetetten igazolást nyerhet. Az érthetőség kedvéért nézzünk egy példát. *Newton Kepler* törvényeiből vezette le az általános tömegvonzás törvényét. Értelmezte vele a bolygók mozgását, és a fáról lepottyanó almát egyaránt, a közvetlen igazolással egészen *Cavendish* torziós ingájáig kellett várni, hiszen a két test között fellépő vonzó hatást csak az igazolta. A fizikától egyáltalán nem idegen, hogy egy elmélet csak közvetve igazolható. A multiverzum-elméletet ezért nem kell elvetnünk. Bár számtalan agasztó problémát vet fel, s a jövő titka, hogy valaha is közvetett igazolást nyer-e.

Rövid ideig lépünk át a multiverzumok sokaságát leíró elméletek problémáin, és nézzük meg, hogy segítségével miként kezelhető az antropikus probléma. A párhuzamos világok sokaságában más és más a fizikai állandók értéke. A sok-sok világ közül nem kell meglepődnünk, hogy van olyan, amelyben az állandók értéke alkalmas az élet kialakulásához. Nem csodálkozunk azon sem, hogy a sarkkörökön nem találunk trópusi esőerdőket, mert azok csak ott nőnek, ahol a feltételek adottak. Hasonló a helyzet a multiverzumban, élet csak ott alakul ki, ahol az állandók értéke alkalmas az élet számára, és ebben nincs semmi meglepő. Sokak szerint az antropikus kérdés megoldódik a multiverzum-elmélet révén, nincs abban semmi meglepő, hogy a végtelen sok világ között van olyan, amelyben kialakulhat az élet.

Tekintsünk el a megoldási javaslat számos problémájától, például multiverzum-elmélet igazolása, a megszámlálhatóan végtelen univerzumok miként képesek lefedni a fizikai paraméterek megszámlálhatatlan voltát, a végtelen sok univerzum között lennie kell olyanoknak is, amelyek csak számítógépen futnak, és mi van akkor, ha mi egy ilyenben élünk, és a többi hasonló kérdéstől. Még akkor is, ha ezek nagyon súlyos problémákat vetnek fel. Van tehát egy elmélet, amely számtalan párhuzamos univerzumot ír le, amelyek közül néhány alkalmas az élet számára. Az antropikus kérdés továbbra sem oldódik meg. Hasonlóan a mindenség elméletéhez, csak elbújtatjuk azt. A világok sokaságában választ kapunk a finomhangoltságra, de ebben egy elmélet, a fizikai törvények vannak segítségünkre. Ugyanúgy, mint az előbbi fejtegetésben, egy természettörvényhez jutunk számtalan sok univerzummal, amelyben változhatnak a paraméterek, megengedve az élet létrejöttét. A talány továbbra is adott, miért van ez a természeti törvény, amely a multiverzumot az életre hangolja?

Az érthetőség kedvéért tekintsünk át egy gondolat-kísérletet! Egy majmot számítógép elé ültetve hagy-

juk, hogy véletlenszerűen nyomkodja le a billentyűzet gombjait. A legépelte szöveget átnézve nem sok értelmes szót találunk majd benne, szinte elképzelhetetlen, hogy egy értelmes mondatra bukkanjunk. Mégis, ha kellően hosszú ideig hagyjuk a majmot a gép előtt, előbb utóbb legépel a *Fizikai Szemle* előző havi számában szereplő cikkeket. Hasonló a helyzet az univerzumok sokaságával is. Kellően nagy szám esetén nagyon sok minden megtörténhet, de nem bármi! A gép előtt ülve a majom soha nem fog tortát sütni, míg egy jól felszerelt konyhába beengedve előbb utóbb, tortát is készíthet. Az antropikus kérdés, hogy miért a *Fizikai Szemle* cikkeit gépeli, és miért nem tortát süt a majom. Magyarra fordítva, miért olyan az a természeti törvény, hogy az univerzumok sokaságában itt-ott megjelenhet az élet, és nem valami egészen más. Egy természeti törvényünk van, amely életre hangolt, és ezt a tényt a multiverzum-elmélet elrejtetheti, de megoldani nem képes.

Van, amiről nem lehet beszélni

A fizikusok részéről az utolsó hozzáállás az antropikus kérdéshez a teljes elzárkózás, mondván maga a kérdésfelvetés is értelmetlen. Hiszen nem tudunk semmit a paraméterek értékeiről, miként értelmezhetjük a Világegyetem valószínűségét, a természet törvényein nem látunk túl.

A paraméterek fizikailag lehetséges értékeiről valóban nem mondhatunk semmit. Elképzelhető, hogy valamilyen hatás korlátozza, netán beállítja ezeket, bár jelenleg erről nem tudunk semmit. Mindez nem befolyásol semmit, hiszen ezzel visszakanyarodnánk a mindenség elméletéhez, és a kérdés az lenne, miért korlátozódik a paraméterek értéke.

A valószínűség problémája már egy jóval keményebb dió. Az eddig leírtakban igyekeztem kerülni a valószínűség fogalmát. A fizikai állandók valószínűségének értelmes vagy értelmetlen voltát sokféleképpen megfogalmazhatjuk. A legtalálhatóbb talán, ha egy viccen keresztül tesszük meg: *Móricza büszkén újságolja barátainak, hogy hetvenöt százalékban jár az iskola legszebb lányával. Mire a többiek csodálkozva kérdik, hogy lehet ez? Móricza büszkén válaszol, hát én már beleegyeztem az ötven százalék, ő meg vagy igen vagy nem!* Az igazat megvallva, van némi hasonlóság a két valószínűség-értelmezés között. Bár le kell szögezni, hogy a multiverzum-elmélet szerint világunk nem egyedi esemény, ezért rendelkezünk hozzá valószínűséggel. Sőt, egy jövőbeni nagy elméletből akár az is kiderülhet, hogy miként változnak a paraméterek univerzumról univerzumra. Nem áll rendelkezésünkre statisztikus sokaság, hogy megfigyeljük a fizikai állandók lehetséges értékeinek valószínűségét, de a jövőben lehet, hogy lesz egy törvényünk, amelyből ez levezethető. Ha például készítünk egy 64 oldalú szabálytalan dobókockát, nem kell számtalan dobást elvégeznünk ahhoz, hogy az egyes dobások valószínűségét megmondhassuk. Nagyon pontosan ismerve a kocka geometriai,

tömegeloszlási adatait és a dobás kezdeti feltételeit, kiszámíthatnánk az egyes dobások valószínűségét. Ha hiszünk a mindenséget leíró nagy elméletben, valószínűséget rendelhetünk a fizikai állandók lehetséges értékeihez is. Bár mindez nagyon sok kérdőjelet tartalmaz. A Világegyetem valószínűségéről beszélni olyan, mint ha egy mocsár ingoványában járnánk.

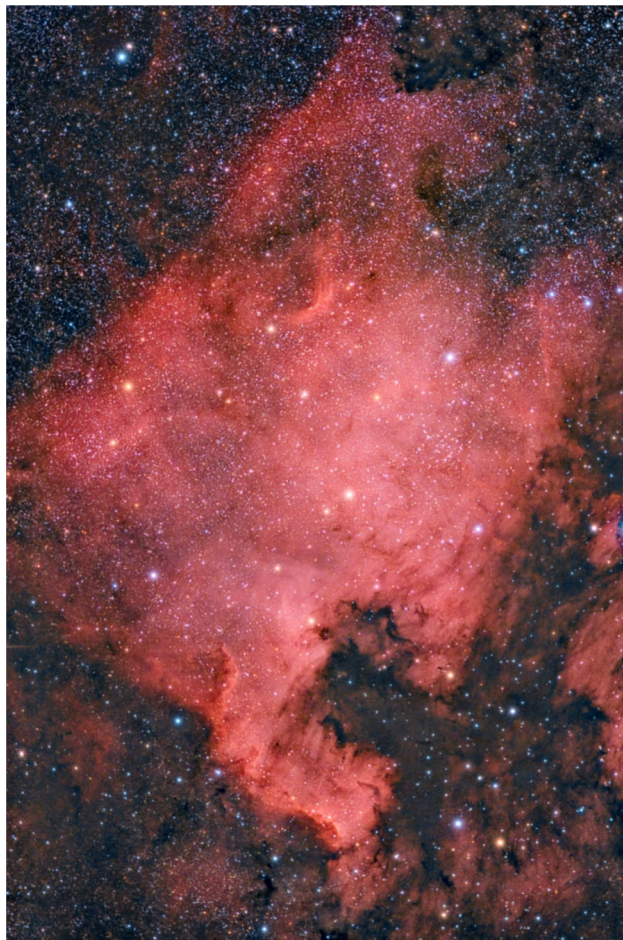
A legfontosabb észrevétel talán mégis az, hogy a finomhangoltságból származtatott antropikus elv nem feltétlenül követeli meg a valószínűség fogalmát. A valódi kérdés az, hogy miért alkalmas az Univerzum arra, hogy élet lehessen benne. A problémát a hozzá társított valószínűség csak kiélezi, és markánsan megvilágítja. Valójában az antropikus talány valószínűség nélkül is értelmezhető. A kérdés nagyon egyszerű. *Miért olyan a világunk, hogy lehet benne élet? Miért vannak életre hangolva a fizikai állandók? Miért vannak olyan törvények, amelyek megengedik az élet kialakulását?*

Válasz a címben feltett kérdésre

A magyarázatokat röviden áttekintve, nem találunk kielégítő választ. Úgy látszik, hogy a természettudomány nem képes választ adni a kérdésre. Mielőtt beleesnék abba a hibába, hogy e fizikai folyóirat hatásain új istenérvről, visszafelé ható okokról, esetleg egy „világlélekről” írnék, még akkor is, ha a sorban elől álló, a szívemnek oly kedves, le kell szögezni, hogy a természettudományok ugyan képtelenek választ adni az antropikus talányra, de minden más további válasz nem tartozik a természettudomány témakörébe, még akkor sem, ha ezeket sokan tudományosként állítják be. Az antropikus kérdés értelmes, hiszen a zavarosan értelmezhető valószínűség nélkül is megáll a lábán, magyarázat pedig nincs rá! Persze egy fizikus joggal mondhatja, hogy a természet törvényei mögé nem tekinthetünk, az számunkra értelmetlen, ha egyáltalán létező terület. Fizikusként valóban illik megállni a természettörvények határainál, de az antropikus kérdés még a határ innenső oldaláról származik, csak a válaszok csúsznak át a túlsó oldalra.

Úton egy új világkép felé

Mit tegyünk, ha a kérdés tudományosan értelmes, de nincs tudományos válasz. Forduljunk a tudománytól idegen misztika, vallás vagy metafizika felé? Meggyőződéssem, hogy nem ez az első és legfontosabb lépés. Sokszor többet meríthetünk magából a kérdésből, mint a válaszból. A sokak számára elfogadhatatlan magyarázatok helyett, amelyek miatt elfordulnak vagy értelmetlennek tartják az antropikus elvet. Álljunk meg magánál a kérdésnél! Fogadjuk el, hogy az Univerzum életre hangolt, a fizikai állandók és törvények, mint egy nyíl, az élet felé mutatnak. Bolygónk és különösen rajta mi apró porszemek vagyunk, mégis a távoli galaxisokban lejátszódó törvények, és a régmúlt



Az Észak-Amerika-köd (NGC 7000) a Cygnus (Hattyú) csillagképben. Annyi köd van az égen, ... miért pont az észak-amerikai kontinens körvonalaira hasonlító ne lenne? Az ionizált hidrogénből álló csillagközi felhő kiterjedése az égen négyszer nagyobb, mint a teleholdé, valódi mérete nagyjából 100 fényév. *Ignacio Rico Gualda* felvétele 2008. október 28-án a nap asztrofotója (APOD) volt.

kezdeti feltételei ránk irányulnak, a mindenség az otthonunk. Ha nem is geometriai értelemben, de mégiscsak a Világegyetem közepén helyezkedünk el. Elfogadva az antropikus kérdést, oly világszemléletet kapunk, amelyben mindenféle élet tisztelete, a másik, de még önmagunk méltósága is magától értetődő. Ha így tekintenénk a világra, talán könnyebben megbirkóznánk azokkal a kihívásokkal, amelyeket a 21. század állít elénk. A körülöttünk lévő világ nemcsak az életre hangolt állandók miatt lesz az otthonunk, hanem egymás számára is azzá tesszük.

Irodalom

- Carter B.: Large Number Coincidences and Anthropic Principle. *Longair* 1974.
 Dávid Gy.: Lakható Világegyetem. *Természet Világa* 1990/7
 Dávid Gy.: *Lakható világegyetem*. Előadás a Polaris Csillagvizsgálóban 2007, <https://www.youtube.com/watch?v=F4jHy7zdk0E>
 Davies P.: *A megbundázott Világegyetem*. Akkord, Budapest, 2008.
 E. Szabó L.: *Miért téves az antropikus elv a kozmológiában*. Magyar Pax Romana 47. kongresszusa, Győr 2005 in: http://philosophy.elte.hu/leszabo/Preprints/E_Sz_L_gyor.pdf
 Harskó P.: Az antropikus elvről. *Fizikai Szemle* 58/10 (2008) 321–322.
 Rees M.: *Csak hat szám*. Vince kiadó, Budapest, 2001.
 Székely L.: *Az emberarcú kozmosz*. Áron, Budapest, 1997.

AZ ATOMERŐMŰVEK MŰKÖDÉSÉRŐL EGYSZERŰEN, TÍPUSAIK ÉS JÖVŐJÜK – 1. RÉSZ

Király Márton – MTA Energiatudományi Kutatóközpont
Radnóti Katalin – ELTE TTK Fizikai Intézet

Az 1960-as évektől az atomerőművek jelentős szerephez jutottak a villamosenergia-termelésben. Az atomerőművek által termelt villamos energia – amely a világban termelt villamos energia 11%-át adja – jelenleg egymilliárd emberhez jut el. A világ több mint harminc országában található atomerőművek, főleg a fejlett gazdaságú (OECD) országokban. Ez összesen 447 atomerőművi blokkot jelent, 389 gigawatt erőművi kapacitással, amely az utolsó évtizedben nem változott jelentősen. Az 1970-es években épített erőművek élettartamának közelgő vége, az energia-ellátás biztonságának növekvő fontossága, valamint a globális klímaváltozás kockázata megújították a közgondolkodást, és újabb nukleáris beruházások indultak. Ugyanakkor az atomenergia megítélése gyorsan változik. A Fukusimában történt baleset hírére a közvélemény és néhány ország ismét elfordult az atomenergia felhasználásának lehetőségétől [1]. A hazánkban előállított villamos energia mintegy 50%-a származik atomenergiából, amelyről országunk az elkövetkező évtizedekben sem szándékozik lemondani. A Pakson épített erőművek üzemideje a végéhez közeledik, meghosszabbításuk folyamatban van, kiváltásukhoz a meglévő kapacitások bővítésére van szükség [2, 3].

Az atommaghasadás 1938-as felfedezése után a kor nagyhatalmai (Franciaország, Egyesült Királyság, Németország, Egyesült Államok, Szovjetunió) felismerték, hogy ez a fizikai folyamat lehetőséget adhat katonai célú alkalmazására. Ezzel párhuzamosan a tudó-

sok azon dolgoztak, hogy a maghasadás során felszabaduló energiát békés célokra is fel lehessen használni. Ezeket a törekvéseket siker koronázta, és az 1960-as évektől több atomerőmű-típust fejlesztettek ki, amelyek kereskedelmi forgalomba kerülhettek.

Jelenleg a legnagyobb kihívást a jövő lehetséges atomerőműveinek – az úgynevezett negyedik generációs elképzelések – megvalósítása, tenyésztő és gyorsreaktorok tervezése és megépítése jelenti. Ezek alapvetően átalakíthatják az atomenergiához fűződő viszonyunkat.

Írásunkat elsősorban fizikatanárok figyelmébe ajánljuk, hogy megfelelő ismereteket tudjanak közvetíteni tanítványaik felé a napi politikában ezzel kapcsolatban felmerülő kérdésekről, és tisztába kerüljenek az atomenergia jelenével és lehetséges jövőjével. A szöveg egyéni tanulói feldolgozásra is alkalmas lehet. Három részes írásunk első részében az atomenergia előállításának fizikai alapjairól és felfedezésük főbb lépéseiről adunk áttekintést. A történeti utalásokhoz eredeti írásokból vett részleteket is idéztünk, amelyek az interneten is megtalálhatók. Ezek elérhetőségét is közöljük, hogy a tanárok érdeklődő tanítványaik kezébe tudják adni az eredeti szöveget, amelyek jellemzően nem hosszúak, jelezvén, hogy egy korszakalkotó felfedezés leírása nem egy esetben milyen röviden, tömören is megfogalmazható. Ezek az idegen nyelvű, elsősorban angol, vagy a maghasadás felfedezése esetében német szövegek a diákok számára a fizika mellett a nyelvi gyakorlás szerepét is betölthetik. A második és a harmadik részben a jelenleg működő és a tervezés alatt álló atomerőmű-típusokról adunk rövid ismertetést.

A jelenleg energetikai céllal működő atomerőművek esetében a maghasadás és a szabályozott láncreakció azok az alapvető magfizikai folyamatok, amelyek energiatermelés (valójában energia-átalakítás) céljára felhasználhatók.

A maghasadás

A maghasadás felfedezése *Enrico Fermi* (1901–1954) kísérleteivel kezdődött. Rendkívül módszeresen járt el, amikor neutronokkal különféle anyagokat kezdett bombázni, végigmenve az egész periódusos rendszeren. Fermi első cikke kísérleteiről 1934. április 14-én jelent meg. Ebben 23 olyan elemről számolt be, amelyet sikerült felaktiválnia, és mindegyik aktivációs termék felezési idejét is meghatározta. Legfontosabb megállapítása az volt, hogy ezek a mesterséges radioaktív izotópok kivétel nélkül β^- sugárzók [4, 5].



Király Márton a BME-n végzett vegyészmérnök-ként. Munkahelye az MTA Energiatudományi Kutatóközpont, Fűtőelem és Reaktoranyagok Laboratórium. Kutatási területe a fűtőelem-pálca-burkolatok mechanikai vizsgálata, amelyből a BME Nukleáris Technikai Intézetében készíti PhD dolgozatát. Publikációi az előbbi területen kívül kiterjednek a nukleáris energia történetére és a témával kapcsolatos ismeretterjesztésre.



Radnóti Katalin az ELTE-n végzett kémiafizika szakos tanárként. A budapesti Kölcsey Ferenc Gimnáziumban nyolc éven keresztül tanított. Jelenleg az ELTE Fizikai Intézetében főiskolai tanár. Kutatási területe a fizika és a természettudományok tanításának módszertana. Publikációs tevékenysége is e témához kapcsolódik, tanári segédletek, tanulmányok, könyvek, könyvfejezetek. A *Nukleon*, a Magyar Nukleáris Társaság internetes folyóirata főszerkesztője.

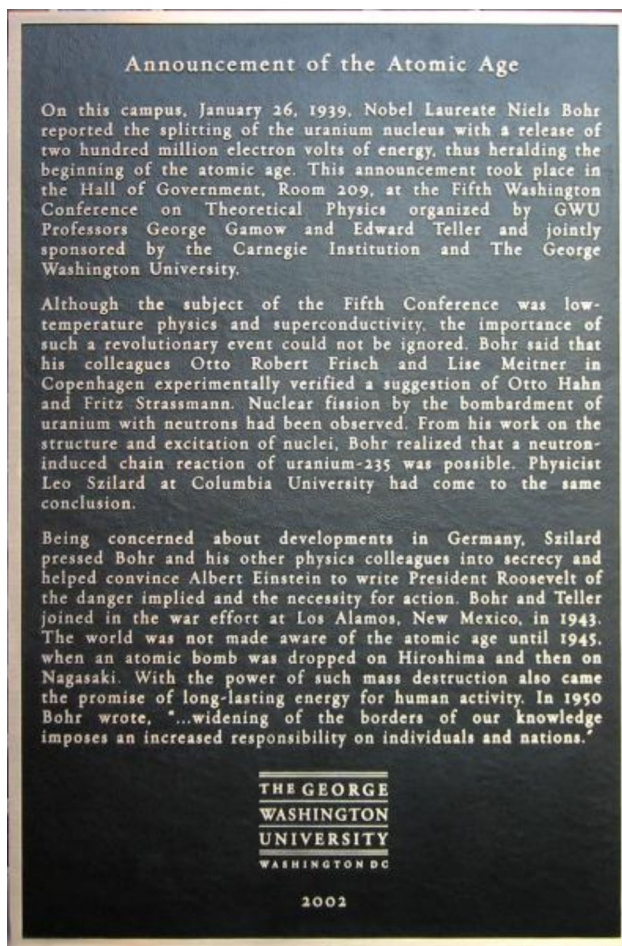
A maghasadás gondolata először 1934-ben jelent meg. *Ida Noddack-Tacke* német vegyész (1896–1978, a rénum elem felfedezője) Fermi kísérleteire reflektálva 1934-ben írt cikkében felvetett egy másik magátalakulási lehetőséget: „... feltételezhető, hogy ha neutronokat használunk magátalakítás céljára, valami teljesen új típusú magreakció megy végbe, (...) elképzelhető, hogy az atommag több nagy töredékre hasad szét, amelyek természetesen ismert elemek izotópjai lennének, de egyáltalán nem a besugárzott elem szomszédságában” [6]. Akkor ezt – mint abszurd feltevést – elvetették.

1938-ban *Irène Joliot-Curie* (1897–1956) laboratóriumából érkeztek olyan hírek, hogy az urán neutronnal történő besugárzásakor nem csak magasabb, hanem alacsonyabb rendszámú elemek is keletkeznek. A kapott elemeknél lantánra és aktíniumra gyanakodtak. (A lantán a báriumhasadvány bomlásterméke.) Fermihez hasonlóan tehát a Joliot-Curie házaspár is létrehozott mesterséges maghasadást, de a jelenségre – a kísérleti evidencia ellenére – teljesen más magyarázatot adtak. Szerintük aktínium keletkezik, azonban a radioaktivitás a lantánra utalt, amely a kísérlet előtt nem volt a mintában. Így Joliot-Curie-ék egy hasadványt fedeztek fel, de szinte szándékosan félreértelmezték a kísérletek eredményeit, számukra annyira hihetetlenek voltak a helyes következtetések. Átmenetileg volt olyan munkahipotézisük, hogy az uránmag elhasad, de később eltávolodtak ettől a gondolattól, és visszatértek a transzurán modellhez.

Ebben az időben *Otto Hahn* és *Lise Meitner* a Berlin-Dahlemben lévő Kaiser Wilhelm Institut für Chemie-ben (Vilmos Császár Kémiai Intézet) dolgozott. 1935-ben csatlakozott hozzájuk *Fritz Strassmann*. Ők hárman határozták el, hogy nagy körültekintéssel és alapos előkészítéssel megismétlik a római (Fermi) és a párizsi csoportok (Joliot-Curie) munkáját, hogy transzuránokat állítsanak elő, és felderítsék ezen anyagok tulajdonságait. Írásuk *Urán neutronnal való besugárzásakor keletkező alkáliföldfémek létezéséről* címmel 1939. január 6-án jelent meg a *Die Naturwissenschaften* című folyóiratban, de cikkükben még nem használták a hasadás kifejezést. A dolgozat meglehetősen hosszan mutatja be a kémiai analízis módszereit, amely az egyes termékek radioaktivitásán alapul, a befejező részben pedig kijelentik: „...mint vegyészek, a röviden bemutatott kísérletek alapján, új nevekkkel kell ellátnunk a fenti ábrán bemutatott sémát, ugyanis a Ra, Ac, Th helyett Ba, La, Ce írandó ... még nem tudjuk pontosan értelmezni eredményeinket” [7].

A január 28-i cikkükben már teljes bizonyossággal leszögezik a hasadási termékek létét. Kísérleteikben az urán egy másik hasadványát, a kripton (a bárium kiegészítő hasadványa a kripton, a rendszámokat tekintve $56 + 36 = 92$), illetve annak a bomlástermékeit, a rubídiumot, a stronciumot és az itriumot vizsgálták.

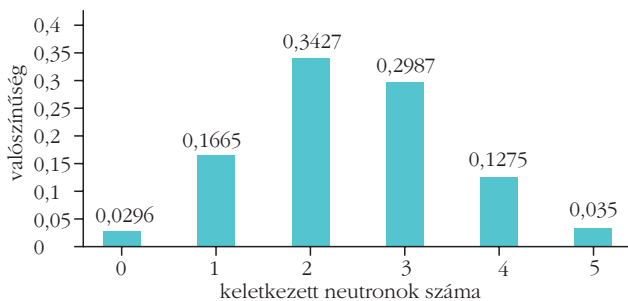
Az akkor már Svédországban élő *Lise Meitner* folyamatosan értesült a berlini laboratórium munkájáról. Hahn a készülő dolgozatuk kéziratát is elküldte



1. ábra. Emléktábla a George Washington Egyetem 209-es számú előadóterme előtt.

neki. Meitner és unokaöccse *Otto Robert Frisch* a cseppmodell, egy félempirikus atommagmodell felhasználásával megmutatták, hogy a maghasadás ténylegesen végbemehet, sőt körülbelül 200 MeV energia szabadulhat fel. Ők vezették be a maghasadás fogalmát is [8, 9].

A hasadványok minden esetben *radioaktívak* voltak. Ennek oka az, hogy a hasadás során keletkező magokban a proton-neutron arány nem nagyon változik meg. A periódusos rendszer elején található elemek atommagjaiban, a könnyű atommagokban közel azonos a protonok és a neutronok száma, míg az egyre nagyobb rendszámú, az atommagjukban több protonot tartalmazó atommagok esetében egyre nő a neutronok aránya. Az oxigén legstabilabb izotópjában 8 proton és 8 neutron található, a 26-os rendszámú vas leggyakoribb izotópjának tömegszáma 56, a magban 30 neutron van, arányuk 53,5%, míg a 92-es rendszámú urán legstabilabb 238-as tömegszámú izotópjában már 146 neutron van, ami a nukleonok 61%-a. A könnyebb elemekben a neutronok aránya alacsonyabb, mint az uránban, ezért amikor uránból maghasadással könnyebb elemek keletkeznek, akkor a neutronok feleslegben lesznek. Ez a felesleg egyrészt kibocsátódik, másrészt pedig radioaktív bomlások révén közeledik az egyensúlyi állapot felé. A hasadás



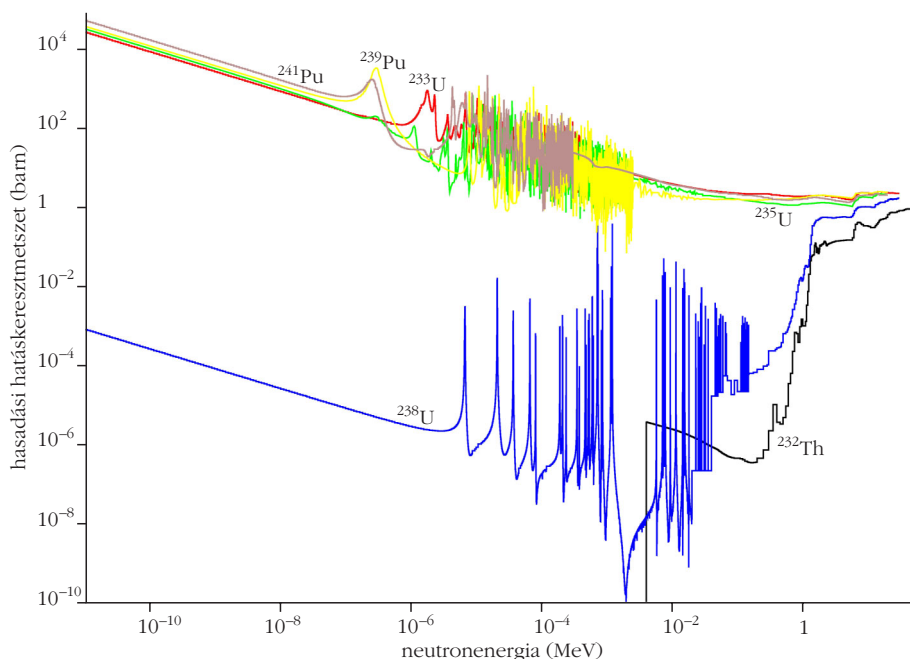
2. ábra. A hasadási neutronok számának eloszlása [10].

során átlagosan 2,4 darab neutron szabadul fel, de a hasadványokban még így is bőven marad neutronfelesleg. Ezért ezek a magok mind β -bomlással fogják helyreállítani a megfelelő proton-neutron arányt, amelyet γ -sugárzás követ.

A nukleáris láncreakció

A neutronokkal működő láncreakció ötlete *Szilárd Leótól* (1898–1964) származik. 1933-ban elsőként ő vetette fel, hogy ha találnának egy olyan izotópot, amelynek atommagjából egy neutron befogásának hatására egynél több neutron keletkezne, akkor ezt a folyamatot nukleáris láncreakció előidézésére lehetne használni. A láncreakció kifejezést Szilárd egyes kémiai folyamatokra alkalmazott szakkifejezésből kölcsönözte. 1934. március 12-én szabadalmat jelentett be a neutronokkal kiváltott láncreakcióra. A szabadalmi leírásban a neutronokat megduplálni képes elem lehetőségeként Szilárd a berilliumot, a brómot és az uránt javasolta. A Brit Admirális a szabadalmat 440023 szám alatt megadta, és Szilárd kérésére titkosí-

3. ábra. Egyes izotópok hasadási hatáskeresztmetszetének változása a neutron energiájának függvényében. Forrás: <https://universe-review.ca/114-03-crosection.png>



totta. Ezután Szilárd szabadalmához több kiegészítést, illetve pontosítást nyújtott be. Megemlítette, hogy az önfenntartó láncreakció csak egy kritikus tömeg felett lehetséges, ugyanis az adott térfogatban keletkező neutronok számának felül kell múlnia a felületen át kiszökő neutronok számát, ami csak egy minimális méret felett lehetséges. 1938 szeptemberében Szilárd az USA-ba költözött.

A dán *Niels Bohr* (1885–1962) Otto Frisch révén (aki nála dolgozott Koppenhágában) folyamatosan értesült Hahn és Meitner maghasadással kapcsolatos kísérleteiről és eredményeiről. Bohr 1939. január 16-án érkezett New Yorkba. Utazása célja az volt, hogy részt vegyen egy elméleti fizikai konferencián Washingtonban, amelynek témája az alacsony hőmérsékletek fizikája volt. A konferenciát *George Gamow* (1904–1968) és *Teller Ede* (1908–2003) szervezte január 26. és 28. között. A washingtoni konferencia előzetes programját az elnöklő Gamow megváltoztatta, és Bohrnak adta meg a szót, ezzel a maghasadás került az érdeklődés középpontjába. Az előadás emlékére a George Washington Egyetem 209-es számú előadótermében emléktáblát állítottak (1. ábra).

A konferencia befejezésének napján több laboratórium hozzálátott a maghasadás megerősítéséhez, és azt is sikerült kimutatniuk, hogy közben neutronok – amelyeket Szilárd Leó korábban megjósolt – szabadulnak fel. Egy hasadásban a keletkező neutronok száma 0 és 5 között változhat, átlagosan 2,4 szabadul föl. A keletkező neutronok számának valószínűségi eloszlásfüggvénye 235 tömegszámú uránizotóp esetében a 2. ábrán látható [10].

Bohr és *Wheeler* megállapították, hogy a természetes uránban a kis mennyiségben (0,71%-ban) előforduló 235 tömegszámú izotóp sokkal nagyobb valószínűséggel hasad, mint a 238 tömegszámú (99,28%-ot kitevő) izotóp. A 238-as tömegszámú izotóp leginkább nagy energiájú neutronok hatására hasad, viszont a 235-ös tömegszámú kis energiájúak hatására is, ezért jó nukleáris üzemanyag (3. ábra).

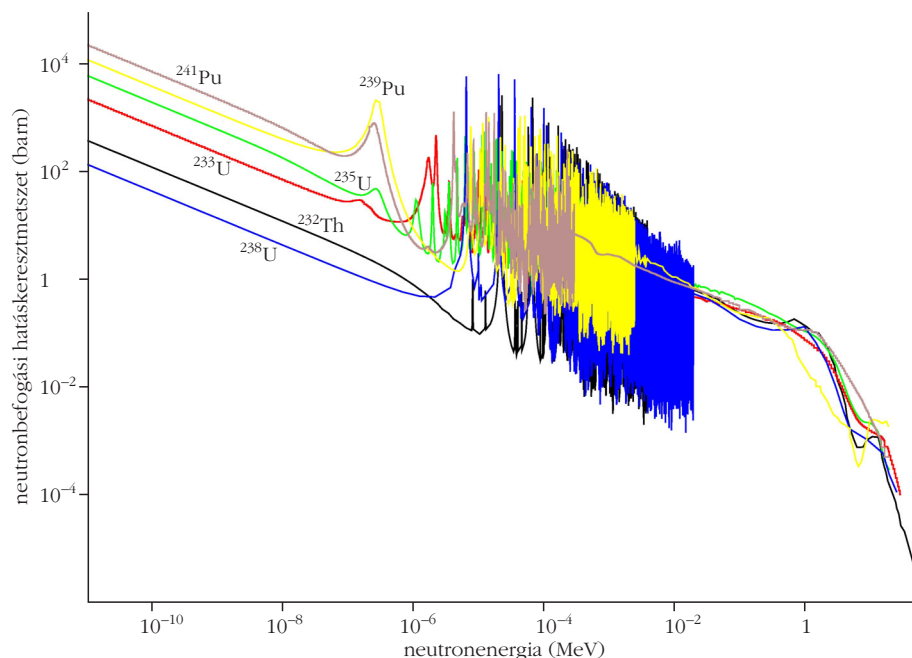
A reaktorfizikában a σ *hatáskeresztmetszet* segítségével fejezik ki annak valószínűségét, hogy az egyes atommagok különböző magreakciókban (neutron- vagy protonbefogás, hasadás, rugalmas vagy rugalmatlan szóródás stb.) vegyenek részt. Ha az atommagot a klasszikus mechanika fogalmai szerint képzelnénk el, akkor σ -t tekinthetnénk az atommag keresztmetszetének, az atommagot körülvevő magerőternek. A valóságban azonban az atommag valós

méretének semmi köze ezen értékhez(!), mivel bonyolult kvantummechanikai effektusok is fellépnek, amelyek eldöntik, hogy valóban bekövetkezik-e az adott reakció. Mindezeket figyelembe véve adódik a σ hatáskeresztmetszet, amelyet ténylegesen számítással és empirikusan határoznak meg. Egy felület dimenziójú mennyiségről van szó, amely például a neutronfluxus (egy adott felületen időegységenként áthaladó neutronok száma) leárnnyékolásának feleltethető meg. Mivel az atommagok sugara 10^{-12} cm (10^{-14} m) nagyságrendű, a hatáskeresztmetszet egysége a barn, ami 10^{-24} cm². A szokásos felületegységek helyett az SI rendszer a magfizikában és a reaktorfizikában – kivételesen – megengedi ezt a már régóta használatos egységet. A hatáskeresztmetszetek additívak, a különböző típusú magreakciók együttes hatáskeresztmetszete a rész-hatáskeresztmetszetek összege. Például, a neutronabszorpciós hatáskeresztmetszet a befogási és a hasadási hatáskeresztmetszet összege. Az egyes hatáskeresztmetszetek függenek továbbá a résztvevő partnerek (például mozgási) energiájától is.

A hatáskeresztmetszet-energia függvények esetében megfigyelhető keskeny csúcsokat rezonanciáknak nevezük, itt a hatáskeresztmetszet nagyon szűk energiatartományon belül nagyon nagy értékre ugrik fel. Ennek oka az, hogy az ilyen energiájú neutronok az összetett mag valamelyik energiaállapotát gerjesztik, ezért könnyen elnyelődnek [11]. Az atommag esetében mind a protonok, mind pedig a neutronok csak meghatározott energiaszinteken lehetnek, hasonlóan az elektronburok elektronjaihoz. Elektronoknál ennek eredménye az atomok vonalas színképe, jelen esetben pedig a neutronbefogási rezonanciák.

Nézzünk meg néhány ilyen függvényt! Az atommagoknak van egy olyan tulajdonságuk, hogy a közepes (néhány keV) energiájú neutronokat befogják (4. ábra). Ez a jelenség a 238-as urán esetén az egyik legnagyobb mértékű.

Földünkön egyetlen olyan a természetben előforduló izotóp található, amely lassú neutron hatására könnyen képes elhasadni és új neutronokat termelni, ez a 235-ös tömegszámú uránizotóp. Emellett az atomreaktorokban három olyan izotóp állítható elő neutronbefogással, amelyek hasonló céllal felhasználhatók, a plutónium 239-es és 241-es izotópja az urán 238-as (túlsúlyban lévő) izotópjából, valamint az urán 233-as tömegszámú izotópja, amely a thórium 232-es izotópjából keletkezik. Ezekről a későbbiekben lesz szó.



4. ábra. Egyes izotópok neutronbefogási hatáskeresztmetszetének változása a neutron energiájának függvényében. A középső tartományban látszanak a rezonanciák. Forrás: http://www.nuclear-power.net/wp-content/uploads/2014/11/capture_cross_section.jpg

Az első önfenntartó nukleáris lánreakciót megvalósító reaktort 1942 végére építették meg Chicagóban, természetes uránt (0,71% ²³⁵U) és grafitot (mint neutronlassító közeget, amelyről később lesz szó) használva. Az atomreaktorokban a lánreakció szabályozott formában megy végbe, ezért energiatermelésre használható.

Az atomreaktorokban a lánreakciót egy állandó szinten kell tartani és szabályozni kell a stabil működéshez, valamint azt is meg kell oldani, hogy szükség esetén a lánreakció azonnal leállítható legyen. Egy hasadás során több neutron keletkezik, a lánreakció fenntartásához viszont csak 1-re van szükség, ezért a felesleget – amely a rendszerből kiszökő neutronok után is marad – el kell tüntetni. A felesleges neutronok elnyelésével lehet csökkenteni a hasadások számát, és így szabályozni a lánreakciót. A fogyó és keletkező neutronok arányát jellemző számot sokszorozási tényezőnek nevezzük. Minden reaktorban vannak neutronelnyelő anyagok, ezek egyike a szabályozó rúd, illetve rudak. Az aktív zónába belógó rudak helyzetének változtatásával módosítják a zónában lévő neutronelnyelő anyagok mennyiségét. Amikor a szabályozó rudat betolják a reaktorba, akkor a sokszorozási tényezőt csökkentik, amikor pedig kihúzzák, akkor a sokszorozási tényezőt növelik. Így lehet beindítani vagy leállítani a reaktort, illetve változtatni teljesítményét. A maghasadás rendkívül gyors folyamat, 10^{-8} másodperc alatt végbemegy, ha csak így keletkeznének neutronok, akkor a lánreakciót nem lehetne szabályozni. A pontos szabályozását a késő neutronok teszik lehetővé, amelyek nem közvetlenül a maghasadásból, hanem később, az egyes hasadási termékek (hasadványok) bomlása során keletkeznek.

Ha a reaktorban a szabályozott láncreakció állandó teljesítményen megy végbe, akkor a reaktor *kritikus* állapotban van. Itt emelnénk ki a szaknyelv és a köznyelv közötti jelentős különbséget. A köznyelvben a „kritikus” szó valami veszélyes helyzetet jelöl: „a beteg állapota kritikusra fordult”, vagy „a földrengés után kritikus helyzet alakult ki az olasz városban”. Ugyanakkor a szakmai nyelv által használt „kritikus állapotnak” semmi köze a veszélyhez: amikor a reaktor „kritikus” állapotban van, akkor szép nyugodtan, egyenletes teljesítménnyel üzemel. A reaktor folyamatos energiatermelés közben végig kritikus állapotban van. Normál üzemállapotban is lehet időlegesen a sokszorozási tényező nagyobb, mint 1. Arra azonban ügyelni kell, hogy a késő neutronok nélkül (csak a prompt neutronokkal) sohase legyen 1-nél nagyobb a sokszorozási tényező, azaz a reaktor sohase legyen „prompt-kritikus”. Ha a sokszorozási tényező 1 alá kerül, akkor csökken a teljesítmény, végül leáll a láncreakció, ha pedig a késő neutronok nélkül is 1 fölé emelkedik, a reaktor teljesítménye ugrásszerűen megnő, ezt nevezik megszaladásnak.

A Hirosimára 1945-ben ledobott atombomba szinte tiszta 235-ös tömegszámú uránizotópot tartalmazott, míg a Nagaszakira ledobott bomba elkészítésénél a plutónium 239-es izotópját használták. Az atombombában a láncreakciót a hasadás során keletkező prompt gyors neutronok tartják fenn. A láncreakció ezen formája nem szabályozható, vagyis robbanáshoz vezet!

A reaktorokban a teljesítmény szabályozása a szabályozórudak mellett úgy is történhet, hogy a hűtővízbe neutronelnyelésre képes anyagot kevernek. Például a bór 10-es tömegszámú izotópjá kiváló neutronelnyelő, de vannak mások is, mint például a kadmium, vagy a legújabban alkalmazott gadolínium, a diszprózium és az erbium. Vízhűtéses reaktorokban (Paks-on is) gyakran bizonyos mennyiségű bórt oldott állapotban, bórsav formájában is bevisznek a hűtővízbe. Ennek koncentrációját változtatva ellensúlyozni lehet a sokszorozási tényező változásait, és így lehetséges a reaktor folyamatosan kritikus állapotban tartani a hasadóanyag fogyása mellett is. Stationer kritikus állapotban az egy hasadásból származó neutronok átlagosan/pontosan egy új hasadást hoznak létre, a sokszorozási tényező értéke 1, az időegység alatti hasadások száma és ezzel a termelt energia mennyisége is állandó.

A láncreakció fenntartása azt jelenti, hogy minden hasadásra jusson még egy hasadás. Egy hasadás során keletkező neutronok közül egynek újabb hasadást kell kiváltania, vagyis nem nyelődhet el a szerkezeti anyagokban, a szabályozó rudakban, a hűtőközegben, a neutronlassító közegben, vagy magában az üzemanyagban, illetve nem szökhet ki a rendszerből. Az urán 235-ös tömegszámú, neutronok hatására hasadó izotópjá csak 0,71%-a természetes uránnak, a többi a 238-as tömegszámú uránizotóp teszi ki, amely neutronok hatására gyakorlatilag nem hasad. A természetes uránérchen azért nem jön létre láncreakció, mert a kis mennyiségű ²³⁵U hasadása során kelet-

kező gyorsneutronok a nagy tömegben lévő ²³⁸U-ban a kis hatáskeresztmetszet miatt kevés hasadást okoznak, a lelassult neutronokat pedig a 238-as izotóp hasadás nélkül befogja, amely megállítja a folyamatot. Ezek miatt nem könnyű hasadási láncreakciót létrehozni, keményen meg kell küzdeni, hogy a sokszorozási tényező elérje az egyet.

A hasadási láncreakció elérésére és fenntartására a reaktorokban két lehetőség kínálkozik:

1. A hasadás során keletkező gyors neutronokat lelassítják, ezáltal több százszorosára nő a hasadási reakció esélye (hatáskeresztmetszete). Ehhez neutronlassító anyagokat, úgynevezett moderátorokat alkalmaznak. Ezen anyagok atommagjaival ütközve a neutron lelassul, a környezet hőmérsékletére jellemző energiája lesz ($0,025 \text{ eV} = 4 \cdot 10^{-21} \text{ J}$), más néven termalizálódik. Az ilyen elven működő reaktorokat termikus reaktornak nevezik. A moderátor azonban nemcsak lassítja a neutronokat, de sajnos el is nyel belőle valamennyit, a neutronelnyelés mértékétől függően az urán 235-ös izotópját a kezdeti 0,71%-ról 2-5%-ra kell dúsítani, hogy fenntartható legyen a láncreakció. Az urán 238-as izotópjának a 4. ábrán látható neutronelnyelési rezonanciáinak elkerülésére inhomogén reaktort kell építeni, vagyis a moderátort és az üzemanyagot nem összekeverve, hanem váltakozva kell elhelyezni. Így az üzemanyagból kilépő neutron a moderátorban megfelelően lelassul, majd mire újra üzemanyaggal találkozik, addigra termalizálódik, és nagy valószínűséggel elkerüli a rezonanciabefogást. Erről cikkünk második részében lesz szó.

2. A másik lehetőség, hogy nem lassítják a neutronokat, hanem az előbbihez képest sokkal nagyobb mértékben dúsítják az uránt a 235-ös izotópban és nagyobb mennyiséget halmoznak föl a reaktorban, hogy kompenzálják a kis hatáskeresztmetszetet. A ²³⁸U neutronelnyelése ebben az esetben kifejezetten kívánatos is, mivel abból plutónium keletkezik, vagyis a reaktor működése közben új hasadóanyagot termel. Ezt a folyamatot nevezik tenyésztésnek és a moderálatlan neutronokkal működő reaktorokat gyorsreaktornak hívják. Ezekről cikkünk harmadik részében lesz szó.

Írásunkban röviden áttekintettük a nukleáris reaktorok működésének alapelveit, illetve a maghasadás felfedezését. A következő részben a termikus reaktorok főbb típusait ismertetjük.

Irodalom

1. Aszódi Attila, Boros Ildikó: Az atomenergia jövője Fukushima után. *Nukleon* V/2 (2012) 105; http://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/Nukleon_5_2_105_Aszodi.pdf
2. Hózer Zoltán, Pázmándi Tamás: Új blokkok a paksi atomerőműben. *Nukleon* VII/1 (2014) 152; http://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/Nukleon_7_1_152_Hozer.pdf
3. Hózer Zoltán: Az új paksi reaktorok üzemanyaga. *Fizikai Szemle* 65/12 (2015) 417–420; <http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1512/HozerZ.pdf>
4. E. Fermi: Possible Production of Elements of Atomic Number Higher than 92. *Nature* 133 (16 June 1934) 898–899; absztrakt: <http://www.nature.com/nature/journal/v133/n3372/pdf/133898a0.pdf>
5. L. Fermi: *Atom a családban*. Gondolat Kiadó, Budapest, 1966.

6. I. Noddack: On Element 93. *Zeitschrift für Angewandte Chemie* 47 (September, 1934) 653; angolul: <http://www.chemteam.info/Chem-History/Noddack-1934.html>
7. O. Hahn, F. Strassmann: Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle. *Die Naturwissenschaften* 27 (Januar 1939) 11–15; [http://www.chemteam.info/Chem-History/Hahn-fission-1939a/Hahn-fission-1939a.html](http://www.chemteam.info/Chem-History/Hahn-fission-1939a-German/Hahn-1939a-fission-German.pdf)
8. L. Meitner, O. R. Frisch: Disintegration of Uranium by Neutrons: A New Type of Nuclear Reaction. *Nature* 143 (Februar 11, 1939)

- 239–240; http://www.atomicarchive.com/Docs/Begin/Nature_Meitner.shtml
9. Horváth András, Radnóti Katalin: A Becquerel-sugaraktól a chikago-i reaktorig II. *Nukleon* V/3 (2012) 116; http://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/Nukleon_5_3_116_HorvathA.pdf
10. Horváth András, Radnóti Katalin: A Becquerel-sugaraktól a chikago-i reaktorig III. *Nukleon* V/4 (2012) 125; http://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/Nukleon_5_5_125_Horvath.pdf
11. Sükösd Csaba: *Kísérleti magfizika*. (2014); http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop412A/2011-0064_16_kiserleti_magfizika/index.html

IN MEMORIAM...

CENTENÁRIUMI MEGEMLÉKEZÉSEK 2016 – 3. RÉSZ

Nobel-díjas szovjet-orosz fizikusok

Radnai Gyula
ELTE Fizikai Intézet

Tíz szovjet-orosz fizikus kapott fizikai Nobel-díjat olyan kutatásokért, amelyeket még a Szovjetunióban végeztek. 1958-ban *Cserenkov* (1904–1990), *Frank* (1908–1990) és *Tamm* (1895–1971) megosztott Nobel-díjat kaptak a Cserenkov-effektus felfedezéséért és helyes magyarázatáért. 1962-ben *Landau* (1908–1968) a kondenzált állapotokra vonatkozó úttörő elméletéért egyedül kapta meg a díjat. 1964-ben *Prohorov* (1916–2002) és *Bászov* (1922–2001) a kvantumelektronika területén végzett munkásságukért kaptak Nobel-díjat, megosztva *Townes* amerikai fizikussal. 1978-ban *Kapica* (1894–1984) az alacsony hőmérsékletű fizikája terén elért eredményeiért kapta meg a Nobel-díj egyik felét, a díj másik felét kapta *Penzias* és *Wilson* amerikai asztrofizikus. 2000-ben *Alfjorov* (1930–) megosztva *Kroemer* német fizikussal a félvezető heterostrukturák kifejlesztéséért kapta a díj egyik felét, a másik felét kapta *Kilby* amerikai fizikus. Végül 2003-ban *Ginzburg* (1916–2009) és *Abrikoszov* (1928–), *Leggett* (1938–) angol–amerikai fizikussal megosztva lettek Nobel-díjasok, a szupravezetés és a szuperfolyékonyság területén végzett úttörő munkásságukért. A fenti tíz szovjet-orosz fizikus közül ketten születtek 1916-ban, tehát száz évvel ezelőtt, rájuk emlékezünk a következőkben.



Radnai Gyula ny. egyetemi docens, a fizikai tudományok kandidátusa, matematika-fizika tanári szakon végzett 1962-ben. Az ELTE Kísérleti Fizika tanszékén kapcsolódott be a tanárképzésbe, a fizika hazai kultúrtörténetének kutatásába pedig *Simonyi Károly* ösztönzésére fogott a '70-es években. *Physics in Budapest* című – *Kunfalvi Rezsővel* közös – könyve, valamint a *Fizikai Szemlében* és a *Természet Világában* megjelent számos, ma már az interneten is elérhető publikációja hitelesíti ezt a tevékenységét.

A kvantumelektronika atyja a Szovjetunióban: Alekszandr Mihajlovics Prohorov (1916–2002)

Már az is furcsa, hogy Ausztráliában született. Szülei – néhány más orosz családdal együtt – egészen Ausztráliáig menekültek a cári rendőrség és titkosrendőrség zaklatásai elől. Amikor 1912-ben Brisbane-be értek, még csak egy kislányuk volt. Amikor innen sok száz kilométerre északra, a mai Pearamontól nem messze lévő kis településen Szása fiúk 1916-ban megszületett, addigra Szásának már nem egy, hanem három nővére volt. Ezt a vidéket, a főként bevándorolt oroszok lakta kolónia környezetét, az orosz családok „kis Szibériának” nevezték el, hatalmas lakatlan erdősegei miatt. A honvágy hajtotta vissza Prohorovékát Oroszországba – akkor már a Szovjetunióba – 1923-ban, remélve a boldogabb életet. (Az iskola falán, amelyben a kisfiú elkezdte tanulmányait Ausztráliában, ma már márványtábla őrzi a későbbi Nobel-díjas tudós emlékét.)

1934-ben iratkozott be a Leningrádi Egyetem fizika szakára, ahol kvantummechanikából és relativitáselméletből *V. A. Fok* (1898–1974) professzor előadásait hallgatta. Diplomájának 1939-es megszerzése után Moszkvában kezdte meg doktori tanulmányait a Lebegyev Intézetben, *N. D. Papalekszi*¹ (1880–1947) professzor laboratóriumában. Ebben a laborban főleg nagyfrekvenciás elektromos rezgéseltető berendezések fejlesztésével foglalkoztak, nem is nehéz kitalálni, hogy milyen célból.

¹ Ő az a Papalekszi, akinek irányításával készült az a kétkötetes *Fizika* könyv, benne a tragikus sorsú *G. Sz. Gorelik* (1906–1956) által írt jó színvonalú termodinamikával, amelynek magyar fordítása az alapszintű kísérleti fizika történeti szemléletű tárgyalásának egyetemi tankönyve lett 1951-ben Magyarországon.



Alekszandr Mihajlovics Prohorov

1941. június 22-én a náci német csapatok megtámadták a Szovjetuniót. Prohorov ebben az évben nősült, de hamarosan besorozták, méghozzá a gyalogsághoz. A frontra küldték, ahol kétszer is megsebesült. Négy évi szolgálatot követően, második sebesülése után szerelték le 1944-ben. 1945-ben született *Kiril* fiúuk, akiből később lézerfizikus lett.

1946-ban doktorált az elektroncsöves oszcillátorok frekvenciájának stabilizálására kidolgozott elméleti munkájával. Ebben az évben halt meg Papalekszi professzor. Az oszcillátorlabor vezetését ekkor *M. A. Leontovics* (1903–1981) elméleti fizikus vette át, akinek Prohorov lett a „jobbkeze”. *V. I. Vekszler* (1907–1966) akadémikus javaslatára kezdett foglalkozni Prohorov a szinkrotronban gyorsuló elektronok centiméteres hullámhosszakon történő koherens sugárzásával, ebből a témából védte meg habilitációs disszertációját 1951-ben. A sikeres védéshez persze az is kellett, hogy előző évben belépjen a Pártba (így, nagybetűvel), ami azok után, hogy szülei Moszkva náci fenyegetése során haltak meg, talán logikus lépés is volt. 1954-ben a moszkvai Állami Egyetem professzorává nevezték ki.

1954-től már ő volt az oszcillátorlabor vezetője a Lebegyev Intézetben, mivel Leontovics az Atomenergia Intézetbe ment át. A laborban radiospektroszkó-

Nyikolaj Gennagyijevics Bászov és Alekszandr Mihajlovics Prohorov az 1964. évi fizikai Nobel-díj két kitüntetettje.



Prohorov az oszcillátorlaborban.

piai és kvantum-radiofizikai kutatásokat irányított. Fiatal, tehetséges kutatókat sikerült maga köré gyűjtenie. Köztük volt N. G. Bászov (1922–2001) is, aki háborús katonaorvosból lett – fizika szakos egyetemistaként – kutatóintézeti laboráns, majd folyamatos tanulás után 1957-ben a matematikai és fizikai tudományok doktora és a következő évtől kezdve igazgatóhelyettes a Lebegyev Intézetben.

Prohorov és Bászov együtt dolgozott a molekuláris oszcillátorok megvalósításán. Minthogy a molekulák, illetve atomok energiaszintjeinek fordított betöltése, az „inverz populáció” nyomán a molekulák és atomok alapállapotba való stimulált visszatérésénél keletkező fotonok nemcsak azonos frekvenciájúak, de azonos fázisúak is lesznek – megvolt a mézerek, illetve a lézerek² megvalósításának elvi lehetősége.

Bászov, akárcsak az amerikai C. H. Townes (1915–2015) 1953-ban, ammóniagázból tudott monokromatikus mikrohullámú sugárzást, vagyis mézert előállítani, Prohorov pedig speciális kvantumelektronikai megfontolásokat is figyelembe véve javasolta a rubint egy leendő szilárdtestlézer alapanyagául. A megérdemelt 1964-es fizikai Nobel-díj mindhármukra vonatkozó indoklása szerint a díjat azért a munkásságukért kapták, „amely a kvantumelektronikai oszcillátorok és erősítők konstrukciójával a mézer- és a lézerek alapjaihoz vezetett.”

A Nobel-díj után Prohorovot elhalmozták kitüntetésekkel. Őt különböző évben kapott Lenin-rendet, kétszer lett a Szocialista Munka Hőse. Ő lett a Nagy Szovjet Enciklopédia főszerkesztője. A Szovjetunió felbomlását követően még 1998-ig, 82 éves koráig ő volt az Orosz Tudományos Akadémia Általános Fizikai Intézetének igazgatója. Ezt az intézetet Prohorov halála után róla nevezték el, és itt lett a lézerek igazgatója Kiril Prohorov.

² Mézer és lézer az angol MASER és LASER betűszó magyaros átírása, melyek kifejtése: Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation, illetve Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

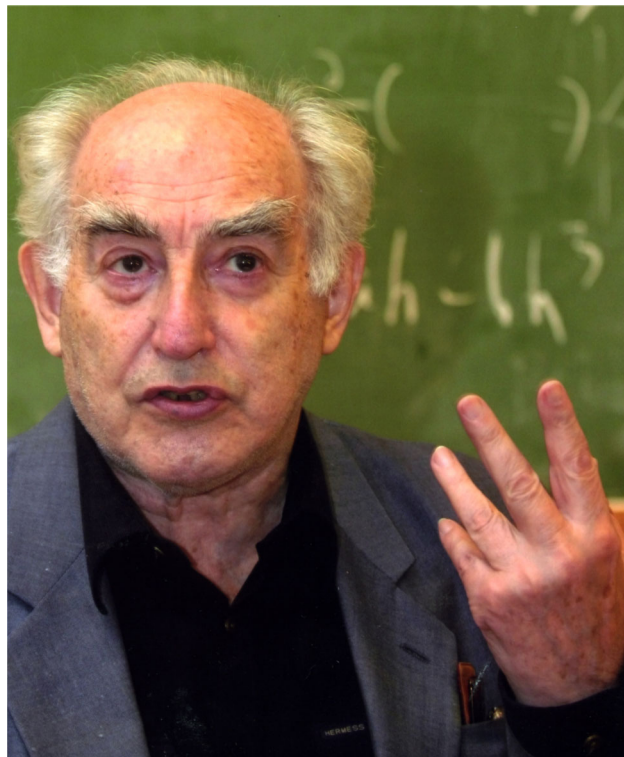
A tudomány lelkes kutatója és elszánt védelmezője, ötletgazdag elméleti fizikus: Vitalij Lazarevics Ginzburg (1916–2009)

Moszkvában született és Moszkvában is halt meg – 93 éves korában. Közben végigélte és átélte a huszadik századot, ami azért a Szovjetunióban nem volt éppen könnyű. Elkötelezett liberálisként képes volt a tudományban megérteni az érthetlent, az életben pedig kibírni a kibírhatatlant. Ahogy mondani szokás: élete kész regény. Nehéz lesz röviden összefoglalni.

Édesapja Rigában végzett vízügyi mérnök és feltaláló volt. Édesanyja orvos, aki 1920-ban, 34 évesen Moszkvában tífuszt kapott és meghalt. Kisfiúk még csak 4 évesek voltak ekkor, az apa viszont már 57. Ekkor került a családba Róza néni, anyjának húga, aki ezután sajátjaként nevelte a kis Vityát, pedig az életük cseppet se volt könnyű: a négyszobás lakásba még két családot költöztettek be a forradalom után. 1927-ben, 11 éves korában írárták be egy volt francia iskola 4. osztályába, ahol még ott voltak a régi tanárok. Jó színvonalon folyt az oktatás, azonban 1931-ben egy oktatási reform során bezárták ezt az iskolát. A 7. osztályt elvégzett, 15 éves fiú ekkor – némi protekcióval – laboratóriumi asszisztens lett egy műszaki főiskola röntgenlaborjában. Két évig dolgozott itt, közben kezébe került egy *Napjaink fizikája* című ismeretterjesztő kiadvány, amelyet elolvastva úgy döntött, hogy fizikus lesz.

Ehhez azonban egyetemet kellene végezni. Mivel 1933-tól kezdve felvételi versenyvizsgával lehetett csak bekerülni az egyetemre, magánúton felkészült a tízosztályos középiskola még hátralévő három tanévének anyagából, és jelentkezett a Moszkvai Állami Egyetemre. A vizsga sikerült, mégse vették fel, csak „külső” hallgatónak. Másodévre azután át tudott menni rendes hallgatónak, de ekkor még kérdéses volt, hogy katonai vagy polgári ágon folytathatja-e az egyetemet. A katonai vizsgálaton strúmát állapítottak meg nála, ezért a civil ágra irányították. Harmadévig végén újabb, de most már saját döntésre került sor: elméleti fizikus, vagy optikai kutatói pályára szakosodjon tovább?

Alekszej Alekszejevics Abrikosov és Vitalij Lazarevics Ginzburg a 2003. évi fizikai Nobel-díj két kitüntetettje.

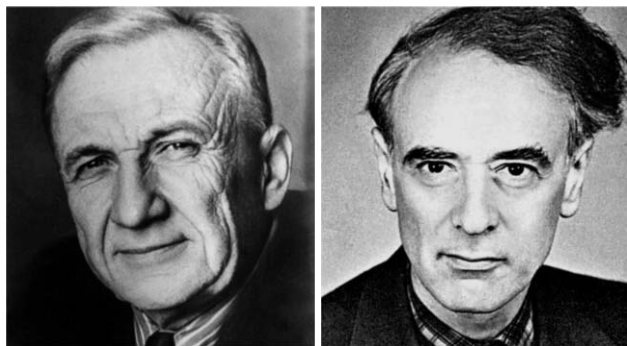


Vitalij Lazarevics Ginzburg

Az optikát választotta, mert az elmulasztott középiskolai évek miatt tudását matematikából nem érezte elég alaposnak az elméleti fizikához. Döntésében az is szerepet játszott, hogy az elméleti fizikusok között vére menő politikai viták dúltak akkor Moszkvában a relativitáselméletéről. Az optikai tanszéket szerencsére az a *G. Sz. Landszberg* (1890–1957) vezette, aki *L. I. Mandelsztam* (1879–1944) munkatársa volt. (1928-ban ők ketten is felfedezték a Raman-szórást, csak németül publikálták, nem angolul.) Viszont a besötétített szobában folyó optikai kísérletek nem nagyon vonzották az elméleti érdeklődésű Ginzburgot, ezért egy igazi Mandelstamtanítványt keresett fel, az elméleti fizikai tanszék akkori vezetőjét, egy, a csősugarakkal kapcsolatos kvantum-elektrodinamikai problémával. *I. J. Tamm* (1895–1971), aki 1934-től egyben a Lebegyev Intézet elméleti fizikai részlegének is igazgatója volt, ekkor figyelt fel a tehetséges, ötletekkel teli hallgatóra.

Diplomája megszerzése előtt egy évvel Ginzburg megnősült, egyik évfolyamtársát vette feleségül. 1939-ben megszületett *Irina*, Ginzburg egyetlen gyermeke. Az egyetemen hivatalosan Landszberg irányításával készítette el kandidátusi disszertációját, amelyet 1940-ben sikeresen megvédett. Ezután a Lebegyev Intézetben Tamm tényleges irányítása mellett készült fel a nagydoktori vizsgára. Sokat publikált, mert sok ötlete volt és az írás könnyen ment neki.

1941-ben, amikor a német csapatok véstesen közeledtek Moszkvához, az egész Lebegyev Intézetet a Moszkvától több mint 800 km-re keletre lévő Kazányba evakuálták. Kazányban apjával, nagynénjével és feleségével laktak – éheztek és fáztak – egyetlen szobában. Kislányuk a nagymamánál maradt, akit másho-



Vitalij Ginzburg legkedvesebb tanárai: Igor Tamm és Lev Landau.

vá költöztettek át. Naponta várta, hogy besorozzák, ezért rohamtempóban dolgozott nagydoktori disszertációján, amelyet végül is 1942-re sikerült elkészítenie és megvédenie. Témája a rádióhullámok terjedése volt az ionoszférában, ez is hozzájárult ahhoz, hogy ne vigyék el katonának. Még 1942-ben Ginzburg is belépett a Pártba, ezután 1945-ben már Moszkvában érte a felkérés, hogy legyen a Gorkij Állami Egyetem³ alakuló rádiófizikai kar külső professzora.

Ginzburg vállalta a gyakori utazásokat a Moszkvától több mint 400 kilométerre lévő városba, különösen azután, hogy megismerte Gorkijban *Ninát*, akibe beleszeretett és elvált első feleségétől, 1946-ban feleségül vette. Ezután se élhettek azonban Moszkvában közös háztartásban egészen 1953-ig, Sztálin haláláig. Ninát ugyanis 1944-ben koholt vád (Sztálin elleni merénylet tervezése) alapján letartóztatták. Másfél év múlva amnesztiával kiengedték, de továbbra sem költözhetett Moszkvába, hiába kérvényezték ezt évről évre. Gyermekek nem született, viszont házasságuk több mint hatvan évig, Ginzburg haláláig tartott.

1948-ban Tammot és a Lebegyev Intézetben dolgozó közvetlen munkatársait is bevonták a szovjet nukleáris bombák tervezésének és előállításának titkos munkálataiba. A kiválasztásban szakmai és politikai szempontok egyaránt szerepet játszottak – Pjotr Kapica példája mutatja, hogy mennyire kegyvesztetté válhatott az, aki nem vállalta a közreműködést. Tamm és Ginzburg vállalta, pedig egyikük se tartozott a legmegbízhatóbbak közé. (Ginzburg a felesége, Tamm pedig kivégzett bátyja miatt kerülhetett volna gyanúba.) *A. D. Szaharov* (1921–1989) – a szovjet hidrogénbomba későbbi megtervezője – ekkoriban lett kandidátus Tamm intézetében. Ginzburg emlékezete szerint Szaharovot azért vették be a titkos csoportba, hogy könnyebben kaphasson lakáskiutalást. Az első szovjet atombombát 1949 augusztusában, az első szovjet hidrogénbombát 1953 augusztusában robbantották fel. A hidrogénbomba réteges felépítése – urán-238 és deutériumrétegekből – Szaharov javaslata volt. Az pedig, hogy ebben a deutériumot lítiumdeuterid-

del helyettesítsék, már Ginzburg ötlete. Ginzburg politikailag kényes helyzetére jellemző, hogy az Arzamas-16 fedőnevű titkos bombagyártó helyre 1950-ben már csak Tamm és Szaharov utazhatott el.

A Moszkvában maradt Ginzburg ebben az évben a szupravezetés magyarázatára egy eléggé meglepő fenomenológiai elméletet publikált Landauval. Néhány év múlva ezt az elméletet pontosította Abrikoszov. Azóta már kísérletileg is sikerült láthatóvá tenni a másodfajú szupravezetők esetén a mágneses térben fellépő örvények rácsba rendeződését. A 2003-as fizikai Nobel-díjat is ennek köszönhetően kapta Ginzburg és Abrikoszov.

Van egy harmadik terület is, ahol Ginzburg munkássága fontos eredményekre vezetett, ez pedig az asztrofizika. 1955-ben Ginzburg és a vele egyidős csillagász *I. S. Sklowszkij* (1916–1985) fedezte fel annak kvantitatív bizonyítékát, hogy a Föld közelében megfigyelt kozmikus sugárzás forrásai szupernóvák. Kiderült, hogy a Rák-köd rádiósugárzása mágneses térben spirális pályán gyorsuló elektronoktól származik (szinkrotronsugárzás). És amikor 1969-ben felfedezték a pulzárokat, a szupernóva-robbanásokban keletkező neutroncsillagokat, Ginzburg kiterjesztette elméletét, belefoglalva a pulzárokat is.

De ekkor már nem járt le kozmikus fizikát tanítani Gorkijba, hanem a moszkvai Fizikai-Technikai Intézetben belül alapította meg a Fizikai és Asztrofizikai Problémák Osztályát. 1971-ben meghalt tanára és jötevője, Igor Tamm. Utána Ginzburg lett a Lebegyev Intézet elméleti részlegének vezetője, és az maradt 1988-ig. Ez az akadémiai fizikai kutatóintézet volt a munkahelye több mint fél évszázadon át. Az ötvenes évek közepén indított „szerdai szemináriumok” szervezését és vezetését csak 2001-ben hagyta abba.

Életének utolsó évtizedeiben erős politikai aktivitást fejtett ki. Örök fájdalom volt, hogy nem engedték a Szovjetunióból külföldre utazni. Még 1984-ben is csak úgy engedték volna meg, hogy eleget tegyen a Dán Akadémia meghívásának, amelynek évek óta külső tagja volt, ha egyedül utazik, Moszkvában hagyva – túszul – feleségét. 1991-ben kilépett a Pártból. Szót emelt az újjáéledő antiszemitizmus ellen, támogatta az 1996-os Orosz Zsidók Kongresszusát. „Lelkes ateista” lévén tiltakozott az orosz ortodox egyház növekvő befolyása ellen, ugyanakkor aggódott a tudományért, amelyet eltorzítanak az üzleti szempontok.

Legjobban annak örült, hogy lányára és unokáira sikerült áthagyományoznia a fizika szeretetét. Lánya fizikatörténetből kandidált Moszkvában és egy asztrofizikushoz ment férjhez. Két lányunokája közül az egyik Princetonban védte meg PhD-jét és egy ottani orosz fizikushoz ment férjhez. Önéletrajzában,⁴ amelynek alapján született ez az összefoglaló is, végül is hitet tett a világ sorsának jobbra fordulása mellett, amelynek „szükséges feltétele a történelmi emlékezet megőrzése és a tudomány fejlődése”.

³ *Gorkij* nevét 1932 és 1990 között viselte Nyizsnyij Novgorod, az ottani egyetem 1932 és 1956 között szerepelt ezen a néven. 1932-ben *Sztálin* kívánságára történt a névváltoztatás, miután ebben az évben Gorkij Sztálin hívására visszatért Olaszországból a Szovjetunióba. 1956 óta az egyetem neve ismét Lobacsevszkij Állami Egyetem.

⁴ http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2003/ginzburg-bio.html

A TALAJRÓL KÖSZÖRÜLVE VISSZAPATTANÓ LABDA MECHANIKÁJA – 1. RÉSZ

Mikor pattan föl a labda függőlegesen vagy vissza az eldobó kezébe?

Horváth Gábor, Szferle Tamás

ELTE, Biológiai Fizika Tanszék

Nagy-Czirok Lászlóné Kiszi Magdolna, Gudmon Olivér, Nagy Norbert

Kiskunhalasi Fazekas Mihály Általános Iskola

Asztalitenisz-mérkőzések közben bizonyára már mindenki látott az asztalról furcsán visszapattanó pingponglabdát, ami a nem várt irányban pattant vissza, mondjuk függőlegesen, vagy még meglepőbb módon visszafelé, megzavarva az ellenfelet. E szokatlan visszapattanási irányokat a labda speciális pörgő-köszörülő mozgása okozza. Ilyen rendkívüli visszapattanásokat néha más labdajátékok (például labdarúgás, röp-, kosár- és kézilabda) során is megfigyelhetünk. Vajon milyen feltételek teljesülése mellett pattan vissza egy labda a talajról pont függőlegesen, vagy éppen vissza az eldobó labdajátékos kezébe? Cikkünkben erre válaszolunk. Az 1. részben részletesen tárgyaljuk a talajról köszörülve-gördülve visszapattanó pörgő labda mechanikáját. A 2. részben pedig az elméletileg levezetett speciális visszapattanási irányokat állítjuk elő egy tornateremben kosár- és pingponglabdákkal, és mindezt filmfelvételekkel, illetve a belőlük készült képsorozatokkal szemléltetjük. Írásunkkal egy sportmechanikai példát mutatunk arra, miként kelthető föl a labdajátékokat kedvelő és űző diákok érdeklődése a fizika iránt.

Visszapattanáskor belapuló labda függőleges irányú mozgása

Tekintsük a talajról köszörülve visszapattanó, pörgő labda mozgását. Az R sugarú, gömb alakú labda ω szögsebességgel forogjon vízszintes tengelye körül, ami legyen merőleges a beesési és visszapattanási irány által meghatározott függőleges síkra (1. ábra). A labda súlyát az ütközésnél fellépő nagy talajerő mellett elhanyagolhatjuk, és a behorpadásától eltekintve a labdát merev testnek tekinthetjük.



Nagy-Czirok Lászlóné Kiszi Magdolna mesterpedagógus, a Kiskunhalasi Fazekas Mihály Általános Iskola matematika-fizika szakos tanára és igazgatója. A hatásos tanulási-tanítási eljárások alkalmazása mellett azok fejlesztésével és kutatásával is foglalkozik. A tudástérképek tanulási- és gondolkodásfejlesztő módszeréről könyvet és folyóiratcikket írt. Tapasztalatait pedagógus szakvizsgát adó képzésben a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem oktatójaként is továbbadja.



Horváth Gábor fizikus, az MTA doktora, az ELTE Biológiai Fizika Tanszék Környezetoptika Laboratóriumának vezetője. A vizuális környezet optikai sajátosságait és az állatok látását tanulmányozza, továbbá biomechanikai kutatásokat folytat. Számos szakmai díj és kitüntetés tulajdonosa.



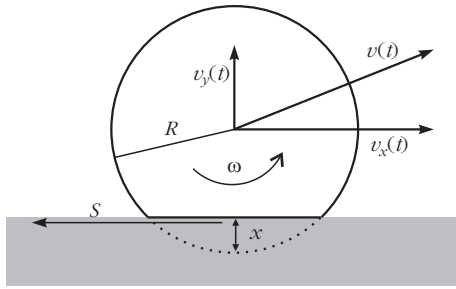
Gudmon Olivér 8. osztályos tanuló, az iskola tehetségprogramjának tagja, informatika és média eszközök és eljárások alkalmazásával, kreatív ötleteivel járul hozzá a projektek sikeréhez.



Szferle Tamás az ELTE fizika-földrajz tanárszakos hallgatója, amatőr rögbijátékos. BSc szakdolgozatát a rögbi fizikájáról írta.



Nagy Norbert 8. osztályos tanuló több területen tehetséggondozott. A Kárpát-medencei prózafelolvasó versenyen különdíjban részesült. Az iskola Bozsik-programban részt vevő focicsapatának egyik erőssége.



1. ábra. A talajról kőszörülve visszapattanó labda jellemzői. R : sugár, x : a labda függőleges irányú benyomódása, S : csúszó súrlódási erő, v : sebességvektor, v_x : vízszintes sebességkomponens, v_y : függőleges sebességkomponens, ω : a vízszintes szögsebességvektor nagysága.

Kőszörülésről akkor beszélünk, ha visszapattanásakor a labda $v_x(t)$ vízszintes sebességkomponense nem egyezik meg a $-R\omega$ kerületi sebességével: $v_x \neq -R\omega$. Ilyenkor csúszási súrlódás lép föl a labda és a talaj között, ami leginkább tenisz- és pingpongmeccseken figyelhető meg, de néha a labdarúgásban és más labdajátékokban is tapasztalhatjuk e jelenséget.

Amikor a labda a talajjal ütközik, kissé benyomódik, amit a következő egyszerű módon bizonyíthatunk: egy labda egyik felét mártjuk vízbe, majd ejtsük egy száraz padlóra. A labda a visszapattanása után egy kerek, nedves foltot hagy a padlón a benyomódása miatt. Ha a visszapattanás egy adott pillanatában a labda R sugara függőleges irányban x -szel csökken (1. ábra), akkor az x -hez tartozó gömöbsüveg

$$V_{Gs} = \frac{\pi}{3} (3R - x) x^2$$

térfogatával csökken a labda

$$V_0 = \frac{4\pi}{3} R^3$$

térfogata. A V_{Gs} térfogatú gömöbsüvegnyi belapulásakor tehát a labdatérfogat $V = V_0 - V_{Gs}$. Mivel a labda visszapattanása igen rövid időn belül megtörténik, ezért a labdabeli gáz ezalatti állapotváltozását adiabatikusnak (a külvilággal való hőcsere nélkülinek) tekinthetjük. A belapuló labdabeli gáz adiabatikus összenyomódására érvényes állapotegyenlet:

$$p_0 V_0^\kappa = p V^\kappa,$$

ahol $\kappa = c_p/c_v$ a labdát töltő gáz (általában levegő) állandó p nyomáshoz, illetve állandó V térfogathoz tartozó c_p , illetve c_v fajhőjének aránya. Az előbbiekből kapjuk a belapuló labdabeli $p(x)$ nyomást az x benyomódás függvényében:

$$p(x) = p_0 \left(\frac{4R^3}{4R^3 + x^3 - 3Rx^2} \right)^\kappa. \quad (1)$$

Amikor a labda benyomódása x , a talajjal egy

$$r(x) = \sqrt{2Rx - x^2}$$

sugarú körfelületen érintkezik, amire a $p(x)$ nyomású

belső gáz által kifejtett erő $p(x)r^2(x)\pi$. A labdára a talaj

$$F(x) = [p(x) - p_L] r^2(x) \pi$$

erővel hat vissza, ahol p_L a légköri nyomás, hiszen a labda alól nem szorul ki a levegő. Ha a labda vizes, vagy vizes aljzatról pattan vissza, akkor egy vízhártya van alatta. Ekkor a vízhártyabeli nyomás közelítőleg megegyezik a p_L légköri nyomással, így a labdára viselkedő talajerő ekkor is $[p(x) - p_L] r^2(x) \pi$, vagyis ekkor is csak a $p(x) - p_L$ túlnyomás számít. Innen adódik az x -szel belapuló, visszapattanó labdára függőlegesen fölfelé ható talajerő nagysága:

$$F(x) = (2Rx - x^2) \pi \left[p_0 \left(\frac{4R^3}{4R^3 + x^3 - 3Rx^2} \right)^\kappa - p_L \right]. \quad (2)$$

Kis benyomódásokkor $x \ll 1$, és ekkor x^2 , x^3 elhanyagolhatóan kicsi. Ekkor (2) a következővel közelíthető:

$$F(x \ll 1) \approx 2\pi R(p_0 - p_L)x \equiv Dx, \quad (3)$$

$$\text{ahol } D = 2\pi R(p_0 - p_L).$$

A föntheik csak akkor érvényesek, ha a labda fala nem merev, mint a pingponglabdáé (ami kilyukasztva is megtartja gömbalakját, hiszen nem a belső töltőgáz külső légköri nyomáshoz képesti túlnyomása fúj föl gömbbé, hanem a labda merev fala tartja a gömbalakot), hanem hajlékony, mint például a kosárlabdáé (ami kilyukasztva elveszíti gömbalakját, összelaffad, mert a töltőgáz túlnyomása fújja föl gömbbé). De pingponglabdánál is igaz, hogy kis x benyomódások mellett a rá visszaható talajerő $F(x \ll 1) \approx Dx$, csak a D állandó (3)-tól eltérő módon számolandó. Ezért – a D állandó pontos kifejezésétől eltekintve – a továbbiak merev falú labdákra is érvényesek.

Newton II. törvénye szerint, kis x benyomódások esetén az m tömegű visszapattanó labda függőleges irányú mozgásának egyenlete

$$F(x) = m \frac{d^2x(t)}{dt^2} = -Dx(t),$$

ami a harmonikus rezgőmozgás egyenlete, és a megoldása $x(t) = A \sin(\Omega t)$, ahol A a rezgés amplitúdója és $\Omega = (D/m)^{1/2} = 2\pi/T$ a körfrekvenciája, ahonnan a rezgés periódusideje

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{D}}.$$

Időbeli szimmetriaokból kifolyólag, a labda talajjal történő ütközésének időtartama

$$t_{\ddot{u}} = \frac{T}{2} = \sqrt{\frac{m\pi}{2R(p_0 - p_L)}} = \frac{\pi}{\Omega} \quad (4.a)$$

és ebből Ω körfrekvenciája:

$$\Omega = \frac{\pi}{t_{\text{ü}}} = \sqrt{\frac{2\pi R(p_0 - p_L)}{m}}. \quad (4.b)$$

Példának okáért, $p_L = 1$ bar légköri nyomás esetén egy $m = 2$ kg tömegű, $p_0 = 2$ bar = $2 \cdot 10^5$ N/m² belső nyomással $R = 0,15$ m sugarúra felfújt kosárlabda (4) szerinti ütközési ideje $t_{\text{ü}} = 14,5$ ms.

Az $x(t) = A \sin(\Omega t)$ idő szerinti deriváltja a labda függőleges irányú sebességét adja:

$$v_y(t) = A \Omega \cos(\Omega t).$$

A labda függőleges sebességösszetevőjének nagysága a talajhoz csapódás $t = 0$ pillanatában $v_y(t=0) = v_{y0} = v_0 \sin \alpha$, ahol v_0 a labda becsapódási sebessége, α pedig a sebességvektor vízszintestől mért, lefelé irányuló szöge. Innen az amplitúdóra kapjuk:

$$A = v_0 \sin \alpha \sqrt{\frac{m}{2\pi R(p_0 - p_L)}}. \quad (5)$$

Végül kapjuk a visszapattanáskor a labdára ható talajerő nagyságát az idő függvényében:

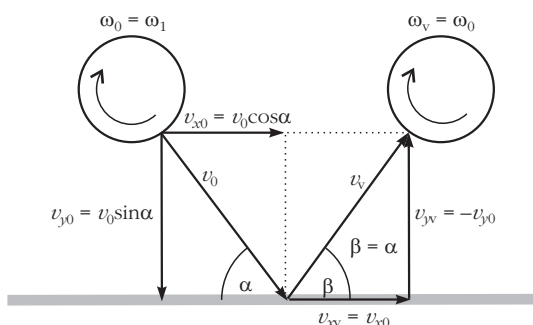
$$F(t) = v_0 \sin \alpha \sqrt{2m\pi R(p_0 - p_L)} \times \sin \left(t \sqrt{\frac{2\pi R(p_0 - p_L)}{m}} \right). \quad (6)$$

$F(t)$ olyan nagy, ami mellett a labda mg súlya elhanyagolható.

Visszapattanás gördülve, köszörülés nélkül

A talajra becsapódó, majd visszapattanó labda nem köszörül, ha a $v_{x0} = v_0 \cos \alpha$ vízszintes sebességösszetevőjének nagysága megegyezik az $R\omega_1$ kerületi sebességgel, és e két sebességvektor ellentétes irányú, azaz a labda vízszintes szögsebességvektora balra

2. ábra. A köszörülés nélkül, gördülve visszapattanó labda sebességvektorainak komponensei és szögsebességei. α : beesési szög, β : visszapattanási szög, az alsó v index a visszapattanás utáni végállapotra utal, míg a 0 index a kezdő értékre.



mutat, a labda haladási iránya felé nézve (2. ábra): $v_{x0} = v_0 \cos \alpha = R\omega_1$, ahonnan a becsapódáskori kezdő szögsebesség nagysága

$$\omega_0 = \omega_1 = \frac{v_0 \cos \alpha}{R}.$$

Mivel a gördülés miatt nem lép fel csúszási súrlódási erő, ezért a labda vízszintes sebességösszetevője nem változik. Ezért a labda β visszapattanási szöge megegyezik az α beesési szöggel (2. ábra): $\alpha = \beta$. Mivel nem lép fel súrlódási erő, ezért a labda forgását sem változtatja meg semmilyen forgatónyomaték, így $\omega = \omega_0 = \omega_1 =$ állandó.

Előre pörgő, a vízszintes sebességet gyorsító köszörülés

A lepattanó labda pörögjön előre, vízszintesen balra mutató ω_0 kezdeti szögsebességvektorral úgy, hogy a hátrafelé mutató kezdeti $v_{k0} = R\omega_0$ kerületi sebessége nagyobb legyen a vízszintes irányú $v_0 \cos \alpha$ kezdősebességénél: $v_{k0} = R\omega_0 > v_0 \cos \alpha = R\omega_1$, ahonnan

$$\omega_0 > \omega_1 = \frac{v_0 \cos \alpha}{R}.$$

Így amikor kezdetben a labda a talajon tartózkodik, egy előre irányuló

$$S = \mu F(t) = m \frac{dv_x}{dt}$$

nagyságú csúszási súrlódási erő gyorsítja vízszintesen, aminek forgatónyomatéka

$$M = SR = \mu RF(t) = -\theta \frac{d\omega}{dt},$$

ahol μ a labda és a talaj közti csúszási súrlódási együttható, θ pedig a labda tehetetlenségi nyomatéka a tömegközéppontján átmenő tengelyre vonatkozóan. E két differenciálegyenletet megoldva kapjuk a labda vízszintes sebességkomponensének ütközés alatti időbeli változására:

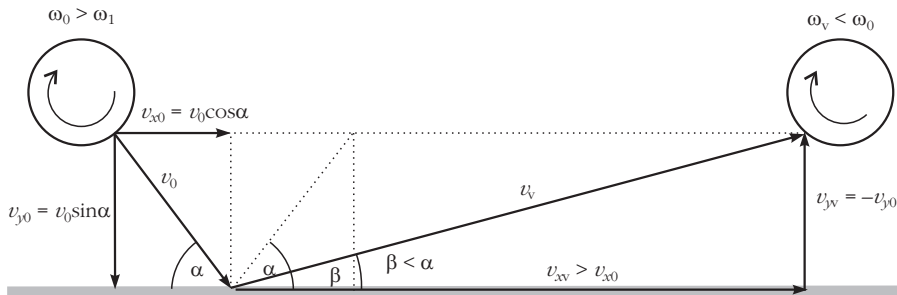
$$v_x(t) = v_0 \cos \alpha + \mu v_0 \sin \alpha [1 - \cos(\Omega t)]$$

és a labda szögsebességére:

$$\omega(t) = \omega_0 - \mu R m v_0 \sin \alpha \frac{1 - \cos(\Omega t)}{\theta}.$$

A labda addig köszörül, amíg az M súrlódási forgatónyomaték miatt lassuló $R\omega(t)$ kerületi sebessége el nem éri az S súrlódási erő miatt növekvő vízszintes $v_x(t)$ sebességösszetevőjét. Ezért a t_{k1} köszörülési időt a $R\omega(t_{k1}) = v_x(t_{k1})$ egyenletből kapjuk:

$$t_{k1} = \frac{1}{\Omega} \arccos \left[1 + \theta \frac{v_0 \cos \alpha - R\omega_0}{\mu v_0 (\theta + m R^2) \sin \alpha} \right]. \quad (7)$$



3. ábra. A vízszintes sebességet köszörüléssel gyorsító, előre pörgő, visszapattanó labda sebességvektorainak komponensei és szögsebességei.

Amikor már a talajon elkezd köszörülésmentesen gördülni a labda, akkor a t_{k1} köszörülési idő kisebb, mint a $t_{ü}$ ütközési idő. Ekkor tehát $t_{k1} < t_{ü}$ és $v_{xv} = v_x(t_{k1}) = R\omega(t_{k1})$, vagyis a labda gördül, és ilyenkor a labda vízszintes végsebesség-komponense

$$v_x(t = t_{k1} < t_{ü}) = \frac{v_0 m R^2 \cos\alpha + \theta R \omega_0}{\theta + m R^2}, \quad (8)$$

valamint β visszapattanási szöge (3. és 4. ábra):

$$\tan\beta(t = t_{k1} < t_{ü}) = \frac{\theta + m R^2}{\theta R \omega_0 + m R^2} \tan\alpha. \quad (9)$$

Lehet olyan eset is, hogy amikor a labda éppen elpattan a talajtól, még mindig köszörül. Ekkor a t_{k1} köszörülési idő nagyobb, mint a $t_{ü}$ ütközési idő: $t_{k1} > t_{ü}$, ahonnan $v_{xv} = v_x(t_{ü}) < R\omega(t_{ü})$, és ilyenkor a labda vízszintes végsebesség-komponense:

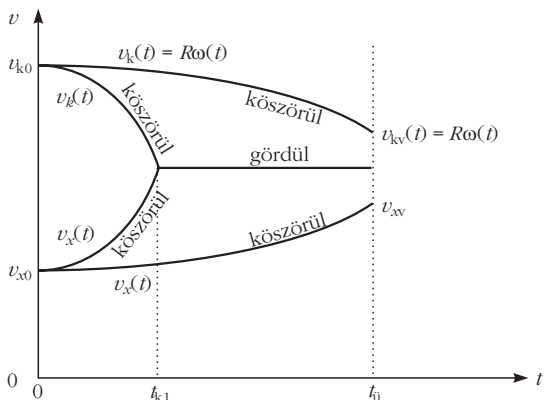
$$v_x(t = t_{ü} < t_{k1}) = v_0 (\cos\alpha + 2\mu \sin\alpha), \quad (10)$$

valamint β visszapattanási szöge (3. és 4. ábra):

$$\tan\beta(t = t_{ü} < t_{k1}) = \frac{\tan\alpha}{1 + 2\mu \tan\alpha}. \quad (11)$$

Ilyenkor tehát a β visszapattanási szög kisebb lesz az α beesési szögnél a következő határértékekkel (3.

4. ábra. A vízszintes sebességet köszörüléssel gyorsító, előre pörgő, visszapattanó labda vízszintes sebességkomponensének és kerületi sebességének időbeli változása a talajjal való érintkezés során, azon eset feltüntetésével, amikor a köszörülés a $t = t_{k1} < t_{ü}$ időpontban gördülésbe megy át még a $t_{ü}$ ütközési idő előtt.



ábra): $\beta(t = t_{k1} < t_{ü}, \omega_0 \rightarrow \infty) = 0$, $\beta(t = t_{k1} < t_{ü}, \omega_0 = \omega_1) = \alpha$. A 4. ábra vázlatosan szemlélteti a vízszintes sebességet köszörüléssel gyorsító, előre pörgő, visszapattanó labda vízszintes sebességkomponensének és kerületi sebességének időbeli változását a talajjal való érintkezés során azon eset feltüntetésével, amikor a köszörülés a $t = t_{k1}$

$< t_{ü}$ időpontban gördülésbe megy át, még a $t_{ü}$ ütközési idő előtt.

Előre pörgő, a vízszintes sebességet lassító köszörülés

Pörögjön a lepattanó labda előre, vízszintesen balra mutató ω_0 kezdeti szögsebességvektorral úgy, hogy a hátrafelé mutató kezdeti $u_{k0} = R\omega_0$ kerületi sebessége kisebb legyen a vízszintes irányú $v_0 \cos\alpha$ kezdősebességénél: $0 \leq u_{k0} = R\omega_0 < v_0 \cos\alpha = R\omega_1$, ahonnan:

$$0 \leq \omega_0 < \omega_1 = \frac{v_0 \cos\alpha}{R}.$$

Így amikor kezdetben a labda a talajon tartózkodik, egy hátra irányuló

$$S = \mu F(t) = -m \frac{dv_x}{dt}$$

nagyságú csúszási súrlódási erő lassítja vízszintesen, aminek forgatónyomatéka

$$M = SR = \mu RF(t) = \theta \frac{d\omega}{dt}.$$

E két mozgásegyenletet megoldva kapjuk a labda vízszintes sebességkomponensének időbeli változására az ütközés alatt:

$$v_x(t) = v_0 \cos\alpha - \mu v_0 \sin\alpha [1 - \cos(\Omega t)] \quad (12)$$

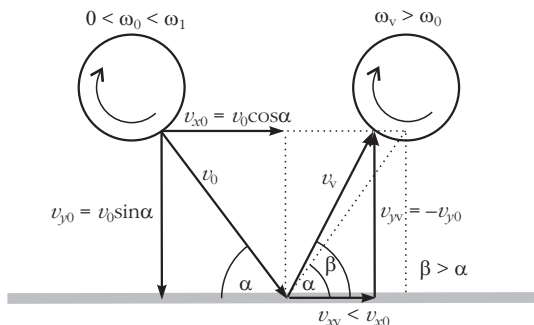
és a labda szögsebességére:

$$\omega(t) = \omega_0 + \mu R m v_0 \sin\alpha \frac{1 - \cos(\Omega t)}{\theta}. \quad (13)$$

A labda addig köszörül, amíg az M súrlódási forgatónyomaték miatt gyorsuló $R\omega(t)$ kerületi sebessége el nem éri az S súrlódási erő miatt csökkenő vízszintes $v_x(t)$ sebességösszetevőjét. Ezért a t_{k2} köszörülési időt megint az $R\omega(t_{k2}) = v_x(t_{k2})$ egyenlet adja, ahonnan:

$$t_{k2} = \frac{1}{\Omega} \arccos \left[1 - \theta \frac{v_0 \cos\alpha - R\omega_0}{\mu v_0 (\theta + m R^2) \sin\alpha} \right]. \quad (14)$$

Mikor már a talajon elkezd köszörülésmentesen gör-



5. ábra. A vízszintes sebességet köszörüléssel lassító, előre pörgő, visszapattanó labda sebességvektorainak komponensei és szögsebességei.

dülni a labda, akkor a t_{k2} köszörülési idő kisebb, mint a $t_{ü}$ ütközési idő. Ekkor a labda $v_x(t=t_{k2} < t_{ü})$ vízszintes végsebesség-komponensét (8) és a $\beta(t=t_{k2} < t_{ü})$ visszapattanási szögét (9) írja le (5. és 6. ábra).

Lehet olyan eset is, hogy amikor a labda éppen elpattanna a talajtól, még mindig köszörül. Ekkor a t_{k2} köszörülési idő nagyobb, mint a $t_{ü}$ ütközési idő: $t_{k2} > t_{ü}$, amikor $v_{xv} = v_x(t_{ü}) > R\omega(t_{ü})$ és a labda még mindig köszörül, és ilyenkor a labda vízszintes végsebesség-komponense

$$v_x(t = t_{ü} < t_{k2}) = v_0 (\cos\alpha - 2\mu \sin\alpha),$$

és β visszapattanási szögének tangense

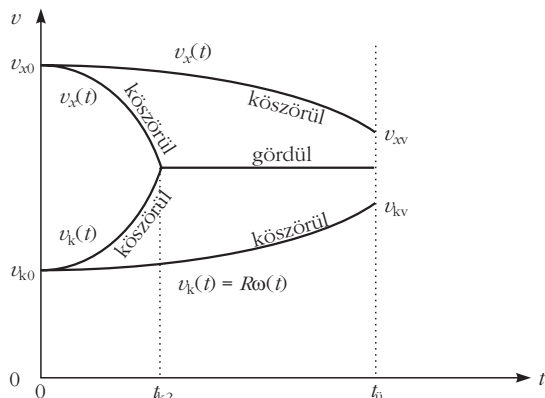
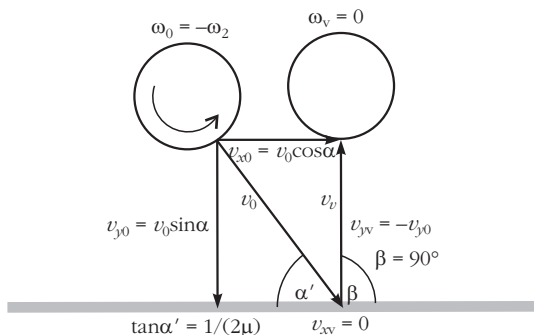
$$\tan\beta(t = t_{ü} < t_{k2}) = \frac{\tan\alpha}{1 - 2\mu \tan\alpha}$$

(5. és 6. ábra). Ilyenkor tehát a β visszapattanási szög nagyobb lesz az α beesési szögnél a következő határértékekkel (5. ábra): $\beta(t = t_{k2} < t_{ü}, \omega_0 = \omega_1) = \alpha$ és

$$\tan\beta(t = t_{k2} < t_{ü}, \omega_0 = 0) = \frac{\theta + m R^2}{m R^2} \tan\alpha.$$

Amint az ω_0 kezdő szögsebesség csökken, a β visszapattanási szög nő, és β a $\beta(\omega_v = \omega_1) = \alpha \leq \beta \leq \beta(\omega_0 = 0)$ tartományban marad. A 6. ábra vázlatosan szemlélteti a vízszintes sebességet köszörüléssel lassító, előre pörgő, visszapattanó labda vízszintes sebességkomponensének és kerületi sebességének időbeli változását a talajjal való érintkezés során

7. ábra. Függőlegesen fölfelé visszapattanó labda sebességvektorainak komponensei és szögsebességei, amikor a visszapattanás után a labda nem forog: $\omega_v = 0$.



6. ábra. A vízszintes sebességet köszörüléssel lassító, előre pörgő, visszapattanó labda vízszintes sebességkomponensének és kerületi sebességének időbeli változása a talajjal való érintkezés során, azon eset feltüntetésével, amikor a köszörülés a $t = t_{k2} < t_{ü}$ időpontban gördülésbe megy át még a $t_{ü}$ ütközési idő előtt.

azon eset feltüntetésével, amikor a köszörülés a $t = t_{k2} < t_{ü}$ időpontban gördülésbe megy át még a $t_{ü}$ ütközési idő előtt.

Hátrafelé pörgő, a vízszintes sebességet lassító köszörülés

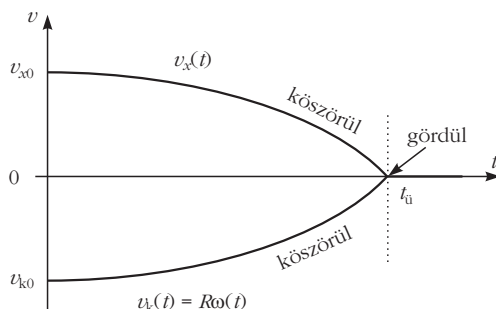
Vegyük most azt az esetet, amikor a labda hátrafelé pörög, vagyis szögsebességvektora jobbra mutat a labda haladási iránya felé nézve, azaz $\omega_0 \leq 0$. Ekkor a következő három speciális esetet vizsgáljuk: (i) függőleges fölfelé visszapattanás, (ii) hátrafelé visszapattanás a beesési szögben és (iii) hátrafelé visszapattanás, a végén gördüléssel.

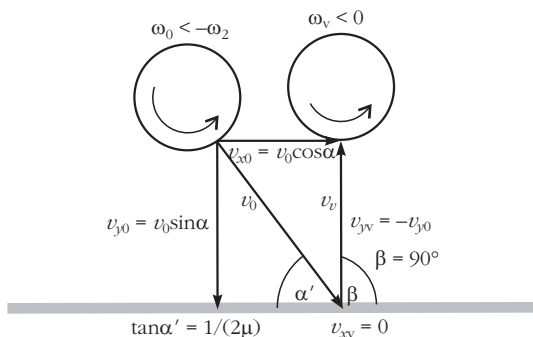
Függőleges fölfelé visszapattanás

Ha a labda pont függőlegesen pattan vissza, akkor a visszapattanási szög $\beta = 90^\circ$. A korábbiak alapján a vízszintes sebességösszetevőt (12) írja le, míg a szögsebesség időbeli változását (13). $\beta = 90^\circ$ akkor teljesül, ha $v_x(t_{ü}) = 0$, ahol $t_{ü}$ a (4) szerinti ütközési idő. Innen kapjuk az α' beesési szögére:

$$\tan\alpha' = \frac{1}{2\mu}, \quad (15)$$

8. ábra. Függőlegesen fölfelé visszapattanó labda vízszintes sebességkomponensének és kerületi sebességének időbeli változása a talajjal való érintkezés során, amikor a visszapattanás után a labda nem forog: $\omega_v = 0$.





9. ábra. Függőlegesen fölfelé visszapattanó labda sebességvektorainak komponensei és szögsebességei, amikor a visszapattanás után a labda forog: $\omega_v < 0$.

és a visszapattanó labda ω_v végső szögsebességére:

$$\omega_v \left(t_u, \tan \alpha' = \frac{1}{2\mu} \right) = \omega_0 + \omega_2 \leq 0, \quad (16)$$

$$\text{ahol } \omega_2 = \frac{2\mu m R v_0}{\theta \sqrt{1 + 4\mu^2}} > 0.$$

Tehát a labda csak akkor pattan vissza pont függőlegesen, ha a beesési szöge

$$\alpha' = \arctan \left(\frac{1}{2\mu} \right),$$

a visszapattanás utáni végsőszögsebessége pedig a (16) szerinti.

A függőlegesen visszapattanó labda visszapattanás utáni szögsebességére két eset lehetséges: a visszapattanó labda (i) nem forog, (ii) hátrafelé forog.

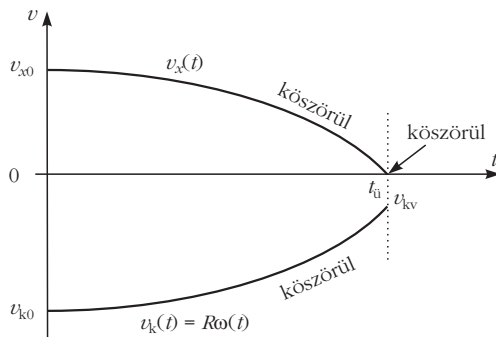
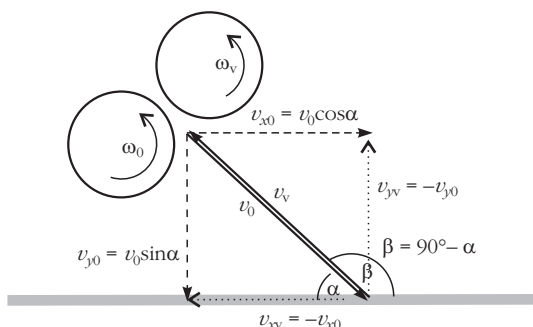
A függőlegesen visszapattant labda nem forog

A (16) összefüggés szerint a függőlegesen visszapattanó labda nem forog, azaz $\omega_v = 0$, ha $\omega_0 = -\omega_2$. Ekkor a 7. és 8. ábra mutatja a visszapattanó labda sebességvektorainak komponenseit és szögsebességeit, valamint vízszintes sebességkomponensének és kerületi sebességének időbeli változását a talajjal való érintkezés során.

A függőlegesen visszapattant labda hátrafelé forog

A (16) összefüggés szerint a függőlegesen visszapattant labda hátrafelé forog, vagyis $\omega_v < 0$, ha $\omega_0 < -\omega_2$.

11. ábra. A hátrafelé visszapattanó labda sebességvektorainak komponensei és szögsebességei.



10. ábra. Függőlegesen fölfelé visszapattanó labda vízszintes sebességkomponensének és kerületi sebességének időbeli változása a talajjal való érintkezés során, amikor a visszapattanás után a labda hátrafelé forog: $\omega_v < 0$.

Ekkor a 9. és 10. ábra mutatja a visszapattanó labda sebességvektorainak komponenseit és szögsebességeit, valamint vízszintes sebességkomponensének és kerületi sebességének időbeli változását a talajjal való érintkezés során.

Hátrafelé visszapattanás a beesési szögben

Tekintsük azt a speciális esetet, amikor a labda ugyanabban az irányban pattan vissza, mint ahonnan érkezett. Ekkor a visszapattanási szög $\beta = 180^\circ - \alpha = \pi - \alpha$.

A labda $v_x(t)$ vízszintes sebességösszetevőjének és $\omega(t)$ szögsebességének időbeli változását (12) és (13) írja le. A 11. ábráról leolvashatóan:

$$\tan(\beta = \pi - \alpha) = -\tan \alpha = \frac{v_0 \sin \alpha}{v_x(t_u)}. \quad (17)$$

(12) és (17)-ből kapjuk:

$$\tan \alpha'' = \frac{1}{\mu}, \quad (18)$$

és (18)-at (13)-ba helyettesítve adódik a beesési szögben hátrafelé visszapattanó labda ω_v végsőszögsebességére:

$$\omega_v \left(t_u, \tan \alpha'' = \frac{1}{\mu} \right) = \omega_0 + \omega_3 < 0, \quad (19)$$

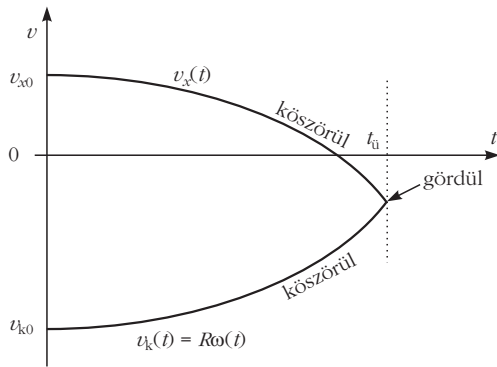
$$\text{ahol } \omega_3 = \frac{2\mu m R v_0}{\theta \sqrt{1 + \mu^2}} > 0.$$

Tehát a labda csak akkor pattan vissza hátrafelé pont a beesési szögben, ha a beesési szöge

$$\alpha'' = \arctan \left(\frac{1}{\mu} \right)$$

és ekkor a visszapattanás utáni szögsebessége a (19) szerinti.

A beesési szögben hátrafelé visszapattanó labda a talajtól való elválás pillanatában már éppen gördül, de előtte végig köszörül, ha az elválás pillanatában a kerületi sebességének nagysága megegyezik a víz-



12. ábra. A beesési szögben hátrafelé visszapattanó labda vízszintes sebességkomponensének és kerületi sebességének időbeli változása a talajjal való érintkezés során, amikor a talajtól való elválás pillanatában a labda csúszásmentesen gördül, de előtte végig kőszörül: $v_x(t_0, \alpha'') = R\omega(t_0, \alpha'')$.

szintes sebességkomponensével:

$$v_x(t_0, \alpha'') = v_k(t_0, \alpha'') = R\omega(t_0, \alpha''), \quad (20)$$

ahol t_0 és α'' kifejezését (4) és (18) szolgáltatja. A (20) összefüggés csak akkor teljesül, ha a labda kezdeti szögsebessége

$$\omega_0 = \omega_4 = -\frac{\mu v_0 (\theta + 2mR^2)}{R\theta\sqrt{1+\mu^2}} < 0. \quad (21)$$

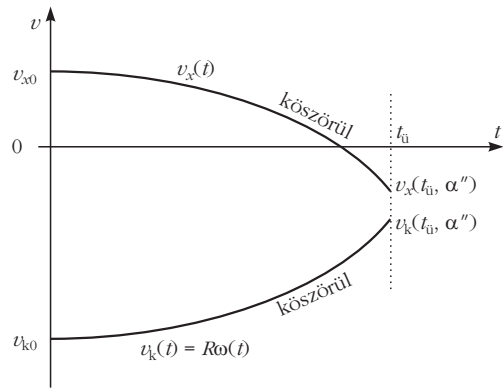
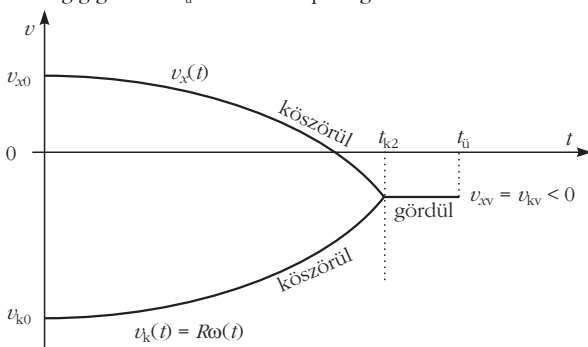
Ekkor a 12. ábra mutatja a labda vízszintes sebességkomponensének és kerületi sebességének időbeli változását a talajjal való érintkezés során.

Ha viszont $\omega_0 < \omega_4$, akkor $v_x(t_0, \alpha'') > R\omega(t_0, \alpha'')$, vagyis a beesési szögben hátrafelé visszapattanó labda a talajjal való érintkezés alatt végig kőszörül: $v_x(t, \alpha'') > R\omega(t, \alpha'')$. Ekkor a 13. ábra mutatja a labda vízszintes sebességkomponensének és kerületi sebességének időbeli változását a talajjal való érintkezés során.

Hátrafelé visszapattanás, a végén gördüléssel

A hátrafelé visszapattanó labda kőszörülése abban a t_{k2} időpontban szűnik meg és kezd el gördülni, amikor a v_x vízszintes sebességkomponense egyenlő lesz

14. ábra. A hátrafelé visszapattanó labda vízszintes sebességkomponensének és kerületi sebességének időbeli változása a talajjal való érintkezés során, amikor a labda a t_{k2} időpontig kőszörül, majd utána végig gördül a t_0 ütközési időpontig.



13. ábra. A beesési szögben hátrafelé visszapattanó labda vízszintes sebességkomponensének és kerületi sebességének időbeli változása a talajjal való érintkezés során, amikor a talajjal való érintkezés alatt a labda egyfolytában kőszörül: $v_x(t, \alpha'') > R\omega(t, \alpha'')$.

a v_k kerületi sebességének nagyságával: $v_x(t_{k2}) = v_k(t_{k2}) = R\omega(t_{k2}) < 0$, $\omega_0 < 0$, ami (12) és (13) felhasználásával a (14) szerinti t_{k2} kőszörülési időpontra vezet. Ekkor a 14. ábra mutatja a hátrafelé visszapattanó labda vízszintes sebességkomponensének és kerületi sebességének időbeli változását a talajjal való érintkezés során.

Végül határozzuk meg annak feltételét, hogy a talajjal való érintkezés során egy darabig kőszörül, majd végül egy ideig gördülő labda mikor pattan vissza hátrafelé pontosan a beesési szögben, amikor $\beta = \pi - \alpha$. Ekkor a 11. ábráról leolvashatóan:

$$\tan(\beta = \pi - \alpha) = -\tan\alpha = \frac{v_0 \sin\alpha}{v_x(t_{k2})}.$$

Ennek, valamint (12) és (14) felhasználásával kapjuk:

$$\omega_0 = \omega_5 = -\frac{\theta + 2mR^2}{\theta R} v_0 \cos\alpha < 0. \quad (22)$$

(13), (14) és (22)-ből kapjuk a visszapattanó labda végszögsebességére:

$$\omega(t_k) = -\frac{v_0 \cos\alpha}{R} < 0. \quad (23)$$

Ha tehát a labda kezdő szögsebessége a (22) szerinti ω_5 , akkor hátrafelé éppen a beesési szögben ($\beta = \pi - \alpha$) pattan vissza, és kőszörülése gördüléssé alakul még a talajtól való elválás előtt, végszögsebessége pedig a (23) szerinti lesz.



Cikkünkben csak olyan függőleges síkban történő visszapattanásokkal foglalkoztunk, amikor a pörgő labda szögsebességvektora vízszintes. A ferdén pörgő labda általános esete bonyolult, mert ekkor a beesési és visszapattanási irány, valamint a vízszintes aljzat normálvektora nem esik egy síkba.

Irodalom

Szferle Tamás: *Fizika a rögbiben*. B.Sc. Diplomamunka, ELTE TTK, Biológiai Fizika Tanszék, Budapest (2016) (témavezető: Horváth G.)

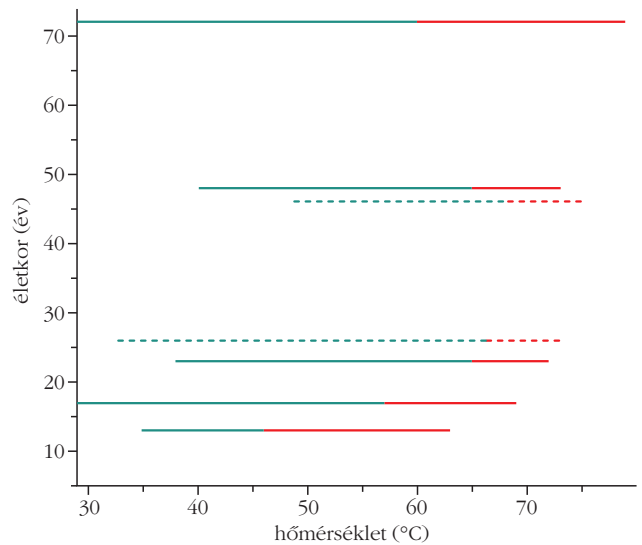
A gimnáziumi fizikaórák közötti szünetben többször megfigyeltem, hogy a kollégisták tízóraiájához gyakran adnak teát is. Egy műanyagkancsóból öntötték szét a teát a diákok műanyagpoharakba és nagy kedvvel szürcsölték a forró italt, mások egy ideig vártak, mert túl forrónak érezték a teát. Ezt követően az egyik fizikaórán a 10. osztályban a termodinamika főtételeivel foglalkoztunk, így kapóra jött, hogy a teázásról is beszéljünk. A beszélgetés során kiderült, hogy igen sok diák szereti a teát, de csak bizonyos hőmérsékleten. Hátránynak vetették fel, hogy csak igen kis ideig áll rendelkezésre ez a hőmérséklet és túl sokat kell várni erre a pillanatra. Felvettem, mi lenne, ha tüzetesebben megvizsgálnánk a tea lehűlését, méréseket végeznénk, és elgondolkozhatnánk azon, hogyan csökkenthetnénk gyorsabban a forró tea hőmérsékletét és tarthatnánk hosszabb ideig a fogyasztásra alkalmas hőfokon.

A diákok elsőként olyan cikkeket kerestek az interneten, amelyekben a tea fogyasztási hőmérsékletéről írnak. Az egyik cikk arról számolt be, hogy a 65 °C feletti hőmérsékletű tea fogyasztása erősen ronsolja a torok nyálkahártyáját, ezért a forró italok tartós fogyasztása egészségkárosító hatással lehet az emberi szervezetre [1]. Egy másik írásban a kiborult forró tea bőrre gyakorolt hatásairól olvashattunk. A cikkek nyomán felvettem a kérdést, vajon kinek mi a forró? Házi feladatként adtam a diákoknak, hogy mérjék meg azt a hőmérséklet-intervallumot, amelyen szívesen fogyasztják ők és családtagjaik a teájukat (1. ábra). A cikkekben olvasottak alapján mindenkinek felhívtam a figyelmét a lehetséges balesetveszélyre.

A mérés – bár egyszerűen kivitelezhetőnek tűnt – sok nehézséget okozott. A háztartásokban például általában nem található olyan hőmérő, amely közel 100 °C-os mérőhatárral rendelkezik, sok a szubjektív tényező, sokan nem tudnak „szürcsölni”, hogy csak a leggyakoribb problémákat említsem. A néhány értékelhető adatból mégis kiderült, hogy az ihatósági felső határ kevésbé szubjektív (az alsó határhoz képest) és a kor előrehaladtával a magasabb hőmérsékleti tartományokba tolódik ki. Teljesen szubjektív, hogy kinek és mikor hideg a tea, ez akár hangulatunktól is függhet, de teafajtánként is eltérő lehet. A mérések ki-



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



1. ábra. A grafikon az ihatósági tartomány meghatározására készült. Balra az iható, jobbra a szürcsölve iható tartomány (a szaggatott vonalak a női alanyok adatait mutatják).

értékelése után megállapodtam a csoporttal, hogy az ihatósági tartományt az irodalom és a mérések alapján 35 °C és 65 °C között rögzítjük.

A teavíz hűlési görbéjének meghatározása

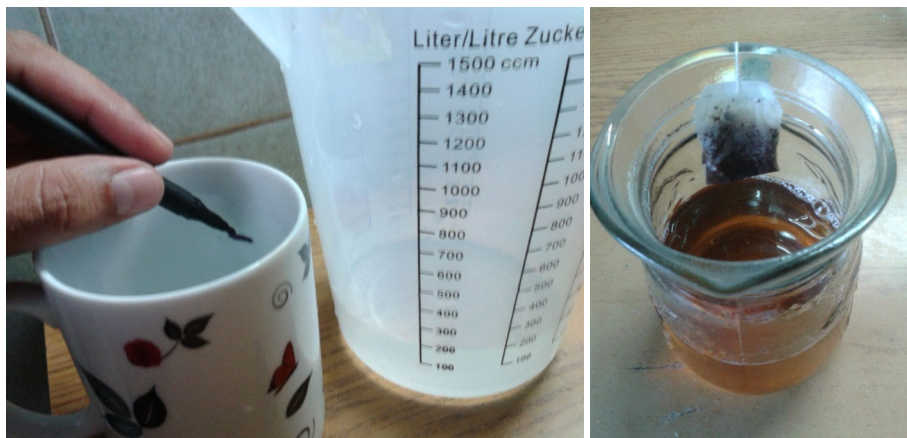
A továbbiakban – egy bevezető otthoni kísérlettel (2. ábra) – a teavíz hőmérsékletének időbeli változását vizsgáltuk meg.

Az otthoni kísérletekhez az alábbi útmutatót fogalmaztam meg:

Szükséges eszközök: vízforraló, kancsó, hőmérő, stopper, csésze, teafilter, édesítőszer, citromlé, kanál, lábas, számítógép, internet.

- Mérd meg a konyha levegőjének hőmérsékletét!
- Tölts porceláncsészébe 2 dl vizet, majd alkoholos filccel jelöld meg belülről a vízszintet!
- Forrald fel a vizet (1 liter) (nézz utána, mitől is függ a forráspont)!
- Ízesítsd be a teát a kancsóban! (10 édesítő tableta és 2 evőkanál citromlé)
- Önts a kancsóból 2 dl teát a csészébe, majd folyamatos kavargatás közben percnként jegyezd fel a tea hőmérsékletét! (A kapott értékekből készíts táblázatot, majd ábrázd a hőmérsékletet az idő függvényében!)
- A kísérlettel párhuzamosan egy másik kalibrált csészébe is önts 2 dl teát, úgy, hogy a csészét egy

Köszönettel tartozom Stonawski Benjaminnek a teázással kapcsolatos ötleteiért, a Nagycsedi Református Gimnázium 10–11. osztályos tanulóinak a közös munkáért, Balogh Lászlónénak a kettős falú csésze művészi kivitelezéséért, valamint Gálik Tamásnak az e-bögre megálmodójának.



2. ábra. Előkészületek a méréshez. A teáscsésze belső részében alkoholos filctollal jelöltük be a 2 dl folyadék szintjét. Az ízesítést és a teagaz áztatását külön üveggancsóban végeztük el.

nagyobb fazékba teszed, amit hideg csapvízzel töltesz fel! (A csapvíz hőmérsékletét jegyezd fel!)

- A csapvizet és a teavizet folytonosan kevergesd, és hőmérsékletüket percenként olvasd le (két külön hőmérővel)! Ha nincs rá mód, csak a tea hőmérsékletét mérd! (Az értékeket foglald táblázatba és ábrázold grafikonon az összetartozó mennyiségeket!)

- A kísérletet legalább 3 különböző napon végezd el, hogy más kiindulási hőmérséklet és nyomásérték mellett is mérjünk!

- A csészéket a kísérlet előtt ne fogdossuk, legyen elég ideje, hogy felvegye a környezete hőmérsékletét!

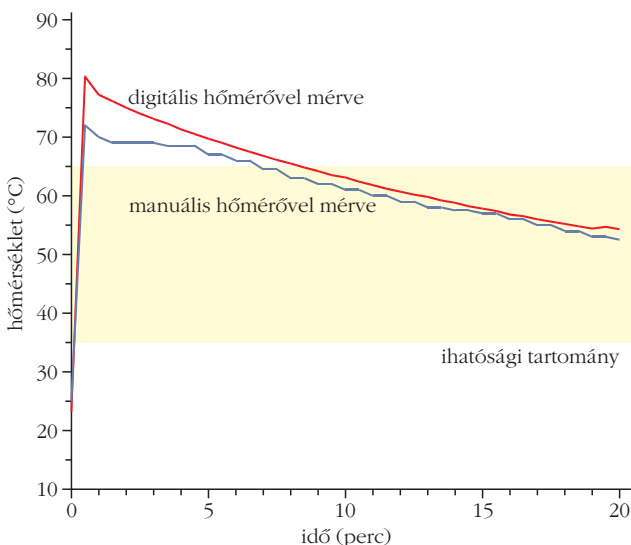
- A csészék tömegét is mérd le!

- Készíts a kísérletekről fénykép-dokumentációt, amelyeken jól látható a csésze, a lábas és a mérés egy-egy fázisa!

- Extra feladat: a tea hűtésére találjunk ki praktikus készüléket!

Az otthoni manuális kísérletek mérési eredményeit összehasonlítottuk a szakkörön digitális hőmérővel mért értékekkel (a digitális méréseket az Xplorer Pas-

3. ábra. A manuálisan és a digitális eszközzel azonos körülmények között mért adatokból készült grafikonon jól megfigyelhető a profilhasonlóság. A további méréseket digitális eszközzel folytattuk.



co Glx készülékkel végeztük [3]). A grafikonok profiljai jó egyezést mutattak (3. ábra). Mivel a digitális hőmérővel végzett kísérletek során az adatfeldolgozás lényegesen gyorsabb volt, megegyeztünk a diákokkal, hogy a kísérletek további részében ezt a módszert fogjuk alkalmazni. Ezáltal lehetőség nyílik különböző anyagból készült poharakba töltött tea hűlési görbéinek gyors összehasonlítására.

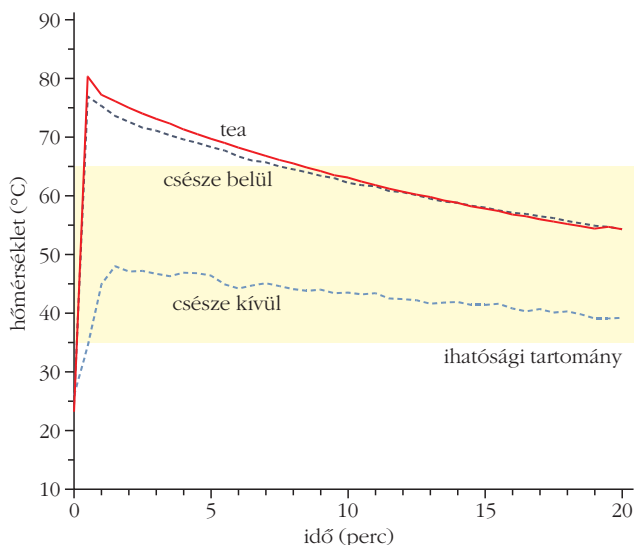
Kezünk bőrfelülete közvetlenül érintkezik a pohár külső részével, a forró érzés, az

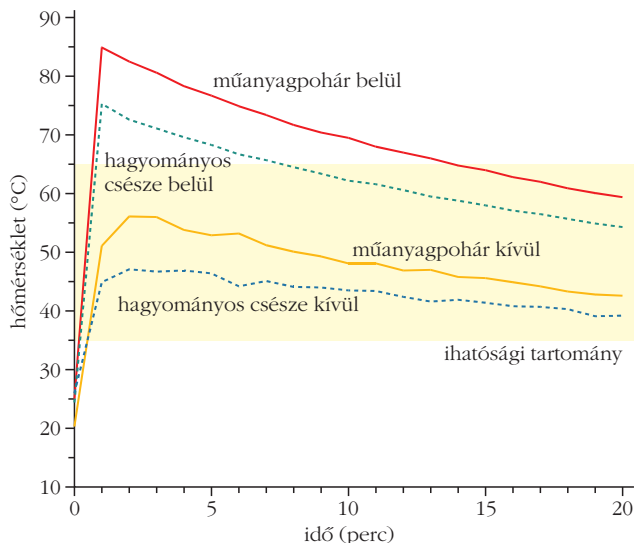
esetleges égési sérülés elkerülésére a további méréseket két szenzor segítségével végeztük, így egy időben két hely hőmérsékleti adatait is össze tudtuk hasonlítani. Kíváncsiak voltunk, hogy a pohár belső felületének hőmérséklete mennyivel tér el a teavíz hőmérsékletétől, ezért az egyik szenzort a pohár belső felületéhez erősítettük, míg a másikat a teavíz közepébe lógattuk (4. ábra). A mérés szerint a két hőmérsékletérték csak csekély mértékben tért el egymástól, ezért úgy döntöttünk, hogy a továbbiakban a belógatás helyett a pohár belső falára rögzítjük az egyik szenzort (praktikussági szempontok által vezérelve).

Különböző anyagokból készült poharakkal végzett kísérletek

A kerámiacsészével elvégzett kísérletek után elhatároztuk, hogy más anyagból készült bögrékkel is elvégezzük az alapkísérletet.

4. ábra. A grafikon egyidejűleg mutatja a tea és csésze belső és külső falának hőmérsékletét. A tea hőmérséklete közel azonos a csésze belső falának hőmérsékletével, ezért praktikussági megfontolások miatt a továbbiakban a belső falon mértük a hőmérsékletet, és ezt feleltettük meg a tea hőmérsékletének.





5. ábra. A grafikon jól mutatja, hogy a műanyagcsésze kevésbé elégti ki a teázás követelményeit: majdnem kétszer annyi idő alatt hűl az ihatósági határ alá, mint a hagyományos csésze, és a külső fala is jóval magasabb hőmérsékletű.

Műanyagpohár

A műanyagpohárban a tea több, mint 13 perc után érte el az iható hőmérsékletet, tehát ezt használva teázásra majdnem kétszer annyi ideig kell várni a fogyasztásig, mint a kerámiacsészenél. A műanyagpohár külső hőmérséklete a 2. percben átlépte az 50 °C-ot (5. ábra), ami kellemetlen és hosszabb ideig fogva káros hatást gyakorol a kezünkre. A mérés alapján a teázásra sokkal alkalmasabb a kerámiacsésze.

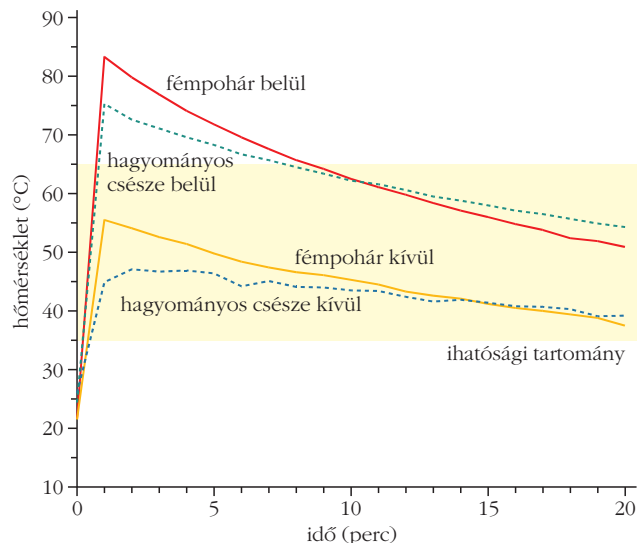
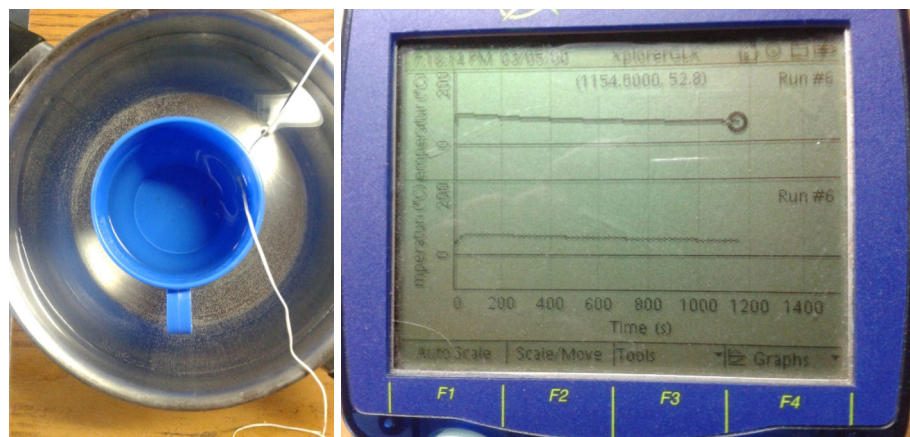
Fém pohár

A fém pohárban (6. ábra) a tea nagyjából azonos idő múlva kerül az iható tartományba, mint a kerámiacsészenél, de a pohár külső része közel 1 perc múlva már az 50 °C feletti hőmérsékletre melegszik fel, ami veszélyes, ezért kerülendő a tartós érintkezés.

Vízköpennyel körülvett pohár

A korábbi grafikonokat elemezve ismét megfogalmaztuk azon kívánalmainkat, amelyek ideálisak le-

7. ábra. A szobahőmérsékletű vízköpennyel ellátott teás pohár külső és belső falának hőmérsékletét méri a digitális eszköz az idő függvényében.



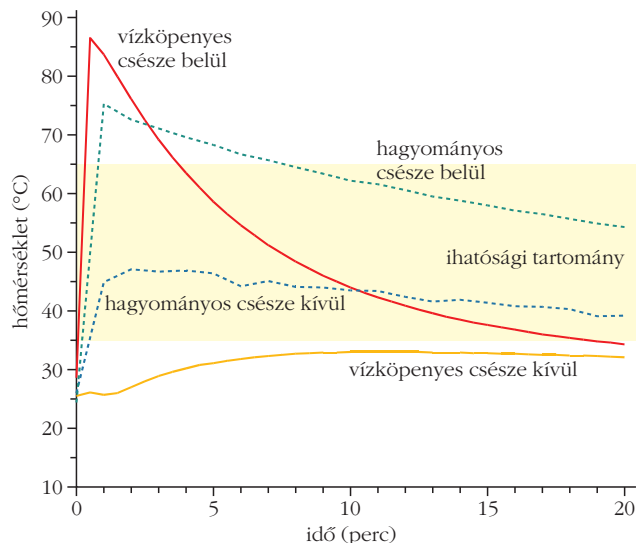
6. ábra. A fém pohár közel azonos idő alatt éri el az ihatósági határ felső részét, viszont a pohár külső része veszélyesen felmelegszik.

hetnek a teaivás közben. Ezek egyike az volt, hogy a tea minél hamarabb hűljön le az ihatósági határok közé, a másik fontos szempont pedig, hogy hőmérséklete tartósan maradjon is ebben a tartományban. Megbeszéléseink alapján beláttuk, hogy a szempontok teljesüléséhez egy olyan (nem túl nagy) hőtartállyal kellene kapcsolatba kerülni a teának, amely rövid idő alatt nagyobb mennyiségű hőt tudna átvenni tőle, azaz olyan anyagúnak kell lennie, amelynek nagy a fajhője. A fajhőtáblázatokat tanulmányozva ismertük fel a víz elsődlegességét, amely ráadásul kiemelkedően magas fajhője mellett „könnyen beszerezhető” anyag.

A csészét egy szobahőmérsékletű vízzel telt lábasba helyeztük, majd a rendszeren elvégeztük az alapkísérletet (7. ábra). (A lábasba éppen annyi szobahőmérsékletű vizet öntöttünk, hogy magassága meg egyezzen a csésze folyadékszintjével.)

A grafikonon jól látható (8. ábra), hogy a hűlési idő meglehetősen – mintegy felére – csökkent, 8 percről körülbelül 4 percre, ami a gyors fogyasztás tekintetében előnyös, de igen hamar az alsó ihatósági határ alá hűlt (17 perc), azaz kevesebb ideig maradt az élvezhetőségi intervallumban.

A továbbiakban célul tűztük ki a rendszer kialakult közös hőmérsékletének emelését. Ideális közös hőmérsékletnek az ihatósági tartomány közepénél kissé magasabb hőmérsékletet (55 °C-ot) választottuk. Az elemzések során kiderült, hogy a külső vízköpeny térfogatától döntően függ a kialakult közös hőmérséklet. Ahhoz, hogy közelítőleg ki tudjuk számolni a ked-



8. ábra. A vízköpenyes hűtéssel sokkal gyorsabban éri el a tea a felső ihatósági határt, hátránya viszont, hogy kevesebb ideig marad az ihatósági intervallumban.

vező hőmérsékletéhez szükséges hűtővíz mennyiségét, a termodinamika I. főtétele,

$$Q_{\text{le}} = Q_{\text{fel}}, \quad (1)$$

alkalmaztuk, azaz jelen esetben:

$$c_{\text{tea}} m_{\text{tea}} \Delta T_1 = c_{\text{víz}} m_{\text{víz}} \Delta T_2 + c_{\text{pohár}} m_{\text{pohár}} \Delta T_3 + Q_{\text{környezet}} \quad (2)$$

Jó közelítéssel:

$$c_{\text{tea}} = c_{\text{víz}}, \quad \Delta T_2 = \Delta T_3, \quad (3)$$

$$Q_{\text{környezet}} \approx 0 \text{ J},$$

ezért (2) egyenletet átírva kapjuk:

$$c_{\text{víz}} m_{\text{tea}} \Delta T_1 = (c_{\text{víz}} m_{\text{víz}} + c_{\text{pohár}} m_{\text{pohár}}) \Delta T_2. \quad (4)$$

Kifejezve (4)-ből a víz tömegét és behelyettesítve az

$$m_{\text{tea}} = 0,2 \text{ kg}, \quad T_k = 55 \text{ }^\circ\text{C}, \quad (5)$$

$$T_1 = 85 \text{ }^\circ\text{C}, \quad T_2 = 25 \text{ }^\circ\text{C}.$$

ismert adatokat:

$$m_{\text{víz}} = \frac{m_{\text{tea}} \Delta T_1}{\Delta T_2} - \frac{c_{\text{pohár}}}{c_{\text{víz}}} m_{\text{pohár}} = \frac{0,2 \text{ kg} \cdot 30 \text{ }^\circ\text{C}}{30 \text{ }^\circ\text{C}} - \frac{0,8}{4,2} \cdot 0,35 \text{ kg} \approx 0,1 \text{ kg}.$$

Tehát a számítások szerint a 2 dl-es csészében lévő teát 1 dl vízfürdővel érdemes körülvenni.



9. ábra. Bulyáki Ádám gimnáziumi tanuló ötletének vázlatrajza a tea gyorsítására és utána állandó hőmérsékleten tartására.

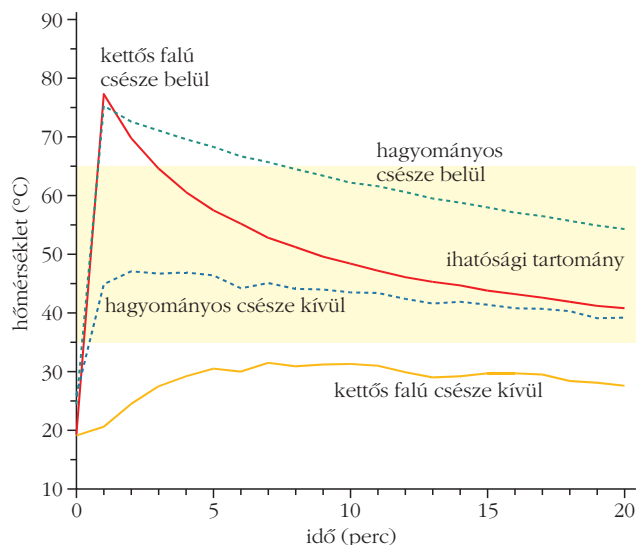
Eszközkészítés

A projekt elején, az elsődleges adatok tükrében felvettem, hogy tervezzenek egy ideális teázó eszközt. Több, főleg részeiben jó elképzelés született. A legügyesebbet készítő diák viszont nem egy speciális bögrében gondolkodott, hanem a tea ízesítése után alkalmazandó olyan szerkezetet tervezett, amely vízköpeny segítségével gyorsan lehűti a teavizes kancsót, és azt tartósan az ihatósági intervallumban tartja (9. ábra). Az eszköz hátrányát abban láttuk, hogy a teát a csészébe kiöntve, az tovább hűl és hőmérséklete hamar az alsó ihatósági határ alá csökken.

További fejtegetéseinkben már csak egy speciális csészében gondolkodtunk. Úgy gondoltuk, ha számí-

10. ábra. Az instrukcióink alapján Balogh Lászlóné művésznő elkészítette a kettős falú csészénket. A 2 dl-es csésze peremén látható a beöntő nyílás, amelyen keresztül 1 dl víz juttatható a falak közé. A lyukat ezután dugóval zártuk.



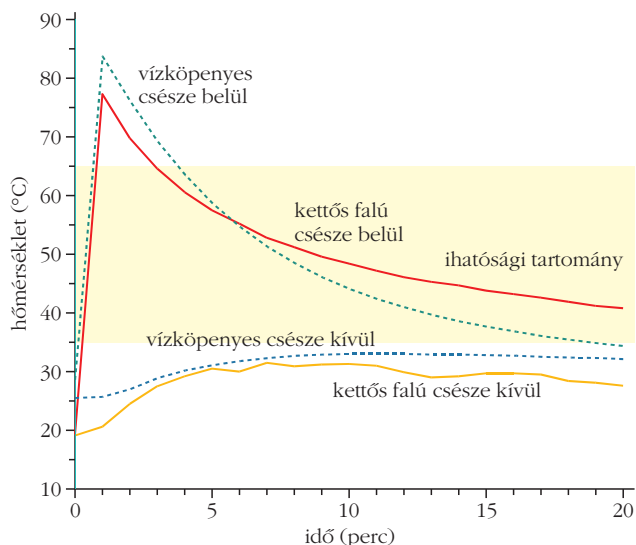


11. ábra. A hagyományos csészével szemben jóval előnyösebb a kettős falú csésze, hiszen a tea gyorsabban lehül benne, hőmérséklete hosszan az ihatósági tartományban marad és a csésze külső hőmérséklete sem haladja meg a 35 °C-ot.

tásaink helyesek, akkor a kísérlet adatai alapján a csészét 1 dl szobahőmérsékletű vízköpennyel körülvéve a 8. ábra grafikonja az óhajtott értékek felé módosul. A vízköpeny technikai megvalósításának legpraktikusabb módját egy kettősfalú csésze megalkotásában láttuk, ahol a falak közé juttatjuk a kívánt mennyiségű folyadékot.

Az eszköz kivitelezése azonban – belátható – nem egyszerű feladat. Szakemberhez fordultunk: felkerestünk egy mátészalkai fazekasmestert [4], aki többszöri kísérlet után speciális anyagból megalkotta kettőscsésze-

13. ábra. A projekt egy másik fejlesztése az e-bögre, ami nemcsak digitális hőfokjelzővel rendelkezik, hanem csipog is, ha egy-egy fokot hűlt a tea. Az e-bögrét Gálík Tamás hallgató (Nyíregyházi Egyetem) tervezte és készítette.



12. ábra. A számítás meghozta gyümölcsét: a megfelelően választott vízmennyiséggel a teavíz hőmérséklete hamarabb kerül be és tovább marad az ihatósági tartományban.

szénket (10. ábra), ami mellelleg nagyon tetszetősre is sikeredett.

Nagy izgalommal végeztük el az új csészével az alapkísérletet. A kísérlet eredményeit grafikonon hasonlítottuk össze a hagyományos csésze (11. ábra) és a vízköpenyes csésze adataival (12. ábra).

Konklúzió

Egy kedvelt közösségi szokást vettünk górcső alá: a fizika segítségével vizsgáltuk meg a teázás folyamatát. Kitértünk a veszélyekre, előnyökre és a praktikusságra is. Termodinamikai méréseink során különféle anyagok vizsgálatára a könnyebb kommunikáció miatt eleinte szokatlan, új fogalmat vezettünk be: az ihatósági határt és az ihatósági tartományt. A fogalmak használata leegyszerűsítette a teázás alapfeladatának megfogalmazását: a cél, hogy minél gyorsabban juttassuk el a teát a hőmérséklet-tartományba, és minél tovább tartassuk is ott a lehető legegyszerűbb megoldásokkal. A számítások után megkonstruált kettősfalú csésze egy olyan megvalósítás volt, ami meggyőzte a diákokat, hogy érdemes a fizikai gondolkodást alkalmazni a tudománytól látszólag távoli területekre is. Különleges élmény volt a művésznővel közösen megtervezni a csésze küllemét is: találkozási pontot találni a művészet és a tudomány határai között.

Ahhoz, hogy a teázó mérések nélkül is láthassa, itala mennyire forró, azaz veszélytelen-e megkezdeni a teaivást, Gálík Tamás hallgató elkészítette az e-bögrét (13. ábra), így létrejöhett a „kvantitatív teázás”.

Irodalom

1. <http://www.vital.hu/tea-torokrak>
2. <http://www.hir24.hu/kulfold/2014/12/26/forro-tea-miatt-pereli-a-mekit/>
3. <https://www.pasco.com/GLX/>
4. <http://www.szatmarneptanc.com/index.php?oldal=korongozas&menu=kezmuvesek>

ÉRDEKES MÉRÉSEK AZ ELEKTROMÁGNESSÉG KÖRÉBŐL

Simon Gyula

Fazekas Mihály Gimnázium, Debrecen

A jelenlegi fizika kerettanterv középiskolában (amely ősztől már csak gimnáziumra vonatkozik lényegében, hiszen a majdani szakgimnáziumok jó részében nem is lesz fizikaoktatás) nem sok időt és lehetőséget enged a tanári mérésekre, kísérletekre, demonstrációkra (tanulói kísérletekről nem is beszélve). Ennek ellenére törekednünk kell arra, hogy a fizika szemléletesebb, élményszerűbb, hitelesebb legyen a gyerekek számára.

Ennek egyik módja a mérés, amely ha szemléletes, követhető a diák számára megadhatja a megfelelő motivációt.

A számítógéppel támogatott mérések új lehetőséget jelentenek a mérések kivitelezésében: szorozok széles körének a használata, grafikus megjelenítési és szemléltetési lehetőségek, pontosabb mérések.

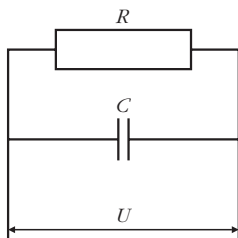
Fizikát és informatikát (elsősorban programozást) tanítok, így ez a lehetőség mindig is foglalkoztatott, a HT iskola-számítógépes időktől kezdve (azzal már felezési időt mértünk a nyolcvanas években).

A továbbiakban két – általam érdekesnek ítélt – mérést mutatok be az elektromágnesség köréből. A használt eszközök: a National Instruments (NI) Hungary Kft. által biztosított myDAQ mérési adatgyűjtő és a programozására szolgáló LabVIEW programozási környezet, ezenkívül egy optokapu, néhány ellenállás, kondenzátor és tranzisztor.

Az Euler-féle szám meghatározása

Ez a mérés elsősorban elméleti érdekessége és szokatlansága miatt figyelemreméltó. Az ötletet *Simon Péter* cikke adta.¹

Kiindulópontunk egy RC-kör:



Simon Gyula matematika-fizika-számítástechnika szakos középiskolai tanár (KLTE), 1987 óta a debreceni Fazekas Mihály Gimnáziumban tanít, jelenleg a fizika-informatika munkaközösség vezetője, Graphisoft és Tarján Rezső-díjas. Törekvésének középpontjában a programozás tanítása, népszerűsítése áll, így fizikatanárként természetes volt számára a myDAQ mérési adatgyűjtő (LabVIEW), illetve az Arduino mikrokontroller (C++) felhasználása a fizika, illetve az informatika tanításában.

A C kondenzátort U_0 feszültségre töltjük, majd az R ellenálláson keresztül kisütjük. A *kondenzátor feszültségének időbeli csökkenését* vizsgáljuk.

A $Q = CU$ összefüggésből az

$$U = \frac{1}{C} Q$$

következik. A feszültség csökkenése a töltés veszteségéből származik:

$$\Delta U = -\frac{1}{C} \Delta Q.$$

Az áramerősség:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \rightarrow \Delta Q = I \Delta t.$$

Utóbbi behelyettesítve:

$$\Delta U = -\frac{1}{C} I \Delta t.$$

Δt -vel osztva az egyenlet két oldalát, kapjuk a differenciáhányadost:

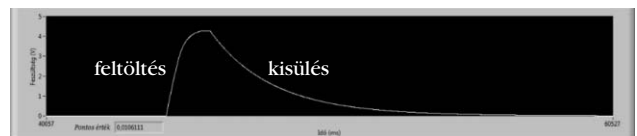
$$\frac{\Delta U}{\Delta t} = -\frac{1}{C} I.$$

Az $I = U/R$ Ohm törvényét felhasználva:

$$\frac{\Delta U}{\Delta t} = -\frac{1}{RC} U.$$

Ez alapján a kondenzátor feszültségének időfüggése a kisülés közben:

$$U(t) = U_0 e^{-\frac{1}{RC} t}. \quad (1)$$



Tehát a feszültség időben exponenciálisan csökken. Mindkét oldal logaritmusát véve és átrendezve:

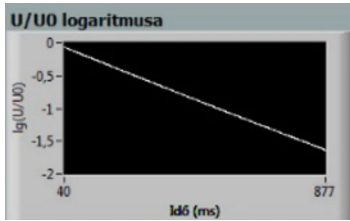
$$\lg U = \lg U_0 + \lg e^{-\frac{1}{RC} t},$$

$$\lg U - \lg U_0 = -\frac{t}{RC} \lg e \rightarrow \lg \frac{U}{U_0} = -\frac{\lg e}{RC} t.$$

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat és a National Instruments Hungary Kft. által fizikatanároknak kiírt pályázatra beküldött és végül nyertes pályázatban szereplő méréseket mutatja be a cikk. A mérések elvégzésében, a program írásában részt vett két tanítványom: *Komáromi Máttyás* és *Varnyú Dóra*, mindketten a Debreceni Fazekas Mihály Gimnázium végzős diákjai.

¹ Az Euler-féle szám vizsgálata. *Fizikai Szemle* 64/3 (2014) 90–95.

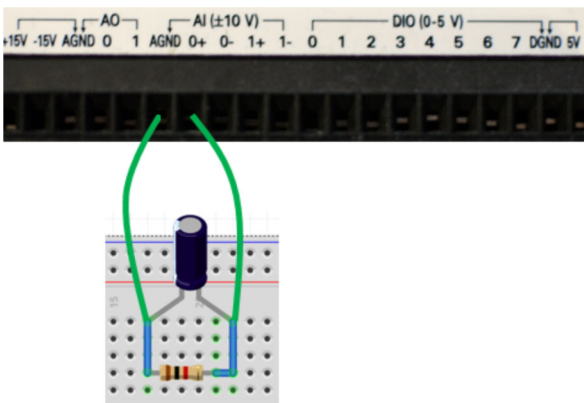
Ez tulajdonképpen a $\lg U/U_0$ időbeli függését adja meg, ami egy *lineáris függvény*. Ezen egyenes m meredeksége:



$$m = -\frac{\lg e}{RC} \rightarrow \lg e = -mRC \rightarrow e = 10^{-mRC}$$

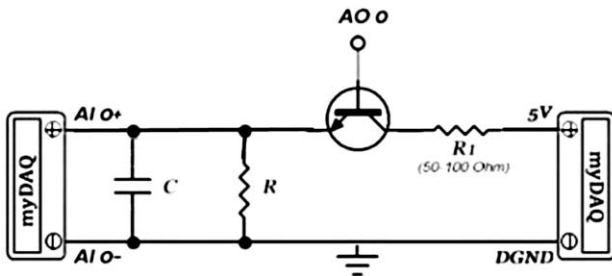
A feladat tehát az m meredekség mérése és azzal a képlet szerint az e mérése.

A feszültség időbeli változásának ábrázolása az NI myDAQ nevű mérésadatgyűjtő berendezésével történhet, LabVIEW programozási nyelv segítségével.



A myDAQ készülék analóg bemenetére (Analog Input, AI) – AGND és 0+ – kötjük az RC-kör két kivezetését.

A teljes kapcsolás:



A myDAQ AI 0- jelű analóg bemenetét a földpotenciálra (GND) kell kötni, ugyanis kapcsolásunk úgynevezett *lebegő jelforrásként* viselkedik, így biztosítjuk számára a földpotenciált.

A tranzisztort (BC 546A) a kondenzátor feltöltésére használjuk (*kapcsolóként*), az analóg kimenet (AO 0) segítségével 5 V-ra töltjük a kondenzátort. A program ezután a feszültség 4,2 V-ra való csökkenésekor kezdi a mérést, majd a 0,1 V elérésekor befejezi azt.

A mérések során 2000 μF kapacitású kondenzátort és 1000 Ω nagyságú ellenállást alkalmaztunk (ezeket az értékeket a program majd bekéri a mérés előtt).

Négy képernyőn (*Eszközigény és csatlakozás*, *A mérés leírása*, *Kezdőértékek megadása*, *Mérés*) keresztül kommunikál a felhasználóval a program. A Mérés képernyő:



A program mintavételezéssel meghatározza, majd tárolja a feszültségeket és azok tízes alapú logaritmusát is, az elteltidő-értékekkel együtt. A mérés végeztével a következő lépéseket hajtja végre:

- Egyenest illeszt a tárolt logaritmusértékekre.
- Meghatározza az illesztett egyenes egyenletéből az m értékét és kiírja a képernyőre.
- Kiszámolja az Euler-számot és kiírja a képernyőre.
- Görbét, egy exponenciális függvényt illeszt az eredeti (mintavételezéssel kapott) értékekre, amelyet szintén kiír.

Némi „programozói túlkapásként” értelmezhető az eredmény 5 tizedesjeggel való megjelenítése (egyébként ez a lebegőpontos változók megjelenítésének alapvető pontossága a LabVIEW-ban), hiszen az eredmény ennyire biztosan nem pontos.

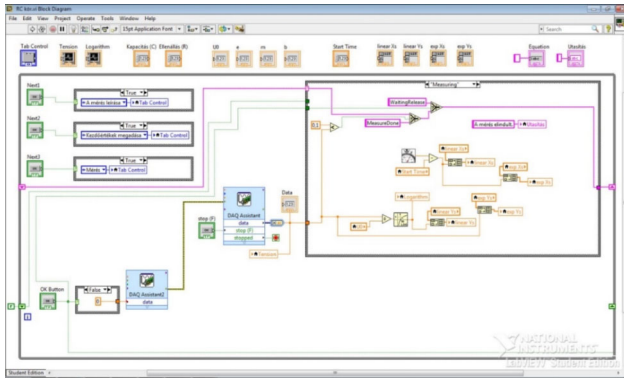
Általában sem az ellenállás, sem a kondenzátor értéke nem egyezik meg a „ráírt” értékkel. Az eltérés általában 5-10% az olcsó, hétköznapi ellenállásoknál, de értéke multiméterrel legalább könnyen mérhető. Ezzel szemben a nagy kapacitású elektrolit-kondenzátorok értékének mérése nem is könnyű. Az elektrolit-kondenzátorok kapacitása ugyanis a hőmérséklettől és a ráadott feszültségtől is függ. Azért választottunk nagy kapacitású elektrolit-kondenzátort, mert így a folyamat viszonylag lassú volt, a monitoron szemmel könnyen követhető.

A logaritmikus értékekre illesztett lineáris függvény is hordoz bizonytalanságot, ez nyilván a mért digitalizált értékek pontosságától, valamint a LabVIEW beépített függvényének a „jóságától” is függ.

Összességében a kapott eredmények bizonytalansága néhány százalékos. A mért érték eltérése a mérés bizonytalanságán belül van az e értékétől, így a mérésnek nincs szisztematikus hibája. Ez a „mérés” tulajdonképpen *nem valamilyen fizikai mennyiség mérése* (az Euler-féle szám nem is az), hanem egy jól ismert matematikai állandónak a *közelítése*. Nem mértük az e -t, hanem inkább az (1) összefüggést mérésrel szemléltettük, ezért szerepelnek a mérési panelel az eredeti értékekre illesztett exponenciális függ-

vény paraméterei is (az a tény, hogy lehetett exponenciális függvényt illeszteni, önmagában is a képlet helyességét erősíti meg).

A LabVIEW program (mérés):



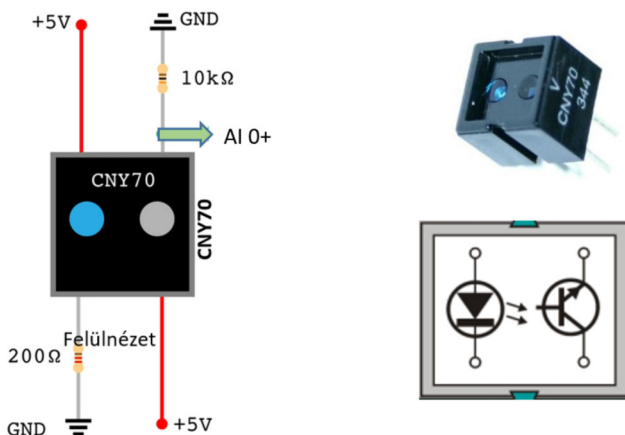
Mágneses inga csillapodásának vizsgálata

A mágneses inga „viselkedése” akkor érdekes, ha *fémlemezt* helyezünk az inga alá. A mágnes mozgása során örvényáramokat indukál a fémlemezben, amelyek mágneses mezője fékezi az ingát (*Lenz-törvény*).

A mérés célja, hogy megállapítsuk, *miként függ az inga csillapodása a nyugalmi helyzet és a fémlemez távolságától*.

A mágnezt régi, selejtes merevlemezről szerelhetjük ki, meglepően erős mágnezt nyerhetünk így.

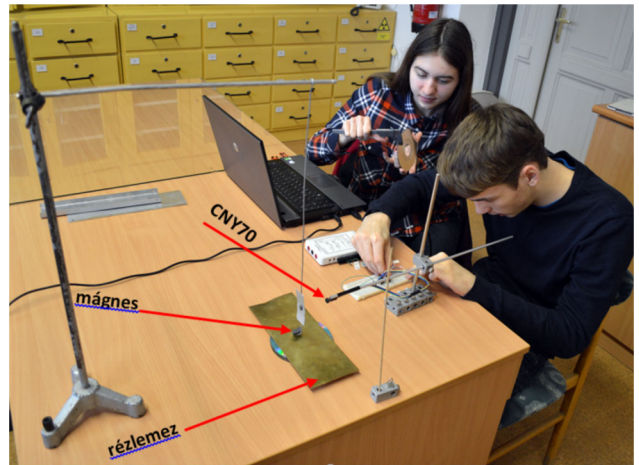
Az időt egy alumíniumpálcára erősített reflexiós optokapu (CNY70) segítségével mérjük, amely egy infravörös tartományban működő LED fotodióda-párosból áll:



Az optokapu érzékeli az előtte elhaladó ingát (illetve a ráerősített papír téglalapot), a program pedig méri a téglalap két szélé közötti áthaladás idejét. A csillapodást azzal az idővel jellemezzük, amely alatt az inga lengésének amplitúdója egy *előre rögzített kezdeti értékről egy másik, rögzített értékre csökken*. Az előbbi úgy biztosíthatjuk, hogy mindig ugyanabból magasságból engedjük el az ingát, az utóbbi pedig egyszerűen az a helyzet, amikor az inga már olyan kis mértékben tér

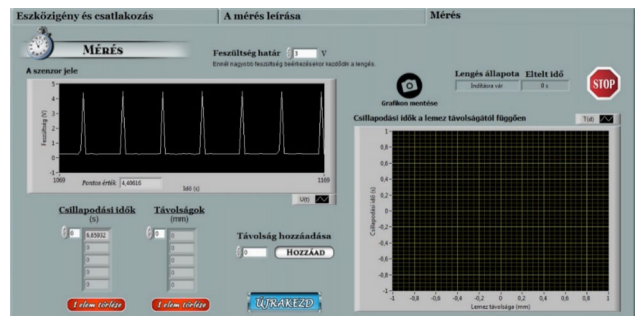
ki, hogy a téglalap folyamatosan az optokapu előtt tartózkodik (ez az idő jellemzően néhány tizedmásodperc, függ a téglalap szélességétől, a mágnes és a fémlemez, valamint az optokapu és mágnes távolságától).

Méréseinkben réz (amely diamágneses) és alumínium (amely paramágneses) lemezeket használtunk.

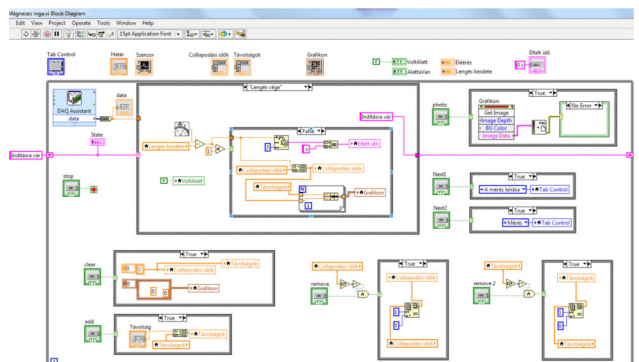


Az optokaput a myDAQ analóg bemenetére csatlakoztatjuk (AI 0+). Mivel az inga csillapodásának a mágnes és a lemez távolságától való függését vizsgáljuk, fontos ezen távolság mérése. Ez lehetséges a fémlemez alá rakott CD vagy DVD lemezek egymásra helyezésével. Figyelni kell arra, hogy ezek lemezek nem feltétlenül azonos vastagságúak (mérése például tolmérővel történhet).

A program három képernyőn keresztül kommunikál a felhasználóval (*Eszközigény és csatlakozás, A mérés leírása, Mérés*). A Mérés képernyő:

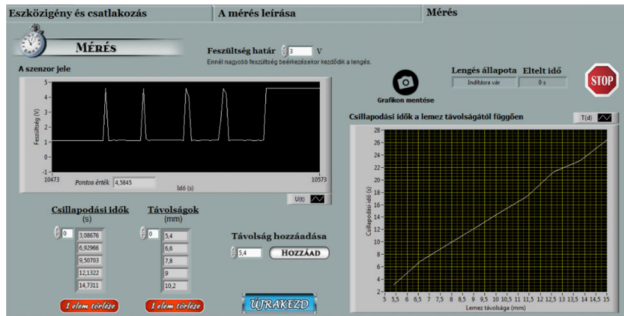


A LabVIEW program:

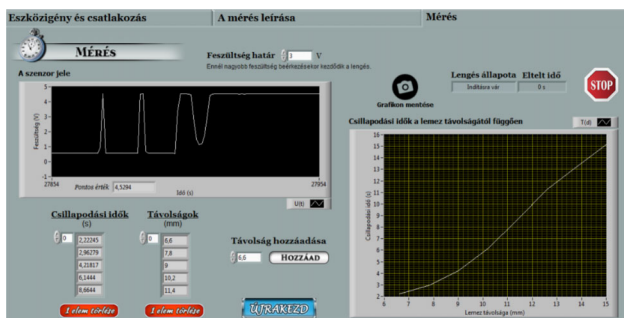


A mérés eredménye:

- A csillapodási időnek a mágnes és fémelemz távolságától való függése az ábrákon látható.
 - A lemez anyagától erőteljes függ a csillapodási idő: az alumíniumlemez sokkal erősebben csillapítja az inga mozgását, mint a rézlemez.
- Rézlemez: 9 mm távolság esetén ~12 s.



Alumíniumlemez: 9 mm esetén ~4 s.



A különbség szembeütő, aminek magyarázata elsősorban a réz dia- és az alumínium paramágneses tulajdonságainak különbségében keresendő.

Befejező gondolatok

Eddigi tapasztalataink alapján a myDAQ mérési adatgyűjtő berendezés az iskolai fizikamérések megfelelő eszköze lehet. Jól programozható, szenzorok széles köre csatlakoztatható az analóg, illetve digitális bemenetekhez, multiméter-funkciója is hasznos.

Iskolai felhasználását talán a kis számban elérhető fizikai méréseket lehetővé tevő alkalmazás, illetve az eszköz bonyolult beszerezhetősége nehezíti. (Jelenleg csak az NI Hungary Kft.-n keresztül lehet kölcsönözni, amelyet minden évben meg kell újítani. Vásárlás esetén számolnunk kell vele, hogy nem „kisértékű” eszközként fog szerepelni az iskolai leltárban.)

Használata csak a számítógéppel összekötve lehetséges, a program a számítógépen fut, így körülményes lehet az órai használata. (Jobb lehetőség lenne az National Instruments myRIO nevű eszköze, amelyre a megírt programot rá lehet tölteni, így önállóan, számítógép nélkül is lehet használni, ráadásul vezeték nélküli (wifi) kommunikációra is képes.)

Programozása LabVIEW grafikus programozási nyelven történhet, amely elsősorban a mért értékek egyszerű és rugalmas grafikus ábrázolása miatt könnyíti meg a mérések eredményének szemléltetését – a mérési pontokra könnyedén lehet görbét illeszteni – a kész program mintegy virtuális műszernek tekinthető. A nyelv logikája gyökeresen eltér a hagyományos programozási nyelvekétől, de megszokható, megszerzhető.

Mérések végrehajtására, illetve vezérlési feladatok elvégzésére mikrovezérlőt is alkalmazhatunk, rendkívül népszerű és olcsó megoldás az oktatási célokra kifejlesztett Arduino platform. Ezek belső tárolóval is rendelkeznek, így a program feltöltése után önálló eszközként is használhatók. Programozása C++ nyelven történhet.

Is Nap, ahogy még sohasem láttad.

Töltsd le!

Nézzed meg!

Mutasd meg másoknak!

Tanítsd meg diákjaidnak!

VAN ÚJ A FÖLD FELETT

Keress a fizikaiszemle.hu melléklet menüpontjában!

TALÁLD FEL MAGAD!

26. Ifjúsági Tudományos és Innovációs Tehetségkutató Verseny (2016/2017-es tanév)

Kik indulhatnak?

Egyénileg vagy kétfős csapatba szerveződve pályázhat minden 1996. október 1. és 2003. augusztus 31. között született fiatal, aki még nem kezdte meg felsőoktatási tanulmányait. Határon túli magyar fiatalok is pályázhatnak.

Mit lehet nyerni?

Az I. díjat (maximum három) kiérdemlők egy évig havi 30 ezer forintos ösztöndíjban, a II. díjat (maximum három) elnyerők egy évig havi 20 ezer forintos ösztöndíjban és a III. díjat (maximum négy) elérők egy évig havi 10 ezer forintos ösztöndíjban részesülnek a szakmai, tudományos továbbfejlesztésük támogatására.

A legfiatalabb díjazott megkapja a Siemens Zrt. 100 ezer forintos, egyösszegű Junior Ösztöndíját is.

A legjobb határon túli pályázó a Magyar Innovációs Szövetség egyösszegű, 100 ezer forintos ösztöndíját kapja meg.

Az első és második helyezett fiatalokat segítő egy-egy középiskolai tanár egyszeri 100 ezer forintos ösztöndíjban részesül.

Az Ifjúsági Tudományos és Innovációs Tehetségkutató Verseny 1–3. helyezettei 30 többletpontra jogosultak a felsőoktatási felvételi eljárás során.

A legjobb három pályázat lehetőséget kap 2017 szeptemberében, Észtországban, az EU *Fiatal Tudósok Versenyén* való részvételre, ahol további értékes pénz- (3500-7000 euró) és különdíjakat lehet nyerni.

A versenyen kiválasztott tehetséges fiatalok további nemzetközi versenyen, utazásokon vehetnek részt.

Mivel lehet nevezni?

Pályázni lehet műszaki, természettudományi, környezetvédelmi, informatikai és matematikai területről bármilyen innovatív alkotással, találmánnyal, kutató vagy fejlesztő, illetve tudományos munka eredményével.

Továbbá pályázni lehet a National Instruments Hungary Kft. myDAQ nevű termékének újszerű, másol nem használt vagy publikált mérési vagy adatgyűjtési eljárásának kidolgozásával, illetve konkrét gyakorlati feladatok megoldására irányuló alkalmazással is. A versenyen bármilyen egyéb versenyre vagy pályázatra készített pályamunkával, illetve műszaki alkotással is részt lehet venni.

NYILATKOZAT

Alulírott nyilatkozom, hogy 2017. január 1-jét követően a *Fizikai Szemle* számait

- 1.) ELEKTRONIKUS formában,
 - 2.) továbbra is PAPÍRALAPÚ terjesztéssel *
- jutassák el az alábbi e-mail- / levelezési címre.

E-mailcím:

Levelezési cím:

....., 2016.

.....
aláírás

*A megfelelőt kérjük aláhúzni!

Hogyan kell jelentkezni?

A kidolgozandó vagy megoldandó feladat maximum 2 oldalas vázlatát doc formátumban kell eljuttatni e-mailben 2016. november 28-án, 15 óráig beérkezően.

A nevezésnek tartalmaznia kell: a kiválasztott kutatási vagy fejlesztési témát, a megoldásra irányuló javaslatot, az elérendő célt, a konkrét megvalósítás módját, továbbá: a résztvevő(k) nevét, születési időpontját, lakcímét, telefonszámát, e-mailcímét, nyelvtudását; iskolájának (munkahelyének) nevét és címét; a konzulens vagy felkészítő tanár nevét, lakcímét, e-mailcímét és telefonszámát.

Kik döntenek?

A pályázat elfogadásáról a tudományos vagy műszaki cél, illetve színvonal és a kidolgozhatóság figyelembevételével határoz a bírálóbizottság. A döntésről minden pályázó értesítést kap 2016. december 19-ig. (A zsűri döntése végleges, fellebbezésnek helye nincs.)

Hogyan tovább?

Az I. fordulóban elfogadott és részletes kidolgozott pályázatok leírását 2017. március 31-én, 14 óráig beérkezően kell beküldeni a verseny titkárságára.

Mit értékelnek?

A probléma megközelítésének eredetisége és kreativitása; a kidolgozás alapossága, illetve tudományos értéke; az írásos anyag, illetve műszaki alkotás (vagy modell) színvonala, illetve az elkészített eszköz működőképessége; a projekt befejezettsége (konceptió, konklúzió) és hasznosíthatósága; az eredmények világos értelmezése.

A pályázóknak 2017. április 17–28. között, kötelező jelleggel, maximum 5 perces prezentációt kell tartaniuk. A saját készítésű modelleket, műszaki megoldásokat, kísérleti berendezéseket a szóbeli prezentációra kell elhozni.

Egyéb tudnivaló

Az ünnepélyes díjátadásra 2017 májusában, kétnapos kiállítás keretében kerül sor. A legjobb pályaművek 2017 szeptemberében is bemutatásra kerülnek a Kutatók Éjszakáján.

A pályázatok kidolgozását vállalatok, intézmények anyagilag támogathatják. A verseny szervezői közreműködnek az indokolt költségek megtérítésében, maximum bruttó 50 000 Ft értékben.



Udvardi Péter, a budapesti Szent István Gimnázium tavalyi érettségizett diákja – aki a *Mikroelektromechanikai struktúra alacsony frekvenciás hangok és rezgések érzékelésére* című pályamunkájára I. díjat kapott a 25. Ifjúsági Tudományos és Innovációs Tehetségkutató Versenyen – hallásjavító mikrochipjével 2016 szeptemberében különdíjat nyert Brüsszelben az EU Ifjúsági Tudományos és Innovációs Tehetségkutató Versenyén (fotó: MI).

A verseny védnökei

A verseny fővédnöke *Palkovics László*, az Emberi Erőforrások Minisztériuma államtitkára, a verseny társfővédnöke *Pálinkás József*, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal elnöke.

A projekt a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott főtámogatással valósul meg.

A verseny támogatói

Az Emberi Erőforrások Minisztériuma, a Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatala, a Nemzeti Hírközlési és Informatikai Tanács, a Magyar Tehetségsegítő Szervezetek Szövetsége, a Magyar Telekom Nyrt., a B. Braun Medical Kft., a GE Hungary Zrt., az Ericsson Magyarország Kft., az Intel, a Siemens Zrt., az EGIS Gyógyszergyár Nyrt., a Richter Gedeon Vegyészeti Gyár Nyrt., a Sanatmetal Kft., az Innomed Medical Zrt., a Mediso Orvosi Berendezés Fejlesztő és Szerviz Kft., az NI Hungary Kft., az evopro, az Értelmiségi Szakszervezeti Tömörülés.

Médiatámogatók: főtámogató az M5 csatorna, támogató az *Innotéka* magazin.

A pályázatok beküldése, illetve a pályázattal kapcsolatban érdeklődni lehet: Magyar Innovációs Szövetség, e-mail: innovacio@innovacio.hu, telefon: 430-3330, honlap: www.innovacio.hu (cím: 1036 Budapest, Lajos u. 103.)

Leszállt a Rosetta keringő egysége

A leszállóhely a 67P üstökös magja Ma'at elnevezésű területén van, ami a két összetevőből álló „gumikacsa” vagy „kuglibábu” alakú kis égitest kisebbik komponensén található. A Rosetta OSIRIS WAC (nagy látószögű) kamerájának 2016. szeptember 29-én az üstökös mag középpontjától 22,8 km távolságból készült felvétele (ESA / Rosetta / MPS for OSIRIS Team MPS / UPD / LAM / IAA / SSO / INTA / UPM / DASP / IDA).

A szonda utolsó rádióüzenete a talajtérés megerősítése volt, és ezután előre eltervezett módon a szonda gyakorlatilag kikapcsolta, azaz inaktíválta magát, és álomba merült az üstökös mag felszínén.

A Rosetta üstökösprogram sikeréhez magyar mérnökök és kutatók munkája is jelentősen hozzájárult, különösen a Philae leszállóegység energiaellátó és adatgyűjtő rendszereinek, valamint több más műszer kifejlesztésében és elkészítésében is.

A Rosetta űrprogram ezzel véget ért, de a misszió során begyűjtött tudományos és technikai adatok feldolgozása még hosszú ideig folytatódik majd.

<http://www.csillagaszat.hu/hirek/gyorshir-leszallt-a-rosetta-keringo-egysege-is-az-ustokosmag-felszinere/>

ISSN 0015325-7



9 770015 325009 16010