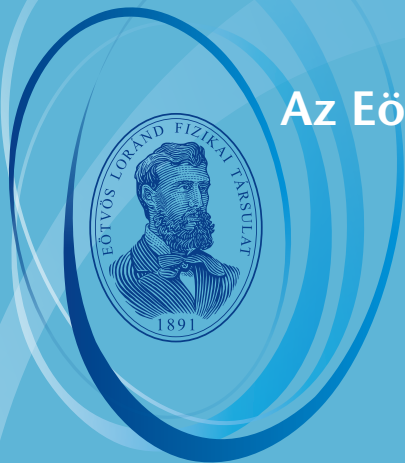


fizikai szemle

2018/4



Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Küldöttgyűlése

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 2018. május 12-én, szombaton 10:00 órai kezdettel tartja Küldöttgyűlését¹ az Eötvös Loránd Tudományegyetem északi épülettömb 7.14-es termében (Budapest XI. Pázmány Péter sétány 1/A). A Küldöttgyűlés nyilvános, azon bárki részt vehet. A vitákban a Társulat tagjai részt vehetnek, felszólalhatnak, de a szavazásban csak a területi és szakcsoportok által megválasztott, küldöttigazolvánnyal² rendelkező küldöttek vehetnek részt.

A Küldöttgyűlés a hagyományos, napirend előtti, szakmai előadással kezdődik, amelyet **Tél Tamás (ELTE): *Mitől örvény egy örvény? Festécsapdázó kísérletek kevés elmélettel*** címen tart.

Az ELFT Elnöksége által javasolt napirendi pontok:

1. A levezető elnök megnyitója
2. A napirend elfogadása
3. A Szavazatszámláló Bizottság és a jegyzőkönyv-hitelesítők felkérése
4. Főtitkári beszámoló
 - 4.1 A Társulat 2017. évi közhasznúsági jelentése
 - 4.2 A Társulat 2018. évi költségvetése
5. A Felügyelő Bizottság jelentése
6. Az Elnökség javaslata az Alapszabály módosítására
7. Az Elnökség javaslata a Küldöttgyűlés által odaítélhető társulati érmekre és tiszteletbeli elnökre
8. Vita a 4–7. és pontonkénti nyílt szavazás a 4–6. napirendi pontokról
9. Titkos szavazás a Küldöttgyűlés által odaítélhető társulati érmekről és a tiszteletbeli elnöki címről
Szünet
10. A szavazás eredményének kihirdetése
11. A társulati érmek és a tudományos díjak átadása
12. Zárzó

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

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



Integrált közlekedés



Energiapozitív személyautó

KÖZLEKEDNI KELL...

Jelen számunk 137. oldalától kezdődően olvashatjuk Kirsch Éva színvonalas beszámolóját a 61. Országos Fizikatanári Ankétról. Az írásból kitűnik, hogy sok tanárkollégánknak van kiváló, új ötlete a tanulói érdeklődés felkeltésére. Ez és az *Europhysics Newsban* nemrég megjelent két cikk adta az ötletet, hogy felhívjam a figyelmet egy, a fizikával sok területen érintkező és sokakat érdeklő témára: az autózás, a közúti szállítás már megkezdődött forradalmára. Az első cikk [1] arról győző meg, hogy ezen ugrásszerű változás alapjai, az elektromos hajtású és önvezető autók, az akkumulátorok, a közösségi autóhasználat és a big data már rendelkezésre állnak, integrálásukra van szükség. Az elektromos járművek elterjedésének alapja a csökkenő árú akkumulátorok rohamos fejlődése. A széles fordulatszám-tartományban nagy nyomatékú elektromotor egyetlen mozgó alkatrésze a rotor, így felépítésük és karbantartásuk sokkal olcsóbb, mint a bonyolult belső égésű motoroké és sebességváltóké. A közösségi autózás a magas kihasználtság előnyeit biztosíthatja: ma egy átlagos személyautó idejének csak 5%-ában mozog, évi 15–20 ezer km-t fut, szemben a megosztott autók 100 000 km-ével. A megosztás rengeteg parkolóhelyet tesz feleslegessé, kevesebb garázs kell a munka- és lakóhelyek közelében. A szenzorok és a digitális döntéshozó és válaszadó elektronika fejlődésével már működnek önvezető autók, elterjedésükhöz jogszabályalkotásra és közösségi elfogadtatásra van szükség. A big data alkalmazások fokozzák a várható változásokat: egy „közlekedési felhőben” összegyűjtött adattömeg segítségével valós időben irányíthatók az önjáró járművek dugók, balesetveszélyes útszakaszok elkerülésére, a forgalom koordinált optimalizálására. Mindezek háttérben rengeteg fizika rejlik: akkumulátorok fejlesztése, energiaátalakítás, elektromotorok, hely- és sebességérzékelés, adatátvitel stb.

A másik írás [2] arról számol be, hogy a hollandiai Eindhoveni Műszaki Egyetem diákjainak egy lelkes csoportja energiapozitív családi – 4 személy és megfelelő mennyiségű csomag befogadására alkalmas – autó prototípusát készítette el. Energiapozitív, mert a működéséhez kizárólag napenergiát használó jármű, ha nincs úton és telepeit már feltöltötte, akkor a ház akkumulátorait tölti. Az energiahatékonyság-növelés fizikai alapja, hogy állandó sebesség mellett az energiaszükségletet a haladást fékező erő – a légellenállás és a kerekek gördülési ellenállása – leküzdéséhez szükséges munka jelenti. Az F_f légellenállási erő $\frac{1}{2}\rho v^2 C_f A$, ahol ρ a levegő sűrűsége, v a sebesség, C_f a jármű légellenállási együtthatója, A a frontális felület. A gördülési ellenállásból adódó F_g erő $C_g(1+v/Q)mg$, ahol C_g a gördülési ellenállás együtthatója, Q a gördülési ellenállás enyhe sebességfüggése miatti paraméter, mg a jármű súlya. Az állandó v sebesség tartásához szükséges teljesítmény: $P = Fv$, tehát a légellenállással szembeni teljesítményigény v^3 -al arányos. Nagy sebességnél ez a domináns járuléka, ezért kell a frontális felületet és a C_f -t csökkenteni. Az alacsony gördülési ellenállás érdekében alacsony súrlódású abroncsokat – kerékbe integrált, *in-wheel* motorokkal – választottak és a jármű tömegét könnyű, szálerezősítéses műanyag alkalmazásával minimalizálták. A jármű 5,84 m²-es tetején helyezték el a 381 szilícium-egyikristály napelemcellát, ami 1,5 kW csúcsteljesítményre képes. A napenergia-hasznosítás maximalizálására a cellák felületére parányi prizmák rétegét építették, így biztosítva, hogy a napsugarak mindig közel merőlegesen érkezenek a cellákra. Ezzel igen magas, 23,9%-os energiaátalakítási hatásfokot értek el. Az akkumulátorrendszer 1224 darab 3450 mAh-s Li-ion telepből áll 15,2 kWh kapacitással. A tárolt és a menet közben termelt elektromos energiával az autó naponta 700–1000 km-t tud megtenni. Az autó tömege 375 kg, maximális sebessége 125 km/h. Az energiapozitív autó koncepcióját így bizonyítva megálapítják továbbá, hogy a napelemek és az akkumulátorok várható javulásával az ilyen járművek elérhetővé válhatnak a fenntartható személyszállítás számára.

¹ <https://www.europhysicsnews.org/articles/epn/pdf/2017/03/epn2017483p21.pdf>



² <https://www.europhysicsnews.org/articles/epn/pdf/2017/03/epn2017483p13.pdf>



Lendvai János
Lendvai János
főszerkesztő

Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

A Matematikai és Természettudományi Értesítőt az Akadémia 1882-ben indította
A Matematikai és Fizikai Lapokat Eötvös Loránd 1891-ben alapította

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat havonta megjelenő folyóirata.

Támogatók: a Magyar Tudományos Akadémia Fizikai Tudományok Osztálya, az Emberi Erőforrások Minisztériuma, a Magyar Biofizikai Társaság, a Magyar Nukleáris Társaság és a Magyar Fizikushallgatók Egyesülete

Főszerkesztő:
Lendvai János

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

Műszaki szerkesztő:
Kármán Tamás

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

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

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



A címlapon:
Botz Csilla tanárnő (BGSZC Budai Középiskolája) és Pázmándi Péter mentor (MTA Wigner FK) a sokszálas műionkamra építése közben, fizikatanári gyakorlat a CERN-ben, 2017-ben.

TARTALOM

- Lendvai János:* Közlekedni kell... 109
- Demes Sándor:* Kénmolekulák fragmentációja 111
Elektronok által kiváltott egyidejű ionizáció és szétteredezés (disszociatív ionizáció) jelenségeinek bemutatása
- Opitz Andrea, Forczek Bianka:* A rejtélyes Vénusz 115
Mit tudunk Földünk testvérbolygójáról, amelynek titokzatosságát átlátszatlan vastag felbőzete és a felszínén uralkodó embertelen körülmények biztosítják
- Börzsönyi Tamás, Szabó Balázs, Somfai Ellák, Török János:* Elnyújtott alakú részecskék rendeződése nyíró áramlásban 118
Melyek a hasonlóságok és különbségek az úszó farönkök, búza- vagy rizsszemek, baktériumok, nanorészecskék, hosszúkás molekulák nyíró áramlás hatására bekövetkező rendeződésében

A FIZIKA TANÍTÁSA

- Horváth Dezső:* Magyar tanárok és diákok részecskefizikai oktatása a CERN-ben 124
Magyar fizikatanárok és diákok színes programjai a világ legnagyobb kutatóintézetében
- Kiss Miklós:* Relativitáselmületről középiskolában – másként 131
A mágneses mező vonatkoztatási rendszertől való függésének bemutatása középiskolai szinten
- Stonawski Tamás, Gálik Tamás:* Víz hőmérő? Majd, ha fagy! 133
A víz bőtágulásának hőmérsékletfüggése neheztséget okoz, de éppen ezért alkalmas a folyadékok bőtágulásán alapuló hőmérsékletmérés fizikai alapjainak megismertetésére
- Kirsch Éva:* A Fizikatanári Ankét interferenciái és rezonanciái 137
Beszámoló a 61. Középiskolai Fizikatanári Ankét és Eszközbemutatóról

KÖNYVESPOLC

- Mester András, Horváth András (szerk.):* Országos Szilárd Leó Fizikaverseny 2011–2016 (*Radnóti Katalin*) 142

HÍREK – ESEMÉNYEK

- Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Küldöttgyűlése – meghívó* 109
- Jarosievitz Beáta:* Fizikai kísérletek, nem csak tudósoknak 143

J. Lendvai: Changes in transportation
S. Demes: Fragmentation of sulfur molecules
A. Opitz, B. Forczek: Mysterious Venus
T. Börzsönyi, B. Szabó, E. Somfai, J. Török: Ordering of elongated particles in shear flow

TEACHING PHYSICS

D. Horváth: Hungarian teachers and students learn particle physics at CERN
M. Kiss: Theory of relativity in high school – otherwise
T. Stonawski, T. Gálik: Water thermometer? Then if it is freezing!
É. Kirsch: Report on the 61st Conference of Hungarian physics teachers

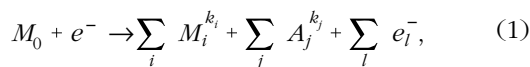
BOOKS, EVENTS

Fizikai Szemle
MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT
megjelenését támogatják:



A különböző molekuláris ütközések során gyakran figyelhetők meg a széttöredezési, vagy más néven fragmentációs folyamatok. Széttöredezés alatt azon folyamatokat értjük, amelyek során egy adott kémiai összetételű molekula kisebb molekuláris és atomi termékekre – fragmentumokra – esik szét. Az ilyen folyamatokat gyakran említik még molekula-disszociáció vagy szétesés néven is. Ezen jelenségek nagyon gyakran figyelhetők meg a természetben, például a kozmikus háttérsugárzás esetében, az alkalmazási területeket említve pedig az gyógyászatban fontos sugárterápia vagy a számítógépes tomográfia módszereinél is találkozhatunk velük. Az ionbesugárzás például számos töltött részecskét generál az élő sejtek molekuláiban, ami a legtöbb esetben bonyolult másodlagos folyamatokhoz – ionizációhoz, elektronbefogáshoz, gerjesztéshez vagy széttöredezéshez – vezethet. Az ilyen összetett, többlépcsős folyamatok megértése a fizika mai fejlettségi szintjén sem egyszerű feladat. Így a töltött részecskék – elektronok, ionok, pozitronok – molekulákkal való ütközéseinek kísérleti és elméleti vizsgálata a modern fizikai alap kutatások egyik fontos ágát képezik.

A széttöredezési folyamatok nagyon különbözők lehetnek, például attól függően, mi váltja ki őket. A legtöbb esetben, főleg töltött részecskékkel való ütközések során, a semleges céltárgymolekulák maguk is töltött vagy részben töltött fragmentumokra esnek szét. Elektronokkal való ütközések esetében ezt a következő reakcióegyenlet mutatja:



ahol M_0 a kezdeti semleges molekula, M_i és A_j a fragmentáció során keletkező, töltött és semleges mole-

kuláris és atomi fragmentumok, k a fragmentumok töltésállapota. Ezen végtermékek atomjainak teljes összege – magától értetődően – mindig megegyezik a kezdeti molekula atomszámával. Az ütközések során – természetesen – ettől jócskán eltérő folyamatok is lejátszódhatnak, például sok esetben megfigyelhető a molekulák elektronikus és rezgési gerjesztése, vagy akár az elektronbefogás jelensége is, amelynek során negatív ionok keletkezhetnek. A szétesési folyamatok során létrejövő molekuláris vagy atomi fragmentumok töltésállapota különböző lehet, keletkezhetnek csak és kizárólag semleges molekulák (disszociáció), de nagyobb ütközési energiáknál akár többszörösen ionizált végtermékek is. Amint az ütközés energiája eléri a molekulára jellemző ionizációs energia küszöbértékét, a legvalószínűbb folyamat az ionizáció lesz, ahogy pedig az energia tovább növekszik, a különböző fragmentációs csatornák is egyre valószínűbbé válnak. A továbbiakban ez a két folyamat lesz a domináns, és e munkában is ezek kerülnek részletesebb bemutatásra.

Kutatásaink során elsősorban az elektronok által kiváltott egyidejű ionizáció és széttöredezés jelenségeire koncentráltunk. Ez utóbbi komplex folyamatot *disszociatív ionizációnak* (DI) is nevezzük. Létezik néhány általános fogalom és mennyiség e folyamatok jellemzésére, amelyek a következők: I ionizációs energia és E_a elektronaffinitás, D disszociációs és E_{AP} megjelenési küszöbenergiák. Ezen mennyiségek – az ütközési folyamatok esetében – mind a különböző molekuláris és ionfragmentumok képződéséhez köthetők [1, 2].

Az ionizációs energia és az elektronaffinitás az adott molekulára (illetve atomra) jellemző mennyiségek, amelyek általános esetben nagyon gyengén vagy egyáltalán nem függnek a töltésváltozást kiváltó jelenség fajtájától. Az első paraméter azt az energiamennyiséget mutatja, amelyet a molekulával (atommal) közölnünk kell ahhoz, hogy leválassunk egy elektront a leggyengébben kötött elektronpályájáról. Molekulák esetében ez az energia általában 7–15 eV közé tehető. Az elektronaffinitás definíciója is ez utóbbihoz hasonló – ez a molekulára (atomra) jellemző olyan energiamennyiség, amelyet ahhoz szükséges közölnünk vele, hogy egy szabad elektron befogódjon a legerősebben kötött betöltetlen elektronpályájára. Fontos megemlíteni, hogy az elektronbefogás rezonáns folyamat, azaz effektíven csak egy meghatározott, kisebb energiatarományban mehet végbe, míg az ionizáció folyamata az ionizációs küszöböt meghaladva gyakorlatilag bármilyen energián végbemegy. Ezen kívül az elektronbefogáshoz feltétlenül szükséges legalább egy szabad elektron is, amelynek forrásul legtöbb esetben az ütközésben részt vevő lövedékion elektronjai, elektronbombázás során pedig maguk a lövedékelektronok szolgálhatnak.

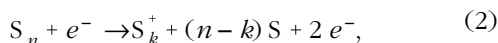
Az írás az Eötvös Loránd Fizikai Társulat szegedi Vándorgyűlésén elhangzott előadás kibővített, frissített változata.

A szerző köszöni témavezetőinek, *Remeta Eugene*-nak, *Jubász Zoltánnak*, *Bene Erikának* és munkatársainak, *Sulik Bélának*, *Gulyás Lászlónak*, *Kövecz Ákosnak*, *Kovács Sándornak* és *Herczku Péternek* a támogatást és hasznos tanácsokat, továbbá *Néstor Aguirre*-nek és kutatócsoportjának a statisztikai számításoknál nyújtott segítséget. A projekt a Nemzetközi Visegrádi Alap EaP ösztöndíjának (szerz. szám: 51600934), valamint a NIIF Intézet HPC szuperszámítógéprendszerének támogatásával valósulhatott meg.



Demes Sándor 2013-ban végzett az Ungvári Nemzeti Egyetem villamosmérnöki szakán. 2013–2016 között az Ukrán Tudományos Akadémia Elektronfizikai Kutatóintézetének doktorandusza. Jelenleg az MTA Atommagkutató Intézetének tudományos segédmunkatársa. Kutatási területe az elektron-molekula, valamint az ion-molekula ütközések során lejátszódó folyamatok elméleti vizsgálata.

Az utóbbiaknál jóval összetettebb fragmentációs folyamatokat mennyiségileg a disszociációs és megjelenési küszöbenergiák jellemzik. Mindkettő definíciója hasonló. Az előbbi arra az energiára utal, amit a molekulával ahhoz kell közölnünk, hogy az semleges termékekre bomoljon szét. A megjelenési küszöbenergiát, mint energetikai paramétert a töltött ionok esetében használjuk, mégpedig azon energia jellemzésére, amit ahhoz szükséges közölnünk a semleges céltárgymolekulával, hogy abból legalább egy ionizált termék (ionfragmentum) keletkezzen. Mindkét mennyiség függ a reakció-útvonaltól és reakciócsatornától, azaz a szét-töredezés során keletkező összes fragmentum állapotától. Például egy semleges kénmolekulából keletkező ionfragmentum reakciócsatornája a következőképpen írható le:



ahol n és k a kezdeti és végállapotú kénmolekulák atomjainak számát mutatják. Ezen a csatornán pozitív töltésű ionfragmentumok, valamint semleges töltésű atomok keletkeznek. Ezen kívül – természetesen – rengeteg, ettől eltérő reakciócsatornát is megfigyelhetünk, ahol semleges molekulák, negatív ionok, vagy akár gerjesztett állapotú fragmentumok is keletkezhetnek.

Érdekes megemlíteni, hogy a pozitív ionok energetikai jellemzői különböző kísérleti módszerekkel (például tömegspektrométerekkel) könnyen mérhetőek, a semleges fragmentumok viszont sokkal nehezebben kimutathatók, emiatt a fent említett folyamatokban a reakciócsatorna teljes egészében ritkán ismert. A megjelenési küszöbenergia akkor lesz minimális, ha a keletkező fragmentumok semelyike sem lesz gerjesztett állapotú (vagyis a folyamat során alapállapotban képződnek), valamint nem rendelkezik számottevő kinetikus energiával.

Amikor az E_{AP} energia meghatározásáról beszélünk, figyelembe kell vennünk az összes keletkező fragmentum állapotát a reakcióban. Amennyiben tehát a fragmentumionokat regisztráljuk a DI-mérések során, az egyben az összes keletkező termék állapotáról nyújt számunkra információt. A mérésekben regisztrált ionfragmentumok egy időben több reakciócsatornán keresztül is keletkeznek, viszont az adott ionokra jellemző fragmentációs csatornák egymáshoz viszonyított valószínűségét nem lehet pontosan meghatározni. Emiatt a legtöbb esetben nem ismert, hogy a megfigyelt ionfragmentumok melyik reakciócsatornán, milyen mennyiségben keletkezhetnek.

A kén mind tudományos, mind ipari szempontból nagyon fontos anyag [3, 4]. Az asztrofizikában például kéntől származó emissziót mértek az Jupiter Io holdjának atmoszférájából és ionoszférájából [5]. Ehhez hasonló emissziót mértek üstökösöknél is [6]. Korábbi munkákban már azt is kimutatták, hogy S_n -molekulák esetében a (2) reakcióegyenlet szerinti, elektronütkezés által kiváltott DI-folyamatok megközelítőleg 9,5 eV energiától válnak meghatározóvá [4].

Az S_k^+ -ionfragmentumok S_n -molekulákra viszonyított megjelenési küszöbenergiáit legegyszerűbben a következő számítási módszerrel határozhatjuk meg:

$$\begin{aligned} E_{AP} \frac{S_k^+ - (n-k) S}{S_n} &= \\ &= E_t(S_k^+) + (n-k) E_t(S) - E_t(S_n) = \\ &= D \frac{S_k - (n-k) S}{S_n} + I(S_k), \end{aligned} \quad (3)$$

ahol az E_t a teljes alapállapotú elektronikus energia, a D és I mennyiségek pedig a disszociációs és ionizációs energiák értékeit mutatják. Jelen esetben az S_k^+ fragmentummegjelenési küszöbenergia megegyezik n számú semleges kénatom kötési energiájának, valamint az adott ionfragmentum ionizációs energiájának összegével. A cikk további részében az első elméleti számítások eredményei kerülnek bemutatásra, amelyet a kisebb kénmolekulák (más néven klaszterek) megjelenési küszöbenergiáinak és egyéb energetikai jellemzőinek meghatározása érdekében végeztünk. E számítások a fellelhető kísérleti eredményekkel is összevetésre kerülnek.

Elméleti módszer

A kénmolekulák, valamint a semleges és ionizált fragmentumok teljes elektronikus energiáit a sűrűség-funkcionál (DFT) és a Hartree–Fock (HF) kvantumkémiái módszerek [7, 8], továbbá a nyílt forráskódú GAMESS számítógépes programcsomag [9] segítségével határoztuk meg. Mindkét elméleti módszer a bonyolultabb molekularendszerek vizsgálatakor – egyszerűségük és viszonylag nagy pontosságuk miatt – széleskörűen használt a kvantumkémiaiában. A sűrűségfunkcionál számításokat a B3PW91 típusú hibrid kicserélődési-korrelációs funkcionál felhasználásával végeztük. A Hartree–Fock-módszerrel meghatározott teljes energiákat a Moller–Plesset-féle másodrendű perturbációs elmélet (MP2) – ez magába foglalja az elektronok közötti korrelációból származó hatások leírását is – segítségével pontosítottuk.

A kezdeti molekulamodellek megalkotásához az irodalomban fellelhető adatokra támaszkodtunk [10, 11], majd az egyensúlyi állapot elérése érdekében geometriai optimalizálást hajtottunk végre a molekulák szerkezetén. A kénmolekulák egyensúlyi szerkezetének meghatározását követően az S_k^+ -ionfragmentumok adiabatikus energetikai paramétereit számoltuk ki. Az adiabatikus mennyiségek meghatározásánál a semleges és az ionizált fragmentumok egyensúlyi állapotai közötti energiakülönbségeket vettük figyelembe.

Az ionizációs és disszociációs energiák, valamint az elektronaffinitások elméleti úton és kísérletileg meghatározott értékeit néhány kénmolekula esetében az

1. táblázat			
Néhány kénmolekula ionizációs és disszociációs energiájának, valamint elektronaflinitásának elméleti értékei és kísérleti adatai			
energetikai paraméterek	a számítások eredményei (eV)		kísérleti eredmények, (eV)
	DFT/B3PW91	HF/MP2	
S ₂			
E _a	1,66	1,45	1,565±0,050 [13]
I	9,65	9,17	9,356±0,002; 9,6±0,2 [12]; 9,40 ± 0,05 [13]
D(2S/S ₂)	4,50	4,03	4,45 [14]
S ₆			
E _a	1,73	1,48	3,210±0,070 [13]
I	8,72	8,39	8,5±0,3 [13]; 9,2±0,2 [12]; 9,00±0,03 [13]
D(S ₅ +S/S ₆)	4,48	3,98	
S ₈			
E _a	2,09	1,50	3,590±0,050 [13]
I	8,06	7,52	9,3±0,2 [12]; 9,04±0,03 [12]; 7,3±0,3 [13]
D(S ₇ +S/S ₈)	2,54	2,36	

1. táblázatban vetettük össze. Összességében jól egyeznek a vizsgált mennyiségek számolt és mért értékei. Megfigyelhető azonban, hogy az elméletek szisztematikusan alulbecslik az elektronaflinitások kísérleti értékeit, az eltérés a molekulák atomszámával együtt növekszik. Ez főképp az 5 atomnál többet tartalmazók esetében szembetűnő. Az S_6 és S_8 molekulák ionizációs energiájának számolt értékei is körülbelül 0,5–1,5 eV-tal alábecsülik a kísérleti eredményeket. Véleményünk szerint ez a jelenség az elméleti modell kisebb-nagyobb hiányosságaival magyarázható. A számítások során például nem vettük figyelembe a molekulák rezgési energiáit, azaz csak a teljes elektronikus energiát határoztuk meg a hipotetikus 0 K hőmérsékleten. A részecskék hőmozgásából eredő hatások egyes esetekben akár 1 eV energiakülönbséget is jelenthetnek. Az elmélet további hiányosságait

ján határoztuk meg. Ezek közül néhányat összevetettünk a fellelhető kísérleti adatokkal (2. táblázat).

Az 1. táblázatban bemutatott eredményekkel összhangban, ez esetben is elmondható, hogy általánosságban jó egyezés tapasztalható az S_k^+ -ionfragmentumok keletkezési küszöbenergiájának általunk számolt és a kísérletileg meghatározott értékei között. A legjobb összeegyeztethetőség az elméleti és a mért értékek között az S_8 -molekula disszociatív ionizációja során tapasztalható. Az összes vizsgált csatorna közül azonosítható legalább egy olyan „kedvező” reakciócsatorna, amelynél nagyon magas szintű egyezés tapasztalható a kísérlet és az elmélet között. Meglepő módon az S^+ és az S_2^+ ionfragmentumok esetében is fennáll ez a következtetés, ez esetben azonban körülbelül 0,5-0,9 eV nagyságrendű eltérés tapasztalható a számolt és mért értékek között. Az S_6 -molekula disz-

az általánosság és érthetőség megőrzése érdekében nem taglaljuk. Az 1. táblázat adatait a továbbiak során csak a megfelelő becslésekhez használjuk fel.

Eredmények és következtetések

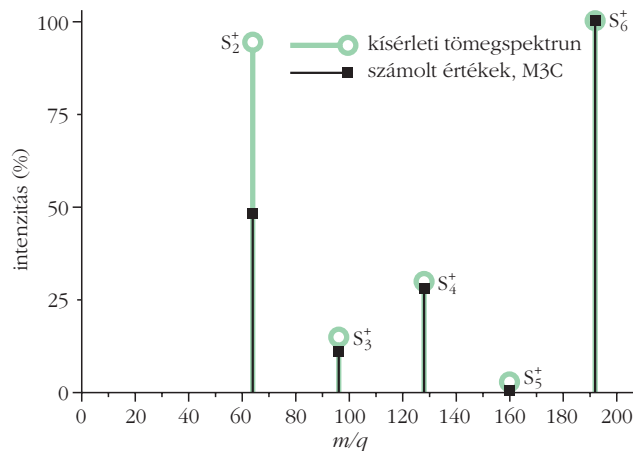
Az S_k^+ -ionfragmentumok megjelenési küszöbenergiái kísérletileg jól meghatározhatók a parciális kilépési hatáskeresztmetszetek mérésével, ahogy azt a [3, 4, 15, 16] munkák is mutatják. Az S_k^+ -ionokra vonatkozó adiabatikus elméleti E_{AP}^{th} megjelenési küszöbenergia-értékeket a (3) képlet alap-

ján határoztuk meg. Ezek közül néhányat összevetettünk a fellelhető kísérleti adatokkal (2. táblázat). Az 1. táblázatban bemutatott eredményekkel összhangban, ez esetben is elmondható, hogy általánosságban jó egyezés tapasztalható az S_k^+ -ionfragmentumok keletkezési küszöbenergiájának általunk számolt és a kísérletileg meghatározott értékei között. A legjobb összeegyeztethetőség az elméleti és a mért értékek között az S_8 -molekula disszociatív ionizációja során tapasztalható. Az összes vizsgált csatorna közül azonosítható legalább egy olyan „kedvező” reakciócsatorna, amelynél nagyon magas szintű egyezés tapasztalható a kísérlet és az elmélet között. Meglepő módon az S^+ és az S_2^+ ionfragmentumok esetében is fennáll ez a következtetés, ez esetben azonban körülbelül 0,5-0,9 eV nagyságrendű eltérés tapasztalható a számolt és mért értékek között. Az S_6 -molekula disz-

szociatív ionizációja esetében valamivel nagyobb eltérés mutatkozik. Itt az elmélet körülbelül 0,3–1,2 eV-tal – szintén – túlbecsüli a kísérleti értékeket. Véleményünk szerint ezen eltérésekhez – többek között – az előbbi fejezetben már taglalt rezgési folyamatok leírásának elhanyagolása vezethet. Az S^+/S_2 , valamint S_2^+/S_2 reakciócsatornák esetében a megjelenési küszöbenergiák kísérleti és elméleti értékei között jó egyezés tapasztalható.

Fontos megemlíteni Zavilopulo és munkatársai írását [4], amelyben kimutatták, hogy a kénatomok egy molekulára viszonyított átlagos száma a kezdeti semleges molekulá-

2. táblázat				
A különböző S_n molekulák ($n = 2, 6, 8$) disszociatív ionizációja során keletkező S_k^+ ionfragmentumok megjelenési küszöbenergiái				
S_k^+ ion	reakciócsatorna	megjelenési küszöbenergiák elméleti értékei, E_{AP}^t (eV)		megjelenési küszöbenergiák kísérleti értékei, E_{AP}^{exp} (eV)
		DFT/B3PW91	HF/MP2	
$E_{AP}(S_k^+/S_8), k = 1, 3, 4, 5$				
S_5^+	$S_8 \rightarrow S_5^+ + S_3 + e^-$	10,60	11,04	10,2 [13]; 8,7±0,2 [4]
S_4^+	$S_8 \rightarrow S_4^+ + 2S_2 + e^-$	12,97	14,01	12,5±0,3 [13]; 10,3±0,2 [4]
S_3^+	$S_8 \rightarrow S_3^+ + S_3 + S_2 + e^-$	12,62	12,23	12,6±0,5 [13]; 10,2±0,2 [4, 16]
S_2^+	$S_8 \rightarrow S_2^+ + S_5 + e^-$	12,68	12,25	
S^+	$S_8 \rightarrow S^+ + S_4 + S_3 + e^-$	11,07	10,84	10,30±0,2; 10,36±0,1 [4]
$E_{AP}(S_k^+/S_6), k = 2, 4$				
S_4^+	$S_6 \rightarrow S_4^+ + S_2 + e^-$	12,19	13,15	11,94±0,05 [13]; 10,3±0,2 [4]
S_2^+	$S_6 \rightarrow S_2^+ + 2S_2 + e^-$	12,04	11,50	12,8±1,0 [13]; 9,55±0,2 [4]; 9,6±0,2 [16]
S_2^+	$S_6 \rightarrow S_2^+ + S_4 + e^-$	12,35	11,61	
$E_{AP}(S_k^+/S_2), k = 1, 2$				
S_2^+	$S_2 \rightarrow S_2^+ + e^-$	9,65	9,17	9,6±0,2 [12,16]; 9,55±0,2 [4]
S^+	$S_2 \rightarrow S^+ + S + e^-$	14,99	13,80	13,5±0,5 [14]; 14,74±0,01 [13]



1. ábra. Az S₆-molekula 70 eV-os elektronbombázása során mért kísérleti tömegspektrum, összevetve az M3C elméleti számítások eredményével.

gázban, vagyis a céltárgymolekulák mérete erősen függ a gáz hőmérsékletétől. Ennek egyenes következményeként a kísérletek során nem kimutatható, hogy a DI-folyamatok során regisztrált S_k⁺-ionok melyik semleges S_n-molekulából származnak, emiatt a reakciócsatornához tartozó ismeretek a kísérletek során még hiányosabbak. Elméleti számításainkkal többek között pont erre a problémára keressük a megoldást, és ahogy fentebb bemutattuk, sok esetben kielégítő válaszokat kaptunk arra, hogy a vizsgált pozitív ionfragmentumok milyen fragmentációs csatornán keletkeznek a legnagyobb valószínűséggel.

Kutatásainkat ezután a DI-folyamatok során megfigyelt reakciócsatornák valószínűségi eloszlásának meghatározásával folytattuk. A kénmolekulákon végzett kvantumkémiai számítások eredményei további számítások kiindulópontjaiként szolgáltak. A fentiekben leírt energetikai és szerkezeti paraméterek felhasználásával – Néstor Aguirre kutatócsoportjával együttműködve, a Mikrokanonikus Metropolis Monte-Carlo-módszert alkalmazva, az M3C programcsomag segítségével – statisztikai számításokat végeztünk [17], és sikerült meghatároznunk az S₆-molekula lehetséges fragmentációs csatornáinak valószínűségi eloszlását.

A számítások ellenőrzéseképpen eredményeinket összevetettük az S₆-molekula 70 eV-os elektronbombázása során mért tömegspektrumával, amelyet a NIST tömegspektrum-adatbázisában rögzítettek [18]. Az összehasonlítás eredményeit az 1. ábra mutatja.

Összességében elmondható, hogy jó egyezés figyelhető meg az elméleti és a kísérleti intenzitások között, a 64 m/q értéknél megfigyelt S₂⁺-ion kivételével, ahol az elméleti számítások körülbelül kétszeres faktorial becsülik alá a mért értéket. Ez utóbbi esetben egy olyan folyamat is szerepet játszhat, amelyet – valamilyen oknál fogva – nem vettünk figyelembe. Több olyan ok is valószínűsíthető, amivel magyarázható a fentiekben tapasztalt eltérés a kísérletektől. Az egyik ilyen folyamat egy reakcióbarrier jelenléte (valószínűleg egy magasan fekvő átmeneti állapot) némelyik fragmentációs csatorna reakcióútján. Az eltérést ezen kívül a sűrűségfüggvény módszer pon-

talansága is okozhatja. Emiatt a közeljövőben újabb *ab initio* számításokat tervezünk végezni – magasabb szintű kvantumkémiai módszerek segítségével, amellyel majd korrigáljuk az M3C statisztikai szimulációk eredményeit – a kénmolekulák szerkezetének és energiáinak meghatározására.

Összegzés

Átfogóan tanulmányoztuk – különböző kvantumkémiai elméleti módszereket alkalmazva a GAMESS programcsomag segítségével – a kénmolekulák diszszociatív ionizációs folyamatai során megfigyelt egy- szeresen töltött pozitív ionfragmentumok megjelenési küszöbenergiáinak és más energetikai paramétereinek viselkedését. Az ionizációs energiák esetében tapasztalt számolt és mért értékek közötti jó egyezés bizonyítja, hogy elméleti módszertanunk alkalmazható a fragmentációs folyamatok további jellemzőinek leírásához is. Viszonylag jó egyezést kaptunk az S_k⁺-ionok megjelenési küszöbenergiája elméleti és kísérleti értékei esetében is. A kisebb eltérést, amelyet némely fragmentációs csatorna esetében tapasztaltunk, valószínűleg – a számításaink során figyelmen kívül hagyott – különböző rezgési és termikus kölcsönhatások okozhatják. Az elméleti számítások eredményei ezen kívül azt is kimutatták, hogy a kísérletek során mért pozitív ionok pontosan milyen reakciócsatornák végtermékei lehetnek.

Irodalom

- Sh. Sh. Demesh, A. N. Zvilopulo, O. B. Shpenik, E. Yu. Remeta, *Technical Physics* 60/6 (2015) 830.
- Sh. Sh. Demesh, E. Yu. Remeta, *Eur. Phys. J. D* 69/7 (2015). 168
- S. J. Broton, J. W. McConkey, *J. Chem. Phys.* 134 (2011) 204301.
- A. N. Zvilopulo et al., *Tech. Phys. Lett.* 40 (2015) 13.
- L. M. Feaga, M. A. McGrath, P. D. Feldman, *Astrophys. J.* 570 (2002) 439.
- R. Meier, M. F. A'Hearn, *Icarus* 125 (1997) 164.
- Sh. Sh. Demesh, E. Yu. Remeta, *XLIC 3rd General meeting* (Debrecen, Hungary, 2015) 33.
- Sh. Sh. Demesh, E. Yu. Remeta, *ECAMP 12* (Frankfurt am Main, Germany, 2016) 137.
- M. W. Schmidt et al., *J. Comput. Chem.* 14 (1993) 1347.
- S. Millefiori, A. Alparone, *J. Chem. Phys.* 105 (2001) 9489.
- R. O. Jones, P. Ballone, *J. Chem. Phys.* 118 (2003) 20.
- S. G. Lias, J. E. Bartmess, J. F. Liebman, J. L. Holmes et al.: Ion Energetics Data. In *NIST Chemistry WebBook*. NIST Standard Reference Database Number 69, Eds. P. J. Linstrom, W. G. Mallard, NIST, Gaithersburg MD, 20899, doi: 10.18434/T4D303 (2017).
- H. M. Rosenstock, K. Draxl, B. W. Steiner, J. T. Herron: Ion Energetics Data. In *NIST Chemistry WebBook*. NIST Standard Reference Database Number 69, Eds. P. J. Linstrom, W. G. Mallard, NIST, Gaithersburg MD, 20899, doi: 10.18434/T4D303 (2017).
- J. A. Kerr, *Chem. Rev.* 66/5 (1966) 465.
- M. Arnold, J. Kowalski et al., *Z. Phys. D – Atoms, Molec. Clust.* 3 (1986) 329–333.
- W. Rosinger, M. Grade, W. Hirschwald, *Int. J. Mass Spect. Ion Phys.* 47 (1983) 239–242.
- N. F. Aguirre, S. Díaz-Tendero, P-A. Hervieux, M. Alcami, F. Martin, *J. Chem. Theory Comput.* 13/3 (2017) 992–1009.
- S. E. Stein: Mass Spectra. In *NIST Chemistry WebBook*. NIST Standard Reference Database Number 69, Eds. P. J. Linstrom, W. G. Mallard, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg MD, 20899, doi: 10.18434/T4D303 (2017) NIST MS num. 273587.

A REJTÉLYES VÉNUSZ

Opitz Andrea – MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont

Forczek Bianka – Tóparti Gimnázium és Művészeti Szakgimnázium, Székesfehérvár

A Vénusz a Föld belső bolygósomszédja, a Naptól számított második bolygó. Ezt a Föld-méretű kőzetbolygót rendkívül vastag felhőzet borítja, légköre szén-dioxid alapú, felszínén pokoli viszonyok uralkodnak, és a belső mágneses tér teljes hiánya jellemzi. Megismerését nemcsak átlátszatlan vastag felhőzete, de a felszínén uralkodó embertelen körülmények is nehezítik. Kénsavas légköre nagyon sűrű, a nyomás a földi 92-szerese, a felszíni hőmérséklet az üvegházhatás következtében nagyon magas, mintegy 450 °C.

A Vénusz bolygó

A bolygó a *Venus* nevet a szerelem és szépség római istennőjéről kapta. Régen esthajnalcsillagnak is nevezték, mert mindig a Nap közelében látható, vagy az esti, vagy a hajnali égbolton, hiszen a földpályán belül található. Nem véletlenül találkozhatunk a Föld testvére kifejezéssel, hiszen a Vénusz mind méretében, mind tömegében hasonlít a Földhöz. Ellenben kicsit közelebb van a Naphoz (0,7 CSE), és a légköri nyomás a bolygó felszínén sokkal magasabb, 92 bar (9,2 MPa). A Vénusz Nap körüli keringési ideje 225 nap, míg tengely körüli forgása igen lassú, 243 napos, és érdekessége, hogy retrográd, azaz forgása a keringéssel ellentétes irányú.

A Vénusz megismerése űrszondákkal

A Vénusz felszínén uralkodó magas nyomás nem kevés problémát okoz az űrszondák tervezésében és leszállásuk kivitelezésében. Az első próbálkozások sikertelenül végződtek, valószínűleg a váratlanul magas felszíni nyomás és a mostoha időjárás körülmények következtében. Az 1960-as és 70-es években a szovjet *Venyerá* szondákat és az amerikai *Mariner* szondákat küldték a bolygóhoz. Az első sikeres bolygókörüli megfigyelést a *Mariner-2* űrszonda végezte

A szerzők köszönik Szegő Károly, Király Péter és Kereszturi Ákos szakmai tanácsait és Sarnecky Violának, hogy átnézte a kéziratot. Forczek Bianka a Nemzet Fiala Tehetségeiért Ösztöndíj támogatottja.



Opitz Andrea űrkutató és csillagász, az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont tudományos főmunkatársa, az Űrfizikai Kutatócsoport vezetője. Svájcban doktorált, Franciaországban volt posztdoktori ösztöndíjas, majd utána az ESTEC-ben, az Európai Űrügynökség (ESA) hollandiai központjában dolgozott. A napszélstruktúrákat kutatja, valamint azok hatását vizsgálja a Vénusz és a Mars plazmakörnyezetére.



1. ábra. A Venus Express szonda a Vénusz felhői felett (ESA fantáziarajz).

1962-ben, az első sikeres landolást pedig a *Venyerá-7* leszállóegység 1970-ben.

A NASA *Pioneer Venus Orbiter (PVO)* küldetés egy közel poláris pályán keringő, a saját tengelye körül forgó szonda volt, amely 1978 és 1992 között végzett megfigyeléseket. A szintén amerikai *Magellan* misszió (1990–1994) fő célja a bolygó felszínének feltérképezése volt radar segítségével.

Az Európai Űrügynökség (ESA) *Venus Express (VEX)* három tengelyre stabilizált űrszondája 2006 és 2014 között vizsgálta a Vénuszt (1. ábra). A küldetés elején a célkitűzéseknek megfelelően a felszínt és a légkör kémiai tanulmányozta. Vizsgálta továbbá a plazmakörnyezetet (a bolygó ionoszféráját és mágneses terét), valamint a légkör kölcsönhatását a napszéllel, illetve a felszínnel. A küldetés utolsó hónapjaiban végzett magaslégköri fékezéses (*aerobraking*) kísérlet értékes adatokat eredményezett a légkör sűrűségéről az űrszonda pályája mentén, egészen a



Forczek Bianka 2015-ben kezdte középiskolai tanulmányait a székesfehérvári Tóparti Gimnázium és Művészeti Szakgimnáziumban. 2016 óta a Nemzet Fiala Tehetségeiért Ösztöndíj kedvezményezettje és a Nők a Tudományban Egyesület diáknagykövete.

130 km-es felszín feletti magasságig történt leereszkedés során, ezzel pontosítva a távolról végzett sűrűségbecslések eredményét [1].

A japán *Akacuki* űrszondát 2010-ben nem sikerült Vénusz körüli pályára állítani [1]. Öt év elteltével, 2015 decemberében viszont ismét a bolygó közelébe ért, és a második pályára állási kísérlet sikerült, így ma már érkeznek a tudományos eredmények.

Jelenleg nincsen más Vénusz-szonda, és sajnos konkrét tervek sincsenek a közeljövőre, sem az európai, sem az amerikai űrügynökség részéről.

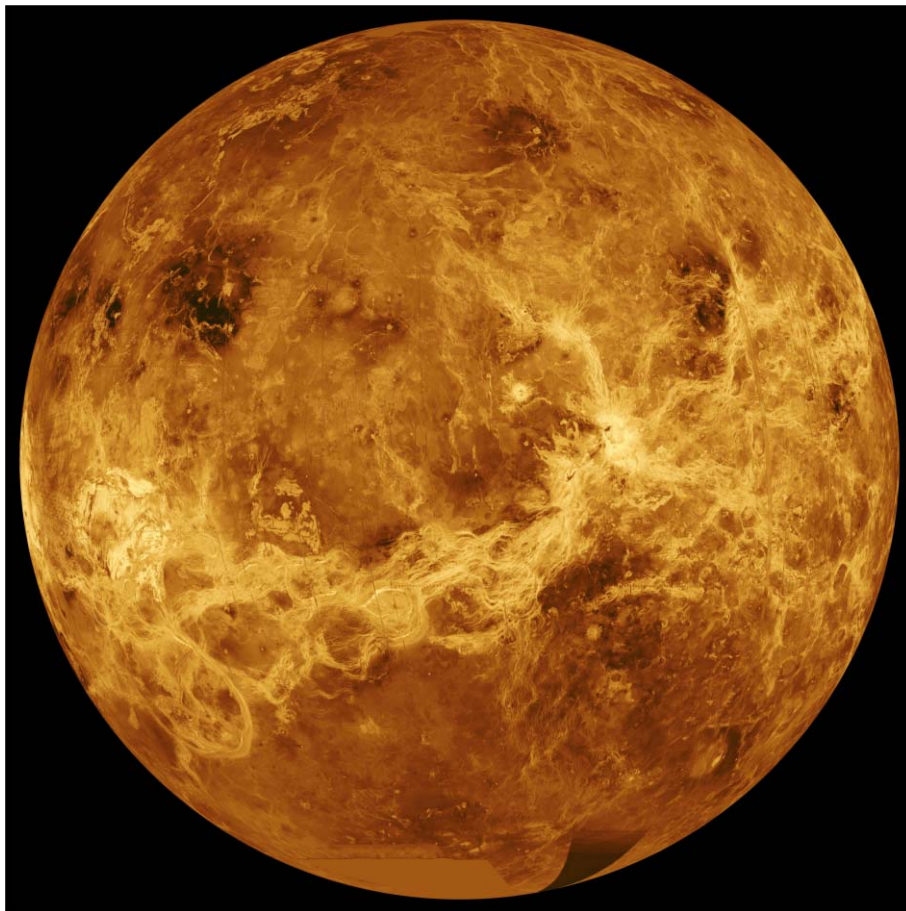
A Vénusz felszíne

A Vénusz bolygó átlagos sugara 6052 km, amelytől felszíne -2 és $+9$ kilométerrel tér el. A *Magellan* szonda radaros mérések segítségével térképezte fel a felszíni domborzatot (2. ábra). A felhőkbe belesve az infravörös „ablak” segítségével alacsony térbeli felbontással a *Venus Express*

azonosított néhány olyan felszíni forró foltot, amelyek idővel változtatják a hőmérsékletüket. Ez aktív vulkanizmusra utal [2]. A felszínen különböző méretű és formájú vulkánokat figyeltek meg [3]. A változatos vulkáni alakzatok arra utalnak, hogy ugyanennyire változatosak az azokat kialakító folyamatok is. Jelenlegi kutatások tárgya, hogy vajon a robbanásos vulkánkitörések működhetnek-e a Vénuszon, mivel a kitöréseket befolyásoló fizikai folyamatok a Vénuszon nagyon különböznek a földiektől. A nagy légköri nyomás ugyanis nem kedvez a robbanásos kitöréseknek, ahhoz hasonlóan, miként a földi óceánok aljzatán sem jellemzők az ilyen események. Amíg lávafolyásokat mindenütt látunk, addig a piroklasztikus törmelékárak és a kihullott lerakódásaik ritkák vagy nincsenek. Érdekes kérdés, hogy a Vénusz sűrű légkörében vajon a vulkáni kitörés anyaga milyen magasra tud feljutni a légnyomás és a hőmérséklet függvényében [4].

Légkör és felhőzet

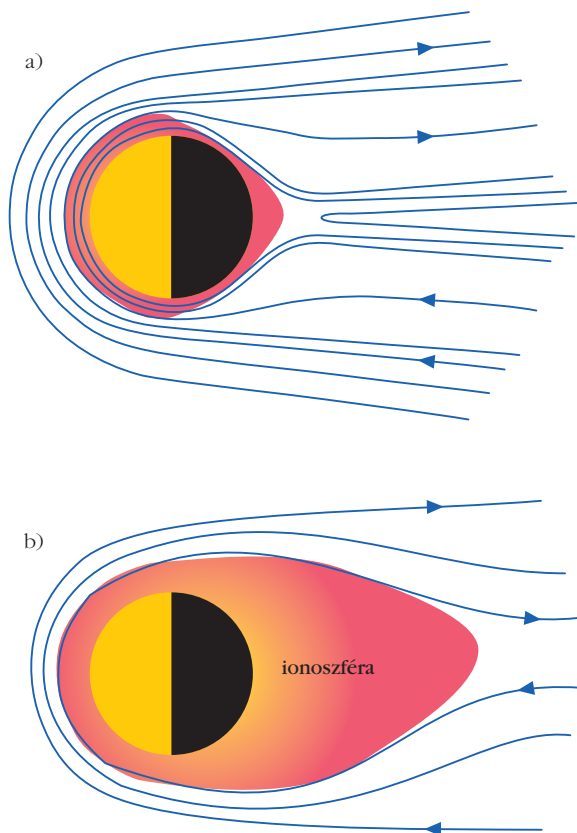
A Vénuszon kevés a víz, az is a felhőzet kénsavcseppeiben van megkötve. Viszont a szén-dioxid nagy része, ami a Földön kötött állapotban van jelen (például



2. ábra. A Vénusz felszíne (NASA/JPL) a *Magellan* szonda radaros mérései, illetve a *Venera-13* és *-14* leszállógységek színes felvételei alapján. A középen átfutó világosabb terület az Aphrodite Terra magasföld.

az óceánokban), a Vénusz légkörében még mindig szabad. A Vénusz mai atmoszférájában a kémiai reakciók, illetve a szállítási és a sugárzási folyamatok szabályozzák a jelentősebb nyomelemek mennyiségét. A kénsav aeroszolok, amelyek a Vénusz felhőit és fátyelfelhőit alkotják, fontos szerepet játszanak a Vénusz légkörének kémiájában és sugárzási környezetében. A vízgőz és a kénsav körforgása biztosítja az állandó felhőréteg fennmaradását, valamint a légkör és a felszín közötti reakciókat [5].

A Vénusz légköre kimondottan meleg, az extrém üvegházhatás következtében a felszín $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra melegszik fel. A felszín időjárása az ember szempontjából nyomasztó: magas a hőmérséklet, illetve megvilágítása az egész bolygót borító vastag felhőtakaró miatt gyenge. A felszíni szél lassú, jellemző sebessége körülbelül 1 m/s . A bolygó felülről történő megfigyelése során sima, fényes felhőtakarót látunk. Ez a felhőzet 20 km vastag, és $50\text{--}70\text{ km}$ -re fekszik a felszín felett. A felhőzet a felszíni légrétegnél sokkal hidegebb, tipikus hőmérséklete körülbelül $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ (hasonló a földi felhőtető hőmérsékletéhez). A magasabb felhőrétegekben extrém időjárási körülmények uralkodnak, olyan szelekkel, amelyek sokkal gyorsabbak, mint a Vénusz saját forgása, ez az úgynevezett szuperrotáció.



3. ábra. A Vénusz ionoszférája (a) átlagos és (b) nagyon alacsony napszélnyomás idején [11]. A görbék a nyilakkal a mágneses erővonalakat szimbolizálják, a bolygó körüli színes terület pedig az ionoszférát jelzi.

A *Venus Express* megfigyelései lényegesen javították a Vénusz éghajlati térképeit, a kutatók a felhőzetet három szempontból vizsgálták: milyen gyorsak a Vénusz szelei, mennyi víz van a felhőkbe zárva, és milyen fényesek ezek a felhők a különböző spektrumokon. Úgy tűnik, hogy a vastag felhőzet időjárási min-táit a felszín topográfiája befolyásolja [6].

A Vénusz villámai

A legtöbb bolygó légkörében a közönséges események közé tartoznak a villámok. Főként a Földön, a Jupiteren és a Szaturnuszon jelentkeznek, és valószínűleg előfordulnak az Uránuszon és a Neptunuszon is. A Vénuszon a *Venýera* missziók, a *Pioneer Venus Orbiter* és a *Venus Express* megfigyeléseiből következtetjük ki a villámlásokat. Az orosz *Venýera-11*, *-12*, *-13* és *-14* villámtevékenységhez kapcsolható igen alacsony frekvenciás hullámokat mért a felszínre ereszkedés közben. A *Venýera-9* optikai megfigyelései felhő-felhő villámokra utalnak. A *PVO* mérések pedig felhő-ionoszféra villámokra engedtek következtetni.

A Földön, a Jupiteren és a Szaturnuszon a kisülések elsődleges forrása a vízcseppek és a vízjég sűrűsödése a konvekció során. A Vénuszon ellenben nagyon kevés a víz, az is a felhőzet kénsavcseppeiben van meg-

kötve, így a töltésszétválasztás a kénsavcseppek sűrűsödésének valószínű következménye.

A Vénuszon a felhők nagyon magasan vannak, sokkal magasabban, mint a földi felhőzet, és túl magasan ahhoz, hogy a kisülés légkörön való átütéséhez elegendő potenciált alakítsanak ki. Ezért nagyon valószínűtlen a felhő-talaj kisülés. Ezzel ellentétben az ionoszféra alja sokkal közelebb van a felhőkhöz, így a felfelé történő kisülések valószínűbbek [7]. A Földről végzett optikai Vénusz-megfigyelések során mostanáig csupán egyetlen villámot láttak [8], amely megfigyelést viszont azóta sem tudtak megismételni. Pedig elméletileg látnunk kellene, hiszen a villámok a felhők felett az ionoszféra irányába tartó kisülések lehetnek, körülbelül 40-80 km-es magasságban.

A Vénusz plazmakörnyezete

A Vénusznak nincs belső mágneses tere. A sűrű légkör következtében ionoszférája viszont van, amely főként a Naphól érkező fotonok ionizáló hatására keletkezik [9]. Az ionok áramlása fontos szerepet játszik a Vénusz ionoszféráját jellemző folyamatokban, hiszen a belső mágneses tér hiánya miatt a Vénuszon az ionok szabadon reagálhatnak a plazmanyomás gradiensére. A plazmanyomás-különbségből adódó gradiens az éjszakai oldal felé áramoltatja a napos oldalon lévő fotoionizációs forrásból származó ionokat. Ez az áramlás hozzávetőlegesen szimmetrikus a Nap-Vénusz vonalra, és biztosítja azon oxigénionok forrását, amelyek fenntartják az éjszakai oldal ionoszféráját [10].

A Naphól jövő töltött részecskék áramának (napszél) főként a Vénusz ionoszférája jelent akadályt. A bolygóhoz érve a napszél lelassul, körbefolyik az akadályon és a napszélbe belefagyott mágneses tér feltorlódik, illetve ráhajlik a bolygóra (3.a ábra). Ez a mágneses tér a vezető ionoszférában áramokat kelt, és indukált mágneses tér alakul ki. Ez alapján érthető, hogy az ilyen eredendően nem mágneses bolygók plazmakörnyezete rendkívül érzékeny a napszél változásaira.

A *Venus Express* űrszonda érdekes eredményeket hozott a Vénusz ionoszférája és a napszél kölcsönhatásáról. Wei és munkatársai [11] egy olyan időszakot vizsgáltak, amikor különösen alacsony sűrűségű volt a napszél. Több nagy napkitörés után, 2010. augusztus 3-4-én igen ritka napszelet (0,1 részecske/köbcentiméter) mértek a STEREO-B napszondával, amely a Vénusz mögött, a Föld pályájáról végzett megfigyeléseket. Eközben a *Venus Express* űrszonda a bolygó közelében elnyújtott elliptikus pályán vizsgálta a bolygó plazmakörnyezetét a magnetométer és a plazmaműszer segítségével. A sűrűség 0,2 részecske/köbcentiméter volt, amíg a dinamikus nyomás 0,1 nPa, ami körülbelül 50-szer alacsonyabb, mint általában. Az alacsony napszélnyomás miatt a Vénusz ionoszférája csepp alakú lett, csóvája elnyúlt, olyan alakja volt, mint egy üstökösnek (3.b ábra).

Másik extrémum, amikor a napkitörésekből származó koronaanyag-kidobódások (CME) érik el a Vén-

nuszt, és rendezik át a bolygó plazmakörnyezetét. Vech és munkatársai [12] szisztematikusan vizsgálták a VEX űrszonda plazma- és mágneses méréseinek segítségével a CME-k hatását a különböző plazmarégiókra. Azt találták, hogy az indukált mágneses tér megnő, a bolygó előtti lökéshullám nagyon eltávolodik, és az éjszakai magnetoszféra magassága csökken ezekben az időszakokban.

Nyitott kérdések

A Vénusz bolygó igen rejtélyes, még rengeteg megválaszolatlan tudományos kérdés van. A bolygó története, ősi légköre és annak fejlődése, a villámok meglepően ritka észlelése, valamint a vulkanizmus mind további magyarázatra szorul. A belső mágneses tér hiánya igen érdekessé teszi a bolygó plazmakörnyezetének vizsgálatát.

Az elmúlt néhány évben a tudósok találtak egy további okot a Vénusz jelentőségének hangsúlyozására: ez a globális felmelegedés. A légkör az elszabadult üvegházhatás következtében melegszik fel. Ha rájövünk, hogyan történik ez a folyamat, az útmutatója lehet az emberiség válaszáának a globális felmelegedésre.

Irodalom

1. Svedhem, Wilson, Piccioni: Introduction to the special issue on Venus exploration. *Planetary and Space Science* 113–114 (2015) 1.
2. Voosen: <http://www.sciencemag.org/news/2017/01/venus-can-wait-jilted-scientists-face-years-without-nasa-return-earth-neighbor> (2017)
3. Werner: Volcano (Venus). In: *Encyclopaedia of Planetary Landforms*. Springer (2015) 2283–2286.
4. Airey et al.: Explosive volcanic activity on Venus: The roles of volatile contribution, degassing, and external environment. *Planetary and Space Science* 113–114 (2015) 33–44.
5. Parkinson et al.: Photochemical control of the distribution of Venusian water. *Planetary and Space Science* 113–114 (2015) 226–236.
6. Bertaux et al.: Influence of Venus topography on the zonal wind and UV albedo at cloud top level: the role of stationary gravity waves. *Journal of Geophysical Research (Planets)* 121 (2015) 1087–1101.
7. Delitsky, Baines: Storms on Venus: Lightning-induced chemistry and predicted products. *Planetary and Space Science* 113–114 (2015) 184–192.
8. Hansell, Wells, Hunten: Optical detection of lightning on Venus. *Icarus* 117 (1995) 345–351.
9. Bertucci et al.: The induced magnetospheres of Mars, Venus, and Titan. *Space Science Reviews* 162 (2011) 113–171.
10. Miller, Whitten: Ion dynamics in the Venus ionosphere. *Space Science Reviews* 55 (1991) 165–199.
11. Wei et al.: A teardrop-shaped ionosphere at Venus in tenuous solar wind. *Planetary and Space Science* 73 (2012) 254–261.
12. Vech et al.: Space weather effects on the bow shock, the magnetic barrier, and the ion composition boundary at Venus. *Journal of Geophysical Research (Space Physics)* 120 (2015) 4613–4627.

ELNYÚJTOTT ALAKÚ RÉSZECSKÉK RENDEZŐDÉSE NYÍRÓ ÁRAMLÁSBAN

Börzsönyi Tamás, Szabó Balázs, Somfai Ellák

MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont, Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézet

Török János

BME, Elméleti Fizika Tanszék

Elnyújtott alakú részecskékből álló anyagok áramlásával széles mérettartományban találkozhatunk. Erre reprezentatív példák a legnagyobb méretskálától az egyre kisebbekig: a folyón úsztatott farönkök, a szintén makroszkopikus szemcsés anyagok, mint például

búza vagy rizs, a mikrométer nagyságrendű baktériumok, a nanorészecskék és végül a legkisebb, atomi méretskálán a hosszúkás molekulákból álló rendszerek, például nematikus folyadékkristályok. Alapvető kérdés, hogy ezen rendszerekben az áramlás hatására az alkotóelemek miként rendeződnek, és ez hogyan hat vissza az anyag reológiai tulajdonságaira, különösen a viszkozitásra, illetve az effektív sűrűlésre. A

A cikk az Eötvös Loránd Fizikai Társulat szegedi Vándorgyűlésén, 2016. augusztus 26-án elhangzott előadás alapján készült.



Börzsönyi Tamás fizikus, tanulmányait (diploma, PhD) az ELTE-n végezte. Jelenleg az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont tudományos főmunkatársa, a Részben Rendezett Rendszerek kutatócsoport vezetője. Kutatásaiban a szemcsés anyagok és a komplex folyadékok (szuszpenziók, folyadékkristályok) folyási jelenségeit és fázisátmeneteit vizsgálja.

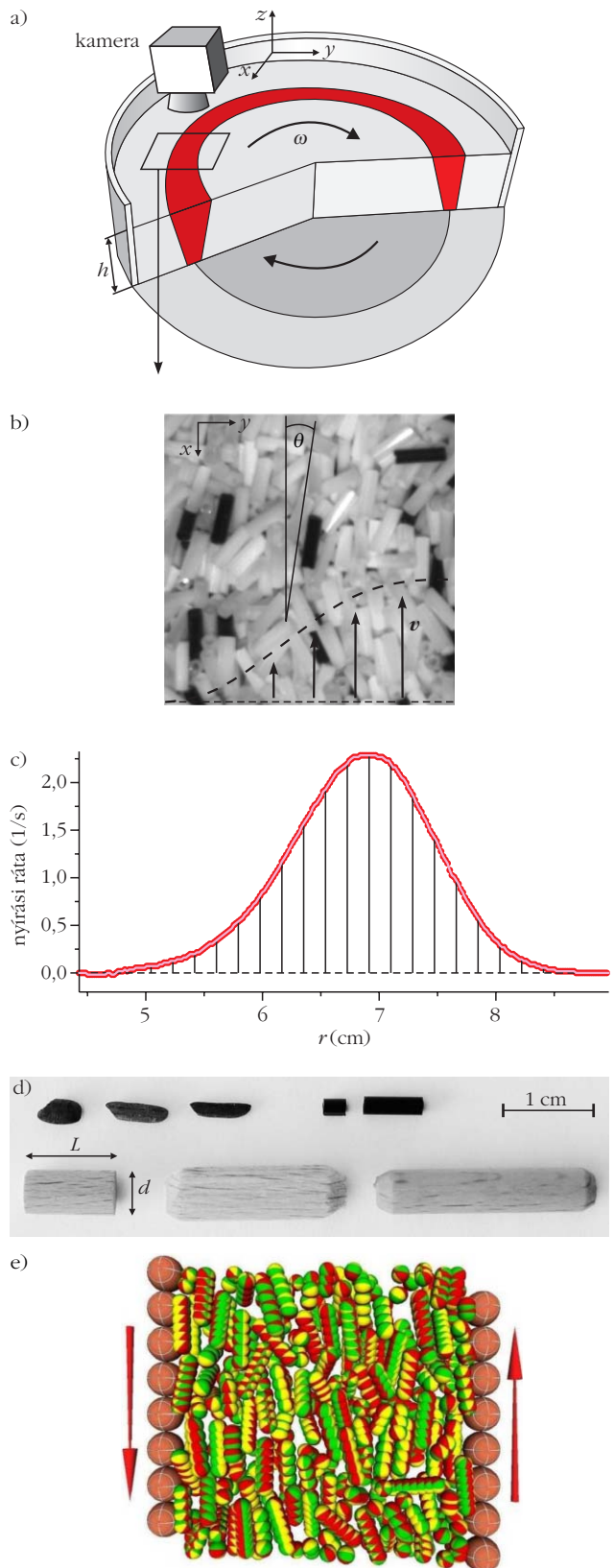


Szabó Balázs fizikus, egyetemi tanulmányait az ELTE-n végezte. 2010 és 2017 között az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpontban dolgozott, jelenleg kutató-fejlesztő a Mediso Kft.-nél. Kutatásai során elsősorban a szemcsés anyagok folyási tulajdonságait vizsgálta, amelynek fókuszában a nem gömbszerű, például elnyújtott alakú részecskéket tartalmazó rendszerek voltak.

fenti rendszerek első ránézésre nagyon különböznek egymástól, nemcsak az egyes részecskék közötti kölcsönhatás fajtájában, hanem a rendeződés ellen ható (például termikus) zaj mértékében is. Ennek ellenére – amint azt látni fogjuk – az áramlás hatására kialakuló rendeződésükben nagyon sok közös vonást fedezhetünk fel. Jelen munkában a száraz makroszkopikus szemcsés anyagokat vizsgáljuk, mint például rizst, vagy mm–cm nagyságrendű üveg- és farudakat. Ilyen anyagokban – tágabb értelemben – rengeteg nehezen jósolható és érdekes jelenség figyelhető meg, a mechanikai terhelésnek kitett anyag megcsúszásától a lejtőkön kialakuló lavinákon keresztül a szegregációs, valamint különböző rezonanciajelenségekig [1–7].

A nyírt szemcsés anyagban az egymás mellett elhaladó részecskék a mechanikai kontaktusokon keresztül hatnak kölcsön (például súrlódás, ütközés), ahol a kölcsönhatás intenzitása egyrészt a nyomástól, másrészt a szomszédos részecskék sebességkülönbségétől, vagyis a sebességgradienstől függ. Arra a kérdésre keressük a választ, hogy a nyíró áramlás hatására bekövetkező rendeződés milyen jellegű és mértékű, valamint hogy ez miként függ a sebességgradienstől, vagy más néven nyírási rátától, illetve a részecskék L/d -vel jelölt elnyújtottságának mértékétől.

Laboratóriumi kísérletekben könnyen létrehozhatunk folyamatos nyíró áramlást az úgynevezett osztott aljú hengeres geometriában, ahol a szemcsés réteg alatt elhelyezett körlemez állandó sebességgel forog (1.a ábra). A réteg felszínéről digitális felvételeket készíthetünk (1.b ábra), a minta belsejét pedig röntgentomográf segítségével térképezhetjük fel. A minta egy sáv mentén nyíródik (az ábrán pirossal jelölve), amin belül a nyírási ráta az 1.c ábrán látható módon függ a forgástengelytől mért távolságtól. Az adatokat az 1.c ábrán jelölt sávokból külön-külön gyűjtve, illetve különböző forgási sebességeket alkalmazva megmérhetjük, hogy a részecskék folyásiránnyal bezárt θ szög-



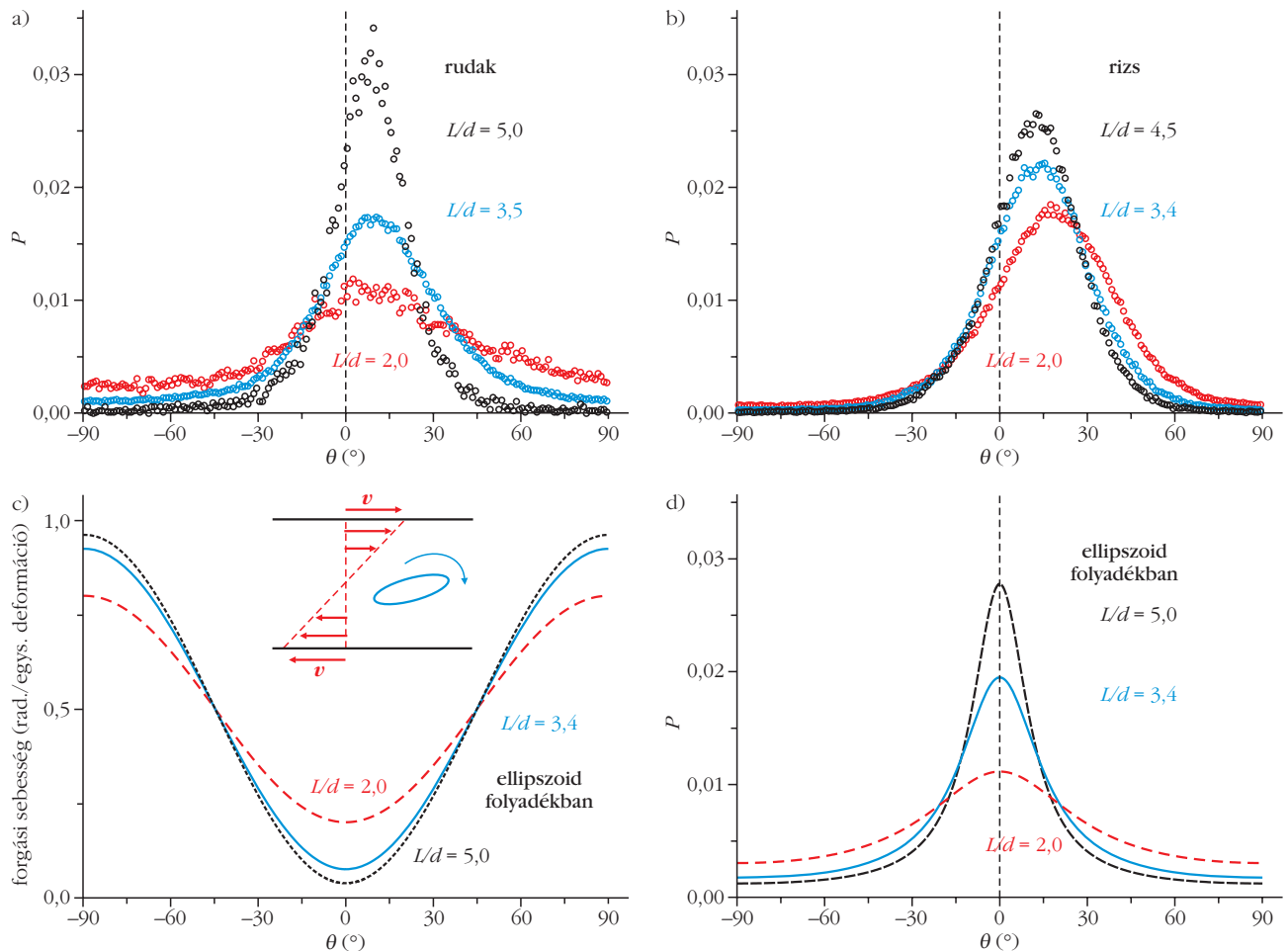
1. ábra. a) A szemcsés anyag alá helyezett körlemez forgatásával a mintát a pirossal jelzett tartományban folyamatosan nyírjuk. b) A minta felszínéről készült kép, a részecskék folyásiránnyal bezárt szögét θ -val jelöljük. c) A felszínen mérhető nyírási ráta a forgástengelytől mért távolság függvényében. d) A kísérletekben használt anyagok: rizsszemek, üvegrudak és farudak. e) A numerikus diszkrét elemrendszer oldalnézetből.



Somfai Ellák fizikus, az MTA doktora, tudományos tanácsadó. Diplomáját az ELTE-n, PhD fokozatát a University of Michiganen szerezte. 2013 óta dolgozik az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpontban. Érdeklődési területe a statisztikus fizikai rendszerek és komplex folyadékok numerikus modellezése, az utóbbi időben elsősorban a szemcsés anyagok vizsgálatával foglalkozik.



Török János fizikus, egyetemi tanulmányait az ELTE-n végezte, majd 2000-ben PhD fokozatot szerzett fizikából a BME-n. Jelenleg a BME Elméleti Fizika Tanszékének docense. Érdeklődési területe a szemcsés anyagok numerikus szimulációja, szemcsék alakváltozásának, illetve a szociális hálózatok dinamikájának modellezése.



2. ábra. a)–b) A nyírásnak kitett szemcsés anyagban (rudak és rizs) mérhető orientációs eloszlás egy adott nyírásirátartományban. A részecskék átlagos iránya kissé eltér a folyásiránytól (0°), és hosszabb részecskékre az eloszlás keskenyebb (nagyobb a rendezettség). c) Összehasonlításképpen: egy nyírásnak kitett viszkózus folyadékba helyezett ellipszoid nem konstans sebességgel forog, amikor folyásirányba áll, akkor lelassul. d) Az ellipszoid irányának valószínűségeloszlás-maximuma az áramvonalakkal esik egybe.

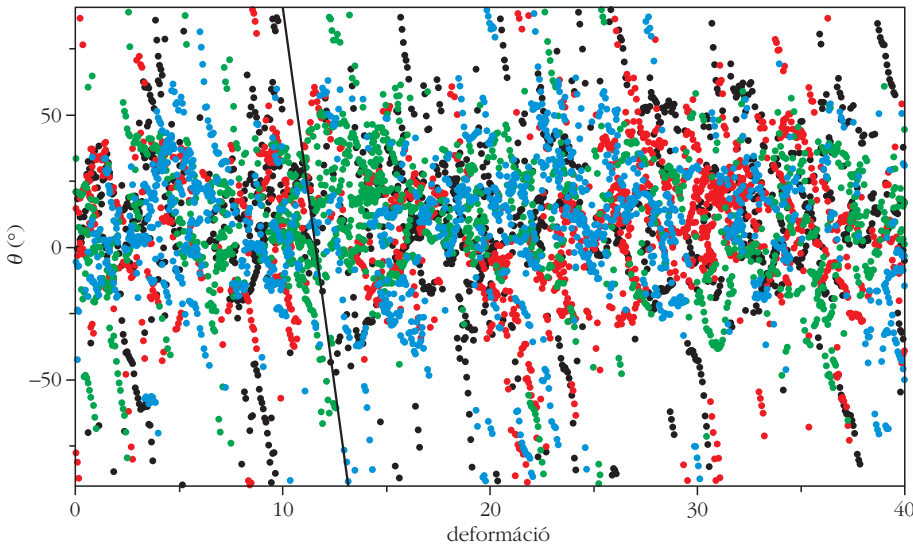
ge mily módon függ a nyírási ráta értékétől. Az itt bemutatott mérésekben rizsszemeket, üveg-, valamint farudakat használtunk (1.d ábra).

Numerikus (diszkrét elem) szimulációkat is végeztünk, amelyekben a kihívást az elnyújtott alakú részecskék realizációja jelenti, amit néhány gömb alakú részecske egymáshoz rögzítésével oldottunk meg (1.e ábra). A részecskék fogaskerékszerű összeakadásának megelőzéséhez fontos, hogy ne teljesen legyenek azonosak, ezért a következő paramétereket bizonyos szórással adtuk meg: a gömbök mérete (10%), az átfedésük mértéke (30–70%), illetve a teljes részecskék hossza (10%). A részecskéket alkotó gömbök száma sem minden esetben volt ugyanaz. A numerikus rendszerben 700–1200 ilyen elnyújtott alakú részecske mozgásának modellezésére került sor az ingyenesen letölthető LAMMPS szoftvercsomag segítségével [8].

A részecskék áramvonalakhoz viszonyított orientációjának eloszlását mutatja a 2.a és 2.b ábra egy adott nyírásirátartományból. Jól látható, hogy a rendezettség mértéke – amit az eloszlások keskenysége mutat – a részecske elnyújtottságának növelésével egyre erősebb. A részecskék tengelyének átlagos iránya pedig kicsit eltér a folyás irányától, az eltérés az

elnyújtottság növelésével csökken. Érdekes összehasonlítani ezt az eredményt azzal az esettel, amikor egyetlen hosszúk részecskét helyezünk viszkózus folyadékba, és ennek mozgását figyeljük, miközben a folyadékot nyírjuk. A részecske a 2.c ábrán látható módon forog, forgási sebessége nem egyenletes, hanem felgyorsul, amikor iránya merőleges az áramvonalakra és lelassul, amikor párhuzamos azokkal. Ez a periodikus moduláció a részecske elnyújtottságának növelésével egyre erősebb. Ezek alapján az orientációs eloszlás maximuma az áramvonalakkal esik egybe, szélessége pedig a részecske elnyújtottságának növelésével egyre csökken (2.d ábra).

A száraz szemcsés anyag esetére visszatérve, a 3. ábrán a deformáció függvényében láthatjuk a részecskék irányának alakulását. Megfigyelhetjük, hogy a részecskék sok időt töltenek a $-25^\circ < \theta < 50^\circ$ tartományban, és forgásuk – az egymás közti kölcsönhatások következtében – rendszertelen. Ezen a tartományon kívül kerülve a képzeletbeli kontínuummal együtt mozogva forognak. Ez tipikusan a nyíró áramlás vorticitásának megfelelő szögsebességet jelent, amit az ábrán egy ferde vonal jelöl. Megjegyezzük, hogy egy nyírásnak kitett folyadékba helyezett gömb



3. ábra. A részecskék irányának fejlődése egy nyírt szemcsés anyagban (rudak, $L/d = 3,5$). A részecskék a $-25^\circ < \theta < 50^\circ$ tartományban időznek, forgásuk zajos. Ha kikerülnek ebből a tartományból, akkor határozottan körbefordulnak, amíg megint vissza nem érnek. A ferde vonal a nyíró áramlás vorticitásának megfelelő forgási sebességet jelöli (1 radián/egységnyi deformáció). Egy gömb fele ilyen gyorsan forogna.

alakú részecske fele ilyen gyorsan forog (azaz a folyadék vorticitása felének megfelelő szögsebességgel, ami 0,5 radián/egységnyi deformáció).

Az eddigiekből tehát az látszik, hogy a nyírás indukálta rendezettség (az eloszlás keskenysége) egyre erősebb a részecske hosszának növelésével, és ez nagyon hasonló a folyadékba helyezett egyetlen részecske és a sok egymással kölcsönható részecske esetén, vagyis alapvetően a részecske – nyírás hatására végbemenő – nem egyenletes forgására vezethető vissza. Az átlagos orientáció folyásiránytól való eltérése pedig – ami a sokrészecskés rendszerben figyelhető meg – a részecskék kölcsönhatásának a következménye.

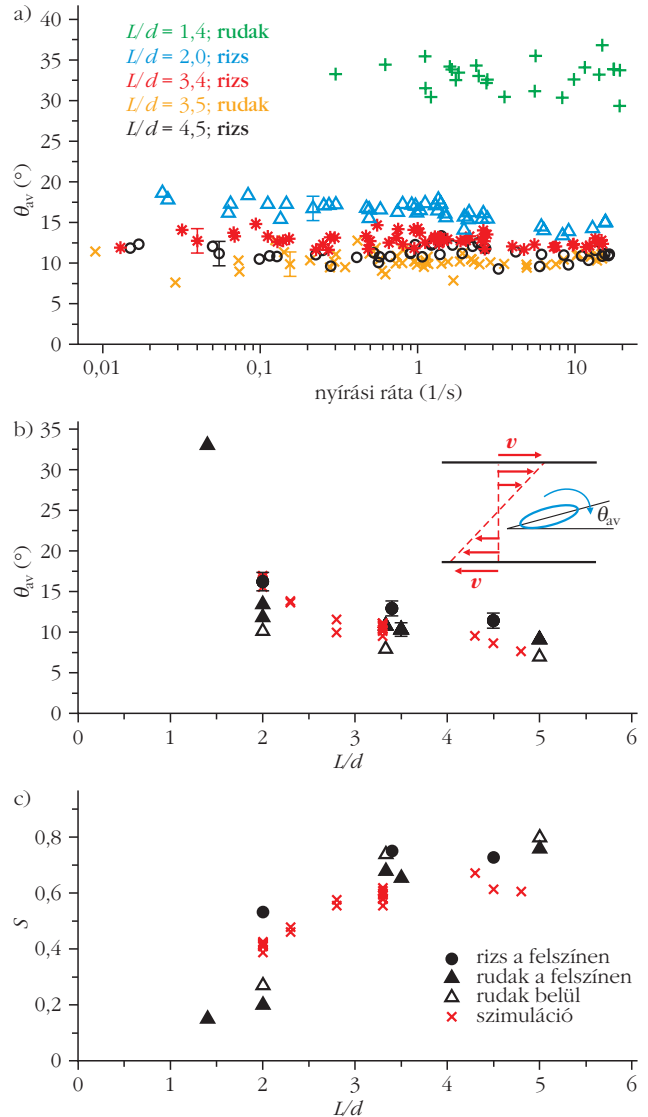
Az orientációs eloszlásokat különböző nyírási ráták esetére meghatározva megkaphatjuk az átlagos orientációs szög nyírási ráta-függését, amit a 4.a ábra mutat. Jól látszik, hogy egy adott alakú részecskére a θ_{av} átlagos szög a nyírási ráta széles tartományában lényegében változatlan (a nyírási rátát logaritmikus skálán ábrázoltuk).

A rendezettség mértékét általánosan egy tenzor számszerűsíti, melynek legnagyobb S sajátértékét rendparaméternek szokás nevezni. Ez teljesen rendezetlen rendszerre 0, a teljesen rendezett esetben pedig 1. A 4.b és 4.c ábrákon láthatjuk a θ_{av} átlagos szöget, illetve a rendezettség mértékét jellemző S rendparamétert a részecskék L/d elnyújtottságának függvényében. Mind a rudak, mind a rizs esetében megfigyelhető, hogy az elnyújtottság növelésével a rendezettség mértéke nő, és a részecskék átlagos iránya egyre közelebb kerül a folyás irányához. Numerikus szimulációink adatai nagyon jól egybeesnek a kísér-

4. ábra. A θ_{av} folyásiránnyal bezárt átlagos orientációs szög a) a nyírási ráta és b) a részecskék elnyújtottsága függvényében. c) A nyírás hatására kialakuló rendezettséget leíró S rendparaméter a részecskék elnyújtottsága függvényében [9].

leti adatokkal. Az is látható, hogy ugyanolyan elnyújtottság mellett a rudak kisebb szöget zárnak be az áramvonalakkal, mint az ellipszoidhoz hasonló rizsszemek. A rudakkal végzett mérésekben az adatok egy részét tomográfias (CT) módszerrel gyűjtöttük, így lehetőségünk volt θ_{av} és S értékét nemcsak a felszínen, hanem a minta belsejében is meghatározni. A 4.b és 4.c ábrákon látható, hogy a felszínen kisebb a rendezettség – és ehhez nagyobb orientációs szög tartozik –, mint a minta belsejében, ahol a részecskék minden oldalról körülveszik egymást.

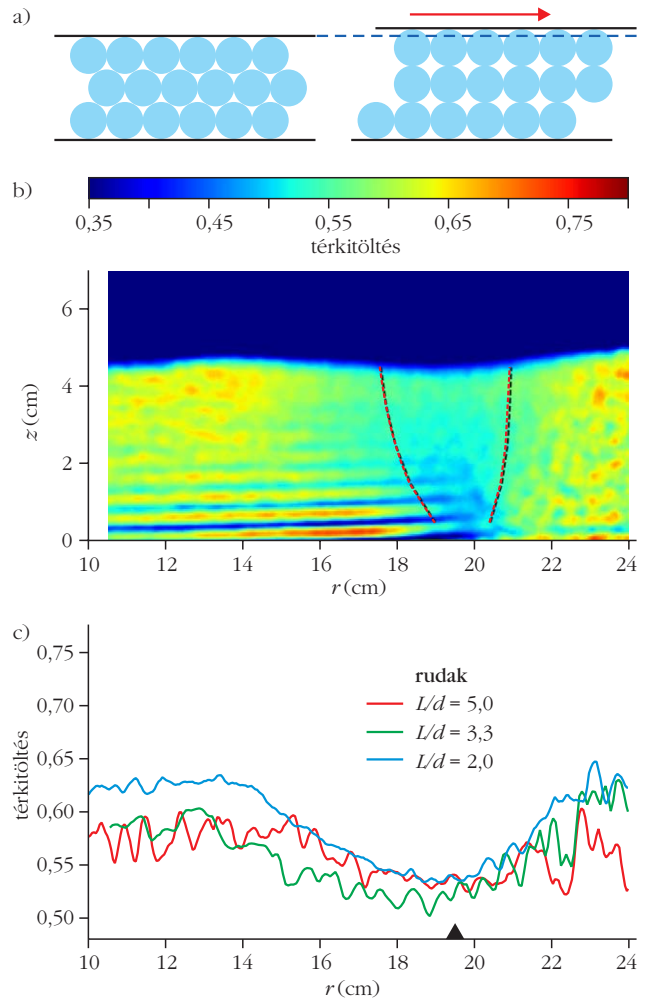
Összehasonlításuképpen érdemes megemlíteni, hogy



az elnyújtott alakú molekulákból álló nematikus folyadékkristályok folyási orientációja igen hasonló a fent leírtakhoz. Ezt a furcsa anyagot mindannyian használjuk a csavart nematikus (TN – twisted nematic) kijelzőt tartalmazó laptopokban, karórákban vagy LCD televíziókban. Nematikus fázisban – nyíró áramlás hatására – a molekulák átlagos iránya szintén kis szöget zár be a folyás irányával, ami nyírásirata-függően, és a rendparaméter növelésével csökken. Ebben az esetben a rendezettséget nem a nyírás hozza létre, hanem annak mértéke egy külső paraméterrel (a hőmérséklet változtatásával) szabályozható. Nyilvánvaló, hogy a molekulák közötti kölcsönható erők nagyon különböznek a makroszkopikus szemcsék közötti kölcsönhatásoktól. Ezért is figyelemreméltó, hogy a nyírási orientáció ennyire hasonló a két rendszerben, ami az alkotóelemek geometriai tulajdonságainak fontosságát mutatja.

Most vizsgáljuk meg, hogy a nyírás hatására bekövetkező orientációs rendeződés milyen hatással van a szemcsés anyag sűrűségére (térritöltésre), illetve a nyírással szembeni ellenállására (effektív sűrűdására). A térritöltésre vett hatást vizsgálva fel kell elevenítenünk, hogy egy tartályba öntött, rendezetlen szemcsés rendszer a nyírási deformáció hatására kissé kitágul. Ez azért következik be, mert ahhoz, hogy a szomszédos szemcsék el tudjanak haladni egymás mellett, egy kicsit el kell távolodni egymástól (5.a ábra). Ezt a jelenséget – több mint egy évszázaddal ezelőtt – először Osborne Reynolds dokumentálta, aki a híres folyadékdinamikai kutatásai mellett a szemcsés rendszerek tulajdonságait is vizsgálta [10]. A róla elnevezett Reynolds-tágulás¹ mértéke 10-15% körül alakul borsó vagy mákszemek esetén [11]. Az elnyújtott részecskék esetében megfigyelhető orientációs rendeződés viszont növeli a térritöltés mértékét. Kérdés, hogy ez a hatás legyőzi-e az általánosan megfigyelhető Reynolds-tágulást.

Az 5.b ábra az $L/d = 2$ elnyújtottságú rudakból álló szemcsés rendszer térritöltésének keresztmetszeti eloszlását mutatja 134 CT-felvétel átlagolt adatai alapján. Jól látható, hogy a térritöltés kisebb a nyírási zónában, mint a két oldalon látható, nyírásnak nem kitett tartományban. Az adatokat egy – a felszínhez közeli – 1 cm vastag vízszintes rétegben átlagolva meghatároztuk a térritöltést a forgástengelytől való távolság függvényében, amit az 5.c ábrán láthatunk három, különböző elnyújtottságú részecskékből álló minta esetén. Látható, hogy a nyírási zónában mindegyik esetben lecsökkent a sűrűség, azaz az orientációs rendeződés egyik esetben sem tudja legyőzni a Reynolds-tágulást. Megfigyelhető azonban, hogy az egyre elnyújtottabb részecskék esetén a sűrűségcsökkenés mértéke egyre kisebb, azaz az egyre nagyobb

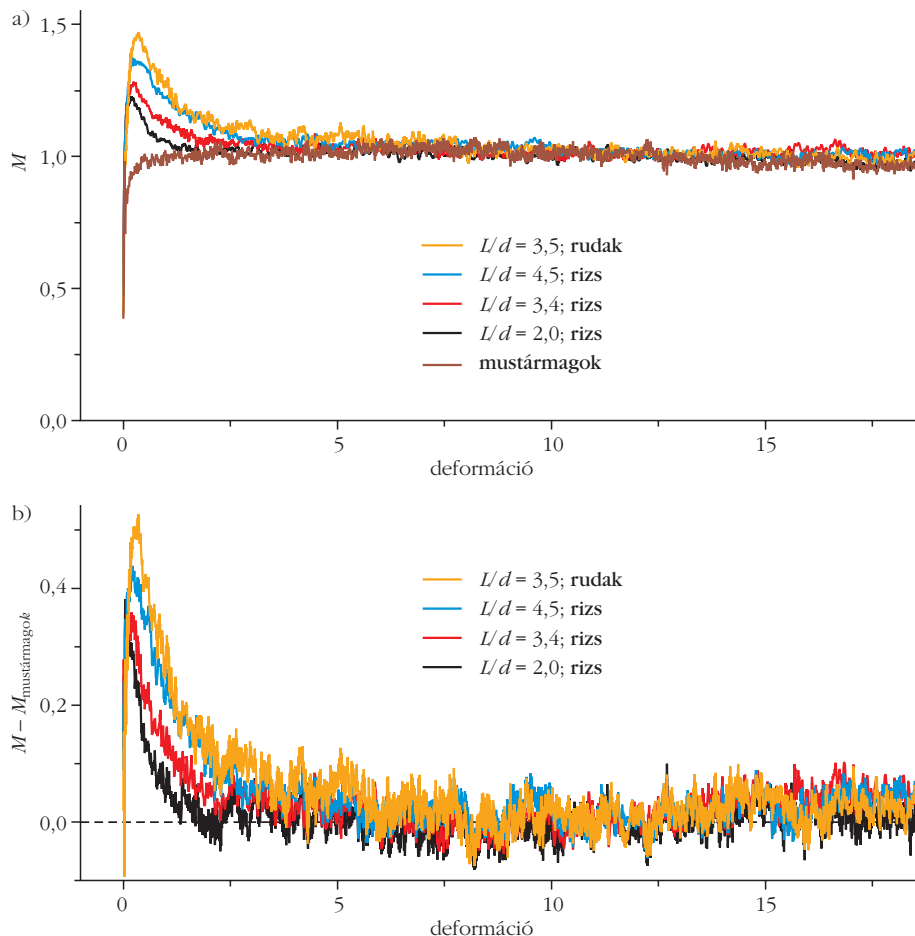


5. ábra. a) A szemcsés anyag nyíró deformáció hatására kitágul (Reynolds-tágulás). b) A sűrűségeloszlás keresztmetszeti képe 134 tomogram átlaga alapján $L/d = 2$ elnyújtottságú rudakból álló szemcsés anyagban. A nyírási zónában kisebb a térritöltés, mint a két oldalán lévő deformálatlan tartományban. c) A Reynolds-tágulást részben kompenzálja az orientációs rendeződés, ezért a hosszabb részecskék esetében (amelyeknél nagyobb a rendezettség) kisebb a sűrűségcsökkenés mértéke [11].

rendparaméterrel jellemezhető rendeződés láthatóan egyre nagyobb mértékben kompenzálja a Reynolds-tágulást.

A következő kérdés, hogy a rendeződési folyamat következtében mily módon változik az anyag nyírással szembeni ellenállása (effektív sűrűdése). Ehhez megmértük, hogy rendezetlen kezdőállapotból indítva, a folyamat során miként alakul a tányér forgatásához szükséges forgatónyomaték. A 6.a ábrán 5 minta esetére láthatjuk a forgatónyomaték alakulását a deformáció függvényében. A 4 elnyújtott részecskékből álló minta mellett az ötödik anyag (mustármagok) esetében kapott görbét referenciának használjuk. Ez lehetővé teszi az irány szerinti rendeződés hatásának elkülönítését, mivel ez a gömbszerű részecskékből álló mintában nincs jelen. A motor bekapcsolása után a forgatónyomaték mind az öt minta esetén erősen emelkedik. Ennek oka egyrészt a részecskék közötti kontaktusok felépülése, másrészt egy instrumentális hatás is hozzájárul: az erőmérő cella és a motor teste

¹ Nedves tengerparton sétálva azt tapasztaljuk, hogy a homokra lépve – és ezáltal azt deformálva –, lábunk körül a homok felszíne „kiszárad”, mivel ekkor a felszíni nedvesség mélyebbre húzódik a homokszemek közötti térfogat megnövekedése, azaz a Reynolds-tágulás következtében.



6. ábra. a) A rendszer nyírásához szükséges (stacionárius értékkel normált) forgatónyomaték alakulása a rendeződési folyamat során 4 különböző elnyújtottságú minta és gömbszerű mustármagok esetében. b) Hasonló alak esetén az elnyújtottság növelésével egyre nagyobb a forgatónyomaték eltérése a közel gömbszerű mustármagokétól.

közötti mechanikus kapcsolatot jelentő fémszál megfeszülése. Ezen – nem orientációs effektusokból származó – járulékok kiszűrésére a 6.a ábrán látható 4 adatsorból kivontuk az ötödiket, a mustármagokkal végzett mérések eredményét. Az így kapott adatsorokat mutatja a 6.b ábra. Látható, hogy a rendeződés hatására a minta effektív sűrűsége jelentősen lecsökken. Hasonló alak esetén mind a csökkenés mértéke, mind pedig a kialakulásához szükséges deformáció nagysága L/d növelésével növekszik. A legnagyobb effektus az $L/d = 3,5$ hosszúságú rudak esetében tapasztalható, és ez összhangban van azzal, hogy a négy minta közül ennél alakul ki a legkisebb orientációs szög (4.b ábra).

Összességében elmondhatjuk, hogy az elnyújtott részecskékből álló, nyírásnak kitett szemcsés anyag-

ban a részecskék irány szerint rendeződnek, ami szoros összefüggésben van a nyírás hatására megfigyelhető, nem egyenletes sebességű forgásukkal. A szomszédos részecskék kölcsönhatásának következtében az átlagos orientáció nem a folyás irányába mutat, hasonlóan az elnyújtott alakú molekulákból álló nematikus folyadékkristályban megfigyelhető folyási orientációhoz. A szemcsés rendszer a nyírás hatására kicsit kitágul, amit csak részben tud ellensúlyozni az orientációs rendeződésből fakadó sűrűsénövekedés. Az orientációs rendeződés hatására az anyag nyírással szembeni ellenállása (effektív sűrűsége) a kezdeti, rendezetlen állapothoz képest jelentősen, mintegy 30%-kal lecsökken.

Irodalom

1. János I.: Zajongó homokdombok és egyéb furcsaságok: új fejlemények a granuláris anyagok fizikájában. *Fizikai Szemle* 45 (1995) 78.
2. János I.: A homok titkai. *Természet Világa* 129 (1998) 19.
3. Vankó P.: Izgalmas mérések a mérnök-fizikus hallgatói laboratóriumban. *Fizikai Szemle* 56 (2006) 307.
4. Börzsönyi T.: Lejtőn lefolyó szemcsés anyag dinamikája: instabilitások, lavinák. *Fizikai Szemle* 57 (2007) 217.
5. Szabó B.: Hogyan török a szemcsés anyag? Avagy különös analógia az optikával. *Természet Világa* 143 (2012) 500.
6. Gillemot K., Somfai E., Börzsönyi T.: Szegregáció nyírt, szemcsés keverékekben. *Fizikai Szemle* 67 (2017) 376.
7. T. Börzsönyi, Z. Kovács: High-speed imaging of traveling waves in a granular material during silo discharge. *Phys. Rev. E* 83 (2011) 032301.
8. <http://lammps.sandia.gov/>
9. T. Börzsönyi, B. Szabó, G. Törös, S. Wegner, J. Török, E. Somfai, T. Bien, R. Stannarius: Orientational order and alignment of elongated particles induced by shear. *Phys. Rev. Lett.* 108 (2012) 228302.
10. O. Reynolds: On the dilatancy of media composed of rigid particles in contact. *Phil. Mag.* 20 (1885) 469.
11. S. Wegner, R. Stannarius, A. Böse, G. Rose, B. Szabó, E. Somfai, T. Börzsönyi: Effects of grain shape on packing and dilatancy of sheared granular materials. *Soft Matter* 10 (2014) 5157.



**Az Eötvös Társulat
főnt van a facebook-on!**



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

MAGYAR TANÁROK ÉS DIÁKOK RÉSZECSEFIZIKAI OKTATÁSA A CERN-BEN

Horváth Dezső

MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont, Budapest
és MTA Atommagkutató Intézet, Debrecen

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat korábbi tevékenységét folytatva, az MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont tavalyi év augusztusában is megszervezte (a Pallas Athéné Domus Innovationis Alapítvány szíves támogatásával) magyar fizika-tanárok CERN-i továbbképzését a modern fizika területén. Célja a tanárok lelkesedésének felkeltése, önbecsülésének visszaadása, és rajtuk keresztül a diákok természettudományos érdeklődésének erősítése. 2017-ben a CERN új programot kezdeményezett: középiskolás diákok kétéhetes részvételét kutatócsoportok munkájában: ebben Magyarország úttörő szerepet játszott. Mindez része egy általános fizikai ismeretterjesztési tevékenységnek, amelyet hazai akadémiai intézetek és egyetemek közösen végeznek a magyar fizikaoktatás erősítése érdekében az országhatáron innen és túl.



Napjainkban sajnálatosan csökken a fiatalság érdeklődése a természettudományok iránt. A kutatói utánpótlás nem aggasztó, hiszen aki igazán elhivatott, az szívesen megy kutatónak, és a kutatói pálya erkölcsi és anyagi alapjai, főleg a külföldi munkavállalás lehetősége miatt, biztosítottak. A hazai tanárképzés helyzete azonban elkeserítő: a rendszerváltás óta eltelt évtizedek alatt változatlanul folytatódott a természettudományos tanári pályát választó egyetemisták számának és minőségének rohamos csökkenése. Ez világjelenség, de a fejlett országokban, és erre Németország a



Magyar tanárcsoport a CERN Mikrokozmosz-kiállításán, 2017-ben.

legjobb példa, agresszív ismeretterjesztő politikával sikerült megállítani, illetve bizonyos mértékig vissza is fordítani ezt a rendkívül aggasztó folyamatot. A kérdés három oldalról közelíthető meg: a nagyközönség, a diákok és a tanárok felől. A széles közönséget a Csodák Palotája, a természettudományi múzeumok és a Magyar Tudományos Akadémia szolgálja. Ezek vesznek részt a Magyar Tudomány Ünnepe, a Kutatók Éjszakája megmozdulásain és az Akadémia ismeretterjesztő előadásain, kitűnő példa volt erre néhány éve a napfogyatkozás rendkívül jól szervezett figyelése komoly tömegek részvételével az MTA székháza előtt. Azokat azonban, akik majd gyermekeinket és unokáinkat természettudományra oktatják, a középiskola elején vagy derekán kell elérni. Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat rendszeresen szervez előadásokat fiataloknak, az *Atomoktól a csillagokig* sorozat sikere nagyon komoly. A Wigner Fizikai Kutatóközpont az Energiakutató Központtal együttműködésben üzemelteti a *Sokszínű fizikabuszt*, ezt a mozgó bemutatótermet, amellyel iskolákat látogatunk itthon és a környező országok magyar lakta területein, és a látogatások idején a bemutatókhoz kapcsolódó ismeretterjesztő előadásokat tartunk. CERN-es programunk harmadik lehetőséget céloz meg, elsősorban a tanárok és rajtuk keresztül a diákok érdeklődésének felkeltését a modern természettudományok felé.



Horváth Dezső Széchenyi-díjas kísérleti részecskefizikus. 1970-ben végzett az ELTE-n, vizsgálatait Dubnában és Leningrádban kezdte, a kanadai TRIUMF-ban, az amerikai BNL-ben, a svájci Paul-Scherrer Intézetben, az olasz INFN-ben, majd a CERN-ben folytatta. Budapest–Debrecen kutatócsoportokat szervezett CERN-kísérletekre. 2006 óta koordinálja a magyar fizika tanárok részecskefizikai oktatását a CERN-ben. Emeritus professzor, magántanárként részecskefizikát oktat a Debreceni Egyetemen.



kat. Ezen kívül nyaranta a CERN-tagorságokból mintegy száz fizikatanárt két- és háromhetes részecskefizikai képzésre lát vendégül, ez utóbbiakon egyéni jelentkezéssel minden évben részt vesz egy-egy magyar fizikatanár is a 21 többi tagország tanárai társaságában.

Tizenkét évvel ezelőtt a CERN-ben felismerték: ahhoz, hogy igazán eljussunk fizikatanárok tömegeihez, anyanyelvi oktatásra van szükség. A CERN első ilyen egyhetes oktatását az Eötvös Loránd Fizikai Társulat részéről *Sükösd Csaba* (BME és ELFT) és *Jarosievtz Beáta* (GDF) szervezte meg 2006-ban. A CERN felkérésére az előadásokat

A 2016-os tanárprogram résztvevői a sokszálas kamrák építésekor, az előtérben Pázmándi Péter (Wigner FK), a háttérben Szillási Zoltán (Atomki), a program segítői. A kép bal oldalán az összeépített kamrasorozat egy átszaladó kozmikus részecskét észlel.

A CERN részecskefizikai oktató tevékenysége

A CERN, az európai országok egyesített részecskefizikai laboratóriuma, a világ legnagyobb kutatóintézete, szinte fennállása óta foglalkozik szervezett oktatással. A kísérletekben résztvevő jópárezer doktoranduszon és diplomamunkáson kívül nyári diákként minden évben több száz egyetemi hallgatót lát vendégül, és százával foglalkoztat mérnökhallgatót-

Horváth Dezső (Wigner FK és Atomki), az intézetlátogatásokat *Szillási Zoltán* (Atomki) és *Béni Noémi* (Atomki és CERN) szervezte. A tanárcoport bérelt autóbusszal ment a CERN-be, ott délelőtnként előadásokat hallgattak, délutánonként pedig kísérleti berendezéseket tekintettek meg a kinn dolgozó magyar fizikusok vezetésével. A CERN hozzájárult a kinti előadók és vezetők költségei-



hez, az autóbussz és a kiutazó fizikatanárok költségeire pedig hazai szponzorokat sikerült találni (Paksi Atomerőmű, Ericsson, ...). 2006 és 2015 között minden év augusztus utolsó előtti hetében

40-40 magyar fizikatanár vett részt ezen az iskolán, amelyek napirendje és teljes anyaga – és 34 ország hasonló programja – megtalálható a CERN oktatási honlapján [1].¹ A hazai részecskefizikai továbbképzésről konferenciákat is írtunk [2], amely az Elsevier kiadó gondozásában jelent meg.

A magyar fizikatanári program folytatása

Sajnos, a vállalati szponzorálás 2015-ben gyakorlatilag véget ért, a szűkös anyagi helyzet miatt többé nem tudták támogatni a programot. Az ELFT és az NKFIH egyszeri támogatásával sikerült a 2015-re meghirdetett tanári programot lebonyolítani, de a korábbi itthoni szervezők, Sükösd Csaba és Jarosievtz Beáta közölték, hogy ilyen körülmények között nem képesek folytatni a tízéves tevékenységet. A Magyar Tudományos Akadémia és az MTA Wigner FK úgy döntött, nem hagyják veszni ezt a rendkívül sikeres programot, és 2016-ban 20 magyar fizikatanár repülővel való kiutazását segítették a CERN-be, az ottani szálláskölt-

2017-es tanárprogram: Oláh Éva és Ujvári Balázs előadása.



¹ Az egyes hivatkozásokat QR-kóddal is jelöljük.

ségüket is fedezték, a résztvevőknek csak a kinti ételmezést és esetleges helyi közlekedést kellett fizetniük. A CERN továbbra is gondoskodik a kísérletek látogatásának megszervezéséről és termet biztosít az előadásoknak.

A létszám felére redukálásán kívül a repülővel történő kiutazás a program jelentős csökkenéséhez is vezetett. A korábbi programok keretében a hosszú buszutazás alatt kirándulásokat is tettek: Münchenben és a rajnai vízesésnél odafelé és a Mont Blanc-nál visszafelé menet. Az együtt töltött idő a csapatépítésnek is segített. Az autóbuzson mérőeszközöket lehetett kivinni a kint végzendő tanári kísérletekhez: optikai helyzetmeghatározáshoz, a levegő szennyezettségének és radontartalmának meghatározásához, valamint a hangsebesség és légnyomás méréséhez különböző magasságokban és helyszíneken. 2016-ban a csoport repülővel utazott, mérőberendezéseket nem tudtak vinni, ezért a gyakorlatokat CERN-beli detektorépítésre változtattuk. Ennek is nagy sikere volt a tanárok körében, viszont az előadókon kívül itthoni fizikus segítőkre is szükség volt. Az utolsó két, 2016-os és 2017-es tanári kurzusunk teljes programja az előadások videofelvételével együtt a [3] és a [4] lapon látható.



A tanárok körében kezdettől óriási sikere van a CERN-i továbbképzésnek, sokan ismételten is jelentkeztek rá, és bár őket csak várólistára vettük, az évek folyamán így is több ismétlőnk volt. Csaknem minden olyan fizikatanár, aki részt vett a CERN-i tanfolyamon, később diákcsoportot vitt ki a CERN-be, volt, aki évente többet is. A kurzus egyik előadása éppen erről szól: hogyan kell e látogatást előkészíteni és lebonyolítani.

A megújult tanárprogram

2017-ben elnyertük a Pallas Athéné Domus Innovationis Alapítvány támogatását a tanárok utazási és szállásköltségének fedezésére. Felhívásunkra 46 magyar fizikatanár jelentkezett, közülük választottunk ki 21-et: aktív tanárokat, iskolánként egyet, kizárólag olyanokat, akik ilyen programban még nem vettek részt és megfelelő motivációs levelet írtak. Hét tanár volt Budapestről, a többiek különböző vidéki középiskolákból, ketten Ukrajnából. Várólistát is készítettünk, de arról senki sem került be, ugyanis az eredetileg kiválasztottak közül senki sem lépett vissza.

A program 2017. augusztus 18. péntektől 25-ig tartott, az utazás a fapados EasyJet légitársasággal történt, ugyanis egyedül az biztosít közvetlen Budapest–Genf utat. A CERN részéről a szervezést *Jeff Wiener* végezte. A tanárokat elkísérte *Oláh Éva*, *Szathmári Nóra* és *Horváth Dezső* (mind Wigner FK), kinn *Ujvári Balázs* (Debreceni Egyetem), Szil-



Sokszálas kamrák építése 2017-ben. Fölül Varga Dezső magyarázza a műveleteket, alul a kamratestek összeragasztása.

lási Zoltán, *Makovec Alajos* (Atomki), *Béni Noémi*, *Darvas Dániel* (CERN) és *Fodor Zoltán* (Wigner FK) vezette őket, a sokszálas kamrák építését pedig *Varga Dezső* és *Pázmándi Péter* (Wigner FK) vezényelte. Előadásokat rajtuk kívül még *Barna Dániel* és *Lévai Péter* (Wigner FK), valamint *ifj. Krasznaborkay Attila* (CERN) tartott.

A szombati egész napos oktatási programot vasárnap kirándulás követte. A tanárok háromféle kirándulás között választhattak: felvonóval a Mont Blanc vagy a közeli Salève hegyre, vagy pedig városnézés fürdőzéssel Genfben. A Mont Blanc-ra vállalkozókat több menetben Ujvári Balázs szállította Chamonix-ba, a felvonó alsó állomásához és vitte vissza a CERN-be hétüléssel kocsiján.

A CERN-beli program hétfő reggel folytatódott és péntek reggelig tartott, aznap délutáni hazarepüléssel.

Sokszálas proporciónális kamrák építése

Az utóbbi két évben a korábbi tanári kísérleteket még izgalmasabb gyakorlattal helyettesítettük. Varga Dezső, a Wigner FK Innovatív Detektorfizikai Laboratóriumának Lendület-díjjal kitüntetett vezetője szervezésében a tanárok igazi, a kozmikus müonok észlelésére szolgáló detektorokat, sokszálas proporciónális kamrákat építenek a CERN-ben. A munka valamennyi fázisát – a kamratestek összeragasztásától a



Kamraépítés, 2017: a szálak forrasztásos rögzítése és az elektronika készítése.

szálak beerősítésén és a gázáramoltatás felszerelésén át egészen az észlelelektronika forrasztásáig – maguk végzik. Annak ellenére, hogy ez az igencsak fárasztó művelet a kinn töltött 6 este közül hármat késő éjszakába nyúlóan felelmeszt, a tanárok óriási lelkesedéssel vesznek részt benne, és rendkívül büszkéek, amikor az új kamrák – 24 órás gázáramoltatás után megfelelően kitisztulva – végre működésbe lépnek. A természetes buktatók és apró hibák ellenére eddig még mindegyik sokszálú kamra megfelelően működött, mutatván a kozmikus eredetű töltött részecskék (főként müonok) áthaladását. 2017-ben a tanárok megismerkedhettek a kísérletekben ténylegesen használt kamrák kiolvasó elektronikájával is. Oszilloszkóp képernyőjén láthatták a kamrákból kijövő és a feldolgozott (vagyis digitalizált) jeleket is. A kamrák alá és fölé helyezett szcintillációs számlálók segítségével



A 2017-es tanárcsoport a CMS-detektor életnagyságú képe előtt.

még észlelésindító (trigger) rendszert is építettek; mindehhez Szillási Zoltán közvetítésével a CMS-kísérlettől kaptuk a kamragázt és eszközeit, valamint a kiolvasó elektronika egységeit.

Intézetlátogatás

A CERN-es oktatás rendkívül feszített volt, amint az a programból [4] is jól látszik. Reggel fél kilenctől előadások, délután üzemlátogatás, vacsora után pedig három napon át a sokszálú proporcionalis kamrák építése zajlott, általában éjjel 11-ig. A látogatások során, amelyeket több kolléga, főleg Szillási

A 2017-es tanárcsoport a CMS szervizaknájában, Szillási Zoltán (fehér sisakban) magyaráz.





Kvarkmodell építése kockákból 2016-ban és 2017-ben Oláh Éva vezetésével.

Zoltán és Béni Noémi vezetett, a tanárok megtekintették a CERN két állandó kiállítását, az LHC vezérlőközpontját és CMS kísérletét (az LHC működése miatt csak a föld alatti szerviztermet), a nyugalomba helyezett szinkrociklotront, amelyen egy film elmagyarázza a gyorsítók működését, az AMS-2 műholdas kísérlet vezérlőtermét, a CERN mágnes-előkészítő laboratóriumát és számítóközpontját, az Anti-anyaggyárat és a Szuper-protonszinkrotron NA61/SHINE kísérletét. Az utóbbit, hála Fodor Zoltánnak, a kísérlet technikai koordinátorának, testközelből lehetett megnézni.

Kvarkkockák

Oláh Éva saját fejlesztésű, a kvarkmodellt oktató gyakorlati foglalkozást vezetett, amelyen gyerekeknek lehet megtanítani a kvarkmodell elemeit. Ezt már több



Ködkamraépítés a S'Cool Labban.

helyen bemutatta és az utolsó két tanári programnak is része volt. A tanárok színes kockákból állítják össze a standard modell összetett részecskéit, ebből azok kölcsönhatásait és bomlásait is könnyű megérteni.

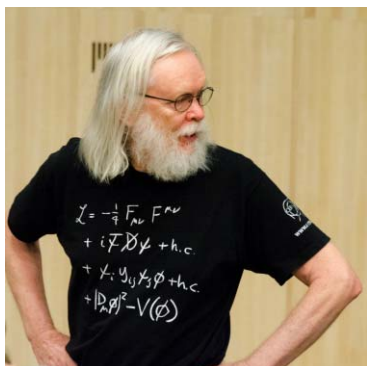
Ködkamraépítés a S'Cool Labban

A CERN néhány évvel ezelőtt berendezett egy oktatólaboratóriumot, amelyet szójátékkal *S'Cool Lab*nak hívnak. Ott a diák- és tanársoportok egy ködkamrát építenek, amely szárazjéggel hűtött alkoholvapárájában kirajzolódnak a kozmikus eredetű müonok pályái. Ez a gyakorlati foglalkozás 2006 óta a tanárprogram egyik legnépszerűbb eleme, mert akár az iskolákban is elvégezhető, csupán szárazjég kell hozzá, és eredménye rendkívül látványos.

Kincsvadászat és ünnepi vacsora

Szerda délután a tanári gárda 4 csoportra oszlott és 15 perces különbséggel indítva, térképpel a kezében bejárta Genfet, hogy egy kérdőív alapján felkeresse a város nevezetességeit és olyan kérdésekre válaszoljon, amelyekre csak az adott helyszínen lehet. Végül este annál az étteremnél találkoztunk, ahol a CERN vacsorára látta vendégül a résztvevő tanárokat, előadókat és segítőköt. A program CERN-es vezetője, Jeff Wiener elmondta, hogy 2016-ban 40 csoportot

John Ellis professzor a nevezetes pólóban és a csoportkép közepén.



látott vendégül, ami 40 esti fondue-evést jelentett: rengeteget kell futnia, hogy ledolgozza ezt a kalória-mennyiséget.

Beszélgetés CERN-es kutatókkal

A program egyik legfontosabb eseménye a résztvevő tanárok beszélgetése kinn dolgozó kutatókkal: túlnyomórészt fizikusok, de mindig találunk mérnököket is, a CERN-ben ugyanis jó néhány magyar villamosmérnök, gépészmérnök és informatikus dolgozik (részben ők szolgáltak mentorokként a tavaszi HSSIP diákprogramban is). A tanárookra mindig mély benyomást tesz a kutatók közvetlen stílusa és munkájuk iránti lelkesedése. Ezt például jól mutatja, hogy a CERN étterme a hét minden napján, folyamatosan működik, vasárnap este is több százan vacsoráznak benne. A program utolsó teljes napján, csütörtökön került sorra a kérdések és válaszok hagyományos ülésére, amelyen a tanárok kérdéseket tesznek fel az előadóknak, és nem csak a közvetlen témájukat illetően. A csütörtök fénypontja az volt, amikor *John Ellis* professzor, a CERN legnevezetesebb elméleti fizikusa meglátogatta a társaságot és egy órát beszélgetett velünk. John Ellis kézírásában szerepel a standard modell alapegyenlete a CERN pólóin, pulóverein és bögréin. A tanárok igen aktívan kérdezték életéről, munkájáról és terveiről.

Többek között elmesélte, hogy egy elvesztett darts-meccs következményeképpen miként vezette be a *pingvin* szót a részecskefizikába, bizonyos reakciókat leíró egyenlet [5] képszerű ábrázolásához.

Utótalálkozó

A résztvevő tanárok menet közben értékelik a programot: előre megadott szempontok szerint osztályozzák az elhangzott előadásokat, a látogatásokat és a gyá-

korlatokat, valamint utólag szöveges beszámolót írnak benyomásaikról, tapasztalataikról. Minden év végén megbeszélést szervezünk, amelyben a résztvevő tanárok újra találkozhatnak egymással és az előadókkal, és ahol áttekintjük az értékeléseket és a tanárok írásos beszámolóit.

Ezek sorából kiemelendő a 2016. november 12-i általános utótalálkozó a budapesti Piarista Gimnáziumban, amelyre az elmúlt 11 alkalommal részt vett valamennyi tanárt meghívtuk. A találkozóra 130 fizikatanár jött el, teljes programja a [6] lapon látható.

Az idei utótalálkozóra 2017. november 25-én a Wigner FK médiatermében került sor, amelyen részt vett a tanárok és az előadók nagy része, a szervezők, közöttük videokonferencián még négy, a CERN-ben dolgozó előadó is. Rajtuk kívül fő szponzorunk, a Pallas Athéné Domus Innovationis Alapítvány igazgatóját, *Bánkuty Tamást*, valamint *Lendvai Jánost*, a *Fizikai Szemle* főszerkesztőjét és *Tóthné Víz-*



kelety Barbarát, a Magyar CERN-bizottság titkárát üdvözölhattuk. A program értékelési része után *Vasúth Mátyás* a gravitációs hullámokról és *Djotyan Gagik* a CERN AWAKE gyorsítófejlesztési programjáról tartott előadást, majd az utóbbi program kísérleti berendezését nézték meg a Wigner FK-ban. A napot Lévai Péter, a Wigner FK főigazgatója zárta a tanárprogram jövőjéről tartott előadásával. A teljes program megtekinthető a [7] lapon.

Magyar diákok kéthetes munkája a CERN-ben

A CERN nemzetközi részecskefizikai diákműhelyei már 14. éve folynak: a tagországok minden tavasszal egynapos diákprogram keretében LHC-kísérletek valódi mért adatait elemzik, és az eredményeket nemzetközi videokonferencián ha-



sonlítják össze. 2017-ben a CERN új diákprogramot [8] hirdetett és mi voltunk a próbaország [9]: 22 magyar középiskolás diákot két tanárkísérővel két hétig vendégül láttott. A gyerekek kettes csoportokban, kint dolgozó magyar kollégák felügyelete mellett párosával bekapcsolódtak 11 kinti kutatócsoport munkájába. Természetesen közös program is szerveztek: műhelygyakorlatok, a kísérletek és más CERN-területek látogatása és kirándulások, de a legfontosabb a kiscsoportos kutatómunka volt. Köszönjük, CERN!

A magyar diákcsoport és kinti vezetői. A bal felső sarokban a váltófutásban dobogós diákcsoport.



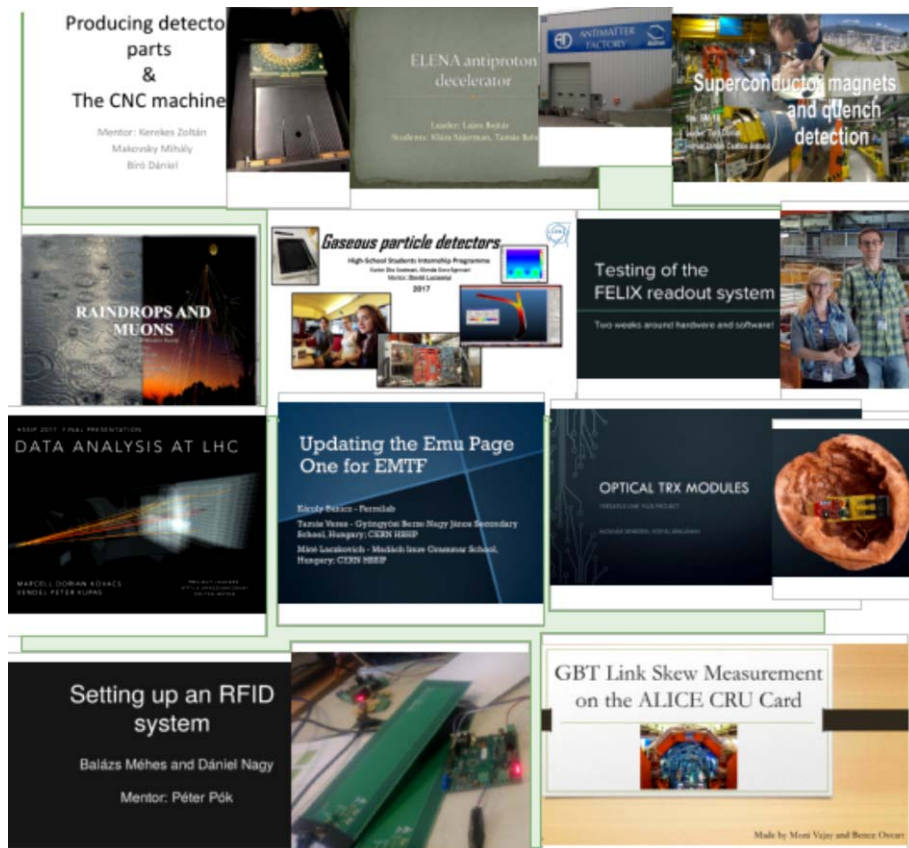
A program [10] honlapján megtekinthető a résztvevő diákok névsora a küldő középiskolával. A 22 diák között 16 fiú volt és 6 lány, 9–11. osztályosok. Általában minden középiskolából 1-1 gyereket válogattunk be a sok jelentkezőből, többet csak olyanokból, akik már korábban részt vettek részecskefizikai kutatásban (többnyire a Wigner FK detektorépítő laboratóriumában). A 18 középiskolából 10 budapesti és 8 vidéki volt. Kítettük a honlapra a 11 kutatócsoport mentorai, témái és diákpárjai listáját is. A részletes programban csak a munkán kívüli látogatások szerepelnek, a csoportmunka folyamatos volt.

A CERN évente 5 hasonló diákcsoportot tervez fogadni, a miénk volt az első, Magyarország tehát legközelebb 4-5 év múlva kerül majd sorra.

A magyar kísérő tanárok, Oláh Éva és Szathmári Nóra kezdettől részt vettek a munkában, mind az előkészületek, mind a lebonyolítás során. Külön köszönet illeti *Jurcsó Pétert*, aki a kinti munkát megszervezte, rábeszélte a 11 kinti kollégát a mentorálásra, és egész idő alatt kézben tartotta a programot.

A program, sajnos, az érettségi vizsgák idejére esett, ezért a válogatásnál az utolsó évesek nem jöhettek szóba. Ennek ellenére kitűnő társaság jött össze, a diákok maximálisan kihasználták a két hét lehetőségeit. A CERN egységeinek látogatásakor az elhangzottakon túl mindig sok érdeklődő kérdéssel bombázták a látogatás vezetőit. A mentorok is nagyon elégedettek voltak a diákpárosok hozzáállásával, lelkesedésével, munkabíráásával és kíváncsiságával. A diákok egymásnak is sokat segítettek az új ismeretek magyarázásában, a feladatok elkészítésében.

A program utolsó napján, június 2-án a diákok rövid előadásokban mutatták be egymásnak, mivel foglalkoztak. A prezentációk több célt is szolgáltak. A diákok magyarul számoltak be egymásnak a két hét alatt elért eredményeikről, kutatási tapasztalataikról. Ez a CERN-ben végezhető munkalehetőségek sokszínűségét tárta fel a csoport tagjai előtt. Volt olyan kutató, aki a 11 beszámolót végighallgatva megjegyezte, „itt áll előttünk a tehetséges utánpótláscsapat”. Az angolul készített prezentációkat a CERN dokumentálta, a weboldal utolsó napján valamennyi megtekinthető. Megjegyezzük, hogy a gyerekeknek nem írtuk elő a nyelvtudást, de „történetesen” mindenki beszélt az angolt, ez már egy ilyen új diáknemzedék.



A 11 diákelőadás címlapja, esetenként illusztrációval.

A hivatalos programok közötti szabad időben remek csapatépítő kikapcsolódás zajlott. A fiúk bevállalós fele 5 alkalommal is úszkált a Genfi tóban, amely akkortájt (május!) 16-17 fokos volt. Esténként éjszakába nyúló társasjátékok mentek. Az évente megrendezett CERN-i váltófutásra [11] hat fős fiúcsapat nevezett be, és dobogóra került. A csoport magatartása az egész út alatt példamutató volt, ezt a szülőik mellett tanáraiknak is köszönjük!

A KFKI sporttelepén minden ősszel CERN-Wigner Open Days [12] rendezvény zajlik, 2017-ben ez szeptember 23–24-én került megrendezésre. A nyári CERN-programon részt vett diákok ismét előadták a CERN-es prezentációjukat, immár hazai közönségnek.

Internetes hivatkozások

1. <http://teacher-programmes.web.cern.ch/ntp/national-teacher-programmes>
2. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405601415009517>
3. <https://indico.cern.ch/event/505644/timetable/>
4. <https://indico.cern.ch/event/630360/timetable/>
5. https://en.wikipedia.org/wiki/Penguin_diagram
6. <https://indico.kfki.hu/event/442/other-view?view=standard>
7. <https://indico.kfki.hu/event/768/>
8. <http://hssip.web.cern.ch/>
9. <http://hssip.web.cern.ch/np/hungarian-programme>
10. <https://indico.cern.ch/event/630615/timetable/>
11. <https://runningclub.web.cern.ch/content/relay-race-2017>
12. <http://wigner.mta.hu/hu/nyilt-napok-diakmuhelyek>



RELATIVITÁSELMÉLETRŐL KÖZÉPISKOLÁBAN – MÁSKÉNT

Kiss Miklós

Gyöngyösi Berze Nagy János Gimnázium

Középiskolai fizikaórákon már tanítjuk, hogy az egy-máshoz képest állandó sebességgel mozgó vonatkoztatási rendszerek egyenértékűek. Ez a mechanikában teljesen természetesnek tűnik, és nem találunk meglepő következményeket. Más a helyzet, ha az elektromos és mágneses jelenségeket vizsgáljuk. Meglepő, hogy a vonatkoztatási rendszer megváltoztatása esetén megjelenik a mágneses mező akkor, amikor az eredeti vonatkoztatási rendszerben csak elektromos mező volt.

Ezt a furcsa helyzetet már középiskolában is meg lehet mutatni a diákoknak, sőt arra is rávilágíthatunk, hogy ebből semmi ellentmondás sem következik. A mágneses mező létezésének vonatkoztatási rendszertől függő léte vagy nem léte az érdeklődő diákoknak azonban erősen elgondolkodtató lehet.

A vizsgálat arra is módot ad, hogy a speciális relativitáselmélet hosszúság-transzformációját felhasználjuk.

A Maxwell-egyenletek középiskolában használatos alakja és jelentése [1–3]:

1. a statikus elektromos mező forrásai a töltések:

$$N_E = \frac{Q}{\epsilon_0},$$

2. a statikus mező forrásmentes, a változó mágneses mező örvényes elektromos mezőt hoz létre bal-kéz-szabály szerint:

$$\vec{O}_E = 0 - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t},$$

3. a mágneses mező forrásmentes:

$$N_B = 0,$$

4. a mágneses mező örvényes, amit az áramok, illetve a változó elektromos mező hoz létre jobb-kéz-szabály szerint:

$$\vec{O}_B = \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\Delta \Psi}{\Delta t}.$$

Az egyenletekben szereplő konstansok egyrészt az elektromos permittivitás:



Kiss Miklós a Gyöngyösi Berze Nagy János Gimnázium matematika-fizika és számítástechnika tanára, a gimnázium napórájának tervezője, készítője. PhD fokozatát fizikából szerezte, kutatótanár. 24 éve szervezi a Mikola-verseny gyöngyösi döntőjét, a feladatkészítő bizottság tagja, a döntő mérésének készítője. A Bugát Pál Természetismereti Vetélkedő zsűrijének tagja. Ericsson-, Mikola- és MTA Pedagógus Kutatói Pályadíjas. Tanít a BERZELAB-ban, a Berze Természettudományos Önképzőkör egyik szervezője.

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2}} = 8,842 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N m}^2},$$

másrészt a mágneses permeabilitás:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$$

és érvényes a

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

összefüggés.

A következőkben két, párhuzamos, egyenletesen töltött szigetelő egyenest vizsgálunk, amelyek állnak, vagy önmagukba eltolódva állandó v sebességgel haladnak.

Tehát adott két elektromosan töltött egyenes:

- a) nyugvó inerciarendszerben és
- b) az egyenessel párhuzamosan állandó sebességgel mozgó inerciarendszerben.

a) *Nyugvó inerciarendszer*

Maxwell első törvényéből adódik, hogy egy α lineáris töltéssűrűségű egyenestől r távolságra

$$E = \frac{1}{2\pi \epsilon_0} \frac{\alpha}{r} = 2k \frac{\alpha}{r}$$

a télerősség nagysága. A mező pedig hengersizmetrikus és a télerősség merőleges az egyenesre.

Ha d távolságra ugyanilyen vezetőt helyezünk el párhuzamosan, akkor annak Δl hosszúságú darabjára ható *taszító* erő:

$$F = \Delta q E = \alpha \Delta l 2k \frac{\alpha}{d} = \Delta l 2k \frac{\alpha^2}{d}.$$

Ezért az egységnyi hosszúságú szigetelő darabra ható erőből adódó erősítést az

$$f = \frac{F}{l} = 2k \frac{\alpha^2}{d}$$

összefüggéssel kapjuk.

b) *Mozgó inerciarendszerben*

A vonatkoztatási rendszerünkhöz képest a két vezető saját egyenesével párhuzamosan, v sebességgel mozogjon. Ekkor már két áram is jelen van, tehát az áramokra ható *vonzó* erővel kell számolnunk. A mo-

gó szigetelőben a lineáris töltéssűrűséget jelölje α' . Ez a mozgó hossz rövidülése miatt nagyobb lesz, mint α , ezért az erő megegyezhet az előzőben adódóval.

Az áramerősség

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{\alpha' \Delta l}{\Delta t} = \alpha' v.$$

A kialakuló mágneses mező nagysága

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{r} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{\alpha' v}{r}.$$

Ebben a mezőben egy I áram l hosszúságú d távolságra lévő szakaszára ható mágneses eredetű F erő nagysága:

$$\begin{aligned} F &= B I l = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{\alpha' v}{d} \alpha' v l = \\ &= \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{\alpha'^2}{d} v^2 l. \end{aligned}$$

Ebből az erőssűrűsége

$$f_m = \frac{F}{l} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{\alpha'^2}{d} v^2$$

adódik. Ezért

$$f_m = \frac{F}{l} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{\alpha'^2}{d} v^2.$$

Ugyanakkor az elektromos taszítás miatt fellép az

$$f_e = 2k \frac{\alpha'^2}{d}$$

erőssűrűség is.

A vonatkoztatási rendszertől nem függhet az erő nagysága, ezért az $f = f_e - f_m$ összefüggésnek teljesülnie kell. Így

$$f = 2k \frac{\alpha^2}{d} = 2k \frac{\alpha'^2}{d} - \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{\alpha'^2}{d} v^2,$$

vagy a konstansok más jelölésével

$$\frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\alpha^2}{d} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\alpha'^2}{d} - \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{\alpha'^2}{d} v^2.$$

Ebből

$$\frac{\alpha^2}{\epsilon_0} = \frac{\alpha'^2}{\epsilon_0} - \mu_0 \alpha'^2 v^2.$$

Ezt átalakítva a feltétel

$$\frac{\alpha^2}{\epsilon_0} = \frac{\alpha'^2}{\epsilon_0} - \mu_0 \alpha'^2 v^2 = \alpha'^2 \left(\frac{1}{\epsilon_0} - \mu_0 v^2 \right)$$

alakban írható.

Itt most hivatkozhatunk a Lorentz-transzformációra (vagy ebből levezethetjük azt):

$$l' = l \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}.$$

Mivel a hosszúságok rövidülése miatt az l hosszúságra eső q töltés most l' hosszra helyezkedik el,

$$\alpha' = \frac{q}{l'} = \frac{q}{l \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{\alpha}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Ebből

$$\alpha'^2 = \frac{\alpha^2}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{\alpha^2 c^2}{c^2 - v^2}$$

adódik. Ezt az

$$\frac{\alpha^2}{\epsilon_0} = \alpha'^2 \left(\frac{1}{\epsilon_0} - \mu_0 v^2 \right)$$

egyenletbe beírva kapjuk az

$$\frac{\alpha^2}{\epsilon_0} = \frac{\alpha^2 c^2}{c^2 - v^2} \left(\frac{1}{\epsilon_0} - \mu_0 v^2 \right)$$

kifejezést, amiből:

$$\frac{1}{\epsilon_0} (c^2 - v^2) = c^2 \left(\frac{1}{\epsilon_0} - \mu_0 v^2 \right).$$

Ezt átalakítva

$$\frac{1}{\epsilon_0} c^2 - \frac{1}{\epsilon_0} v^2 = \frac{1}{\epsilon_0} c^2 - \mu_0 c^2 v^2$$

egyenletet kapjuk, amiből adódik, hogy

$$\frac{1}{\epsilon_0} v^2 = \frac{\mu_0}{\epsilon_0} c^2 v^2,$$

vagyis

$$\frac{1}{\epsilon_0} = \mu_0 c^2 = \mu_0 \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0} = \frac{1}{\epsilon_0}.$$

Ezzel beláttuk, hogy az erőhatás – annak ellenére, hogy a mozgó vonatkoztatási rendszerben mindkét mező jelen van, míg az álló vonatkoztatási rendszerben csak az elektromos mező – a várakozásnak megfelelően mindkét inerciarendszerben ugyanakkora.

Irodalom

1. Holics László (szerk.): *Fizika 1–2*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986.
2. Holics László: *Fizikai összefoglaló*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1989.
3. Holics László: *Fizika III*. Tankönyvkiadó Vállalat, Budapest, 1983.

„Mert semmi sem tetszik, ha nem szokatlan.” – *William Shakespeare*

A kreativitás és a humor elidegeníthetetlenek egymástól. Paradoxonok, problémák megoldásához, összefüggések felfedezéséhez gyakran tréfás ötletek útján érünk csak el. Ezért az első pillantásra teljesen nevetségesnek, feleslegesnek vagy örülnék tűnő kísérletekben, kutatásokban – kicsit átgondolva azokat – néha komoly összefüggések rejlenek.

A szokatlanra hamarabb felkapják a fejüket az emberek. Így vannak ezzel a tanulók is, akiknél nagyobb érdeklődést kelthetünk a „szárazabbnak” gondolt tudományterületek tanítása során, ha ismertetjük velük az igNobel-díj történetét és az anyaghoz kapcsolódó igNobel-díjra jelölt kutatásokat. A díjat az észak-amerikai cambridge-i Harvard Egyetem tudományos humorlapjának szerkesztői alapították 1991-ben. A Nobel-díjak (nobel = nemes, kiváló, ignobel = alantas, fölösleges, semmire sem való) ellenpólusát kívánták létrehozni. Azok a kutatások részesülhetnek díjazásban, amelyek először megmosolyogtatónak tűnnek, majd később gondolkodásra késztetnek bennünket [1].

Írásunk egy látszólag haszontalan eszköz, a víz hőmérő elkészítéséről szól. A hőmérőkészítés során viszont a víz szokatlan és érdekes tulajdonságaival találkozunk, a termodinamika fogalmain keresztül elkalandozunk a fizikátörténet egyes fejezeteibe, számolunk és mérünk (és sokszor vétünk) – de legfőképpen problémákat oldunk meg.

Ajánlom e projektet azon középiskolában tanító fizikatanár-kollégáknak, akik szeretik rendhagyó módon is megközelíteni az aktuális tananyagot.

Tudománytörténeti előzmények

Feltehetőleg *Galileo Galilei* készítette az első hőmérőket a 17. században (barotermoszóp), amelyek gázos hőmérők voltak (a levegő tágulása mozgatott egy vízoszlopot), de a külső légnyomás változásai miatt pontatlannak bizonyultak. *Olaf Römer* 1701-ben alkoholos hőmérőjével elkészítette az első hőmérsékleti skálát. *Daniel Gabriel Fahrenheit* 1714-ben Römer ötlete alapján új skálát készített, de hőmérőjében al-

kohol helyett higanyt alkalmazott [2]. Később, 1742-ben *Anders Celsius* is higanyt használt, de alapponatoknak a víz normál nyomáson jól reprodukálható forrás- és fagyáspontját választotta. A kor tudósai a hőmérsékletet lényegében *érzeletnek* fogták fel és annak szubjektív voltát „objektivizálták” egy megfelelő mérőműszer elkészítésével [3]. Ez mindenképpen hasznosnak bizonyult, hiszen a hőmérő segítségével a hővel kapcsolatos természeti jelenségek további tudományos leírására nyílt lehetőség.

A hőmérsékletmérés elve, hogy hőmérőnket termikus kapcsolatba hozzuk a mérendő testtel vagy rendszerrel, és a kialakult közös hőmérsékletet a hőmérőről leolvassuk. Annak érdekében, hogy a mérést minél kevésbé befolyásolja a hőmérő, a mérendő rendszerhez képest elhanyagolhatóan kevés anyagot kell tartalmaznia, ráadásul olyan anyagból kell készülnie, aminek melegítéséhez vagy hűtéséhez kevés hő szükséges (azaz fajhője kicsi). A hőmérőkészítés kezdetén ezen szempontokhoz hasonlóan választották ki a megfelelő folyadékokat, így eshetett a választás a kis fajhőjű higanyra, amely ráadásul nagy hőmérsékleti intervallumot képes mérni (olvadáspontja $-38,83\text{ }^{\circ}\text{C}$, forráspontja $356,73\text{ }^{\circ}\text{C}$). A víz hőmérőfolyadékként szóba sem jöhetett nagy fajhője (amely körülbelül harmincszorosa a higanyénak) és csekély hőtágulása miatt (nagy folyadéktartályt igényel).

A 18. században még nem ismerték a kapcsolatot a hőmérséklet és a részecskék átlagos mozgási energiája között, és azt is csak önkényesen feltételezték, hogy a folyadékok a hőmérséklet-emelkedéssel egyenes arányban tágulnak (feltehetően az egyenletes hőkölés alatt a folyadékszintek emelkedésének ütemét vizsgálhatták). A linearitás általános matematikai alakját fejezi ki az (1) egyenlet, ahol a és b tetszőleges paraméterek:

$$t(V) = aV + b. \quad (1)$$

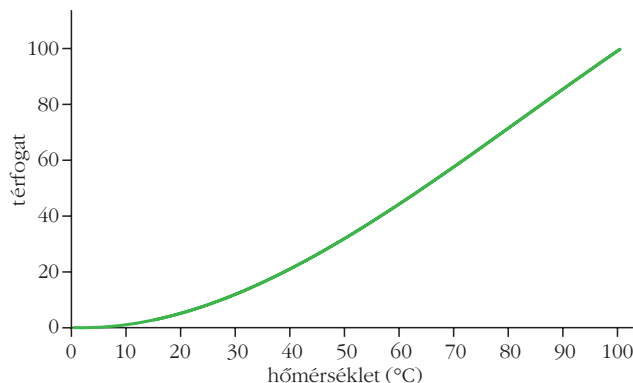
Az (1) egyenletben szereplő a és b paraméterek meghatározásához 2 fixpontot kell keresni – például V_0 és V_{100} , amelyek önkényesek lehetnek. Így, ha 2 tetszőleges (értelmes jól reprodukálható hőmérsékleteket



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.



Gálik Tamás a Nyíregyházi Főiskolán fizikusként végzett, jelenleg a Nyíregyházi Egyetem fizika-kémia mesterszakos hallgatója. Kísérleti és demonstrációs eszközök tervezésével és készítésével foglalkozik. Rendszeresen tart tudománynépszerűsítő előadásokat korosztálytól függetlenül az ország számos pontján.



1. ábra. A víz térfogatának változása a hőmérséklet függvényében. A grafikon erősen eltér a lineáristól a 0–40 °C hőmérséklet-tartományban.

választani) hőmérsékleten ismerjük a folyadék térfogatát, azokat az egyenletbe helyettesítve a és b paraméterek kiküszöbölhetők.

A folyadékos hőmérők (amelyek még ma is kedveltek) azon az elven működnek, hogy bizonyos mérési intervallumban (amit a gyártónak meg kell adnia) a hőmérő üvegcszálaban levő folyadék V térfogatváltozása egyenesen arányos a közben bekövetkezett T hőmérsékletváltozással:

$$\Delta V \sim \Delta T. \quad (2)$$

Persze ez a térfogatváltozás a kezdeti térfogattal is egyenes arányosságot mutat, ezért minél nagyobb a hőmérő tartálya és minél vékonyabb a hőmérő üvegcszála, annál nagyobb szintkülönbséget mutat a folyadékszál ugyanazon hőmérséklet-különbség mellett:

$$\Delta V \sim V_0 \Delta T, \quad (3)$$

ahol V_0 a valamely T_0 hőmérsékleten mért kezdeti folyadéktérfogatot jelenti.

Az összetartozó mennyiségek egy olyan β állandót határoznak meg, ami kifejezi a folyadék hőtágulási tulajdonságát (anyag minőségre jellemző, de egyéb körülmények is befolyásolhatják), annak mértékét:

$$\Delta V = \beta V_0 \Delta T \quad (4)$$

Ám a fenti állandóság többszáz fokok hőmérséklet-különbségek esetén (és bizonyos folyadékokra kis hőmérséklet-különbségek esetén is) nem feltétlenül teljesülnek (megjegyzés: az üvegcső és a tartály hőtágulása is befolyásolással van a mérésre). Az első hőmérők készítésékor kiindulásként két, jól reprodukálható hőmérsékleti alappontot határoztak meg, majd a kalibrálható hőmérőt ezen alappont-hőmérsékletű közegbe helyezve, az üvegcsőre karcolták annak helyét. A két alappont közti részt egyenlő közönként (például 100) felosztották. Tehát alaphiból feltételezték a hőtágulási együttható állandóságát. Bizonyos folyadékok, mint például az alkohol vagy a higany, hiszen viszonylag egyenletesen és intenzíven (nagy a hőtágulási együtthatójuk) tágulnak, beváltak hőmérőkészítéshez, míg mások teljesen alkalmatlanok voltak. Az egyik „legalkalmatlanabb” folyadék az éltető víz,



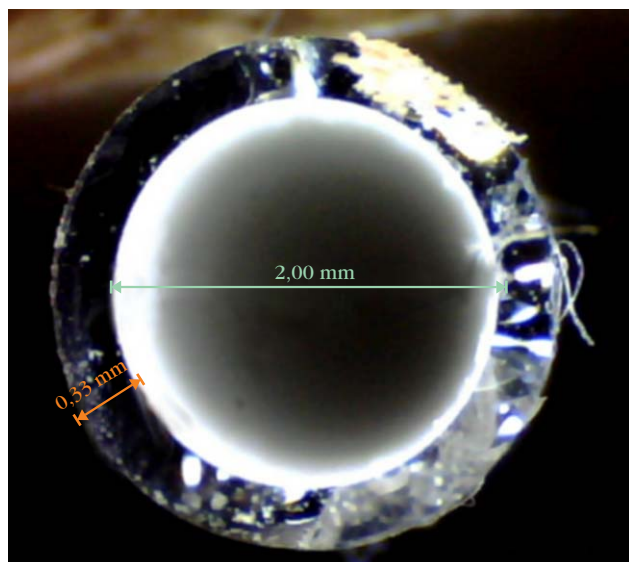
2. ábra. A vízhőmérő a kémcsőből készített tartállyal, amibe az LCD-monitorból kukázott üvegcső kapcsolódik.

amelynek térfogatváltozása (1. ábra) erősen eltér a lineáristól, de viszonylag magas fagyáspontja miatt sem volt célszerű alkalmazni. Írásunkban mégis vízhőmérő készítésére buzdítunk minden kedves olvasót, mert bár értelmetlennek tűnik (mint ahogy a hőemberkészítés vagy a homokvár építése is), mégis közelebb visz a hőmérséklet értelmezéséhez, és a víz szokatlan tulajdonságaihoz.

Vízhőmérő készítése

A folyadékos hőmérők egy tartályból és a hozzá kapcsolt, a tartállynál lényegesen kisebb térfogatú üvegcsőből állnak. Így – ugyanazon hőmérsékletváltozás esetén – a tartály lényegesen tudja növelni a tágulás mértékét (4) a vékony, hosszú folyadékszálban. Másrészt a folyadék nagy része viszonylag kis térrészre, a tartályba koncentrálódik, ezért elegendő csak a tartályt kapcsolatba hozni a mérendő rendszerrel.

Vízhőmérőnk (2. ábra) tartályának egy kémcsődarabot választottunk, üvegcsőnek pedig hidegkatódos fénycsővet (CCFL-t bontott LCD-monitorból) használtunk. A két egység egyesítéséhez keményebb gumidugót használtunk fel. A jobb láthatóság érdekében tojásfestékkel színeztük a vizet (1 ezrelék alatti koncentrációban). Az összeállított hőmérőbe a jól kiforalt vizet (ne tartalmazzon a későbbiekben oldott levegőt, buborékokat) úgy juttattuk bele, hogy a tartályt gázlánggal melegítettük, majd az üvegcső végét a vízbe nyomva felszívattuk a folyadékot. A művelet befejezése után az üvegcső végét (az üvegcső melegítése után) ragasztóval zártuk le.

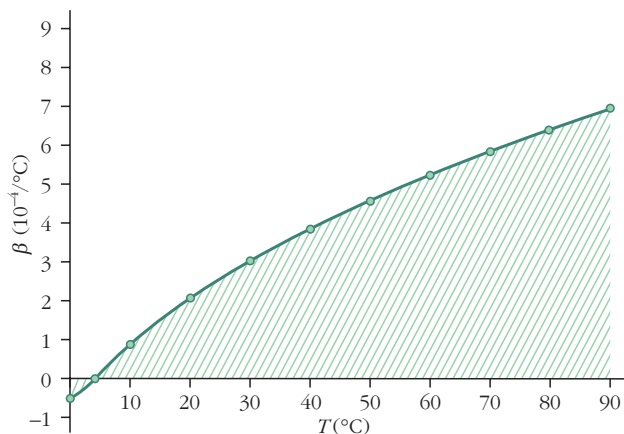
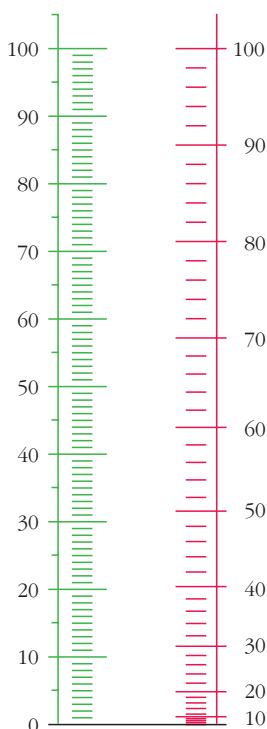


3. ábra. Hidegkatódós fénycső mikroszkopikus képe a megadott paraméterekkel. A cső belsejét huzalra erősített dörzsanyag segítségével tisztítottuk ki.

A tartály térfogatának kiszámítása

A kémcső belső átmérője 17 mm, az üvegcsőnek használt fénycső belső átmérője 2 mm volt (3. ábra). Az üvegcsőbeli – 0–90 °C hőmérséklet-változás hatására bekövetkező – vízszintemelkedést az optimálisnak vélt 15 cm-nek választottuk. A tartály magasságának kiszámításával meghatározhatjuk, hol kell elvág-

5. ábra. Bal oldalon a higanyos, jobb oldalon a vízhőmérő elméleti skálája látható. A skálák azonos alapponthoz (0 és 100 °C) alapján készültek. A vízhőmérő skáláján az osztásközök különböző hosszúságúak lettek.



4. ábra. A desztillált víz normál hőtágulási együtthatójának a hőmérséklettől való függése (normál légnyomáson). Az ábrán vonalkázással van jelölve a görbe és a T tengely közé eső terület. A program által kiszámított integrál értéke: 0,0351.

ni a kémcsövet (1 mm-es flexkoronggal). Mivel a víz hőtágulása nem lineáris – erősen hőmérsékletfüggő – a (4) egyenletet általánosítani kell:

$$\int dV = \int_{T_0}^{T_1} \beta(T) V_0 dT = V_0 \int_{T_0}^{T_1} \beta(T) dT. \quad (5)$$

A térfogatváltozást:

$$\Delta V = Ah = r^2 \pi h = 4,71 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3 \quad (6)$$

az üvegcső adatai alapján számoltuk ki.

Az (5) egyenletben szereplő integrál értékét a Graph programmal határoztuk meg. Első lépésben a különböző hőmérsékleten mért hőtágulási együttható értékeihez (táblázat alapján [4]) görbét illesztettünk, majd a programmal kiszámítottuk a görbe alatti területet (4. ábra). A görbe alatti terület alapján meghatároztuk a tartály térfogatát:

$$\Delta V = 4,71 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3 = V_0 \cdot 0,0351 \rightarrow V_0 = 13,4 \text{ cm}^3, \quad (7)$$

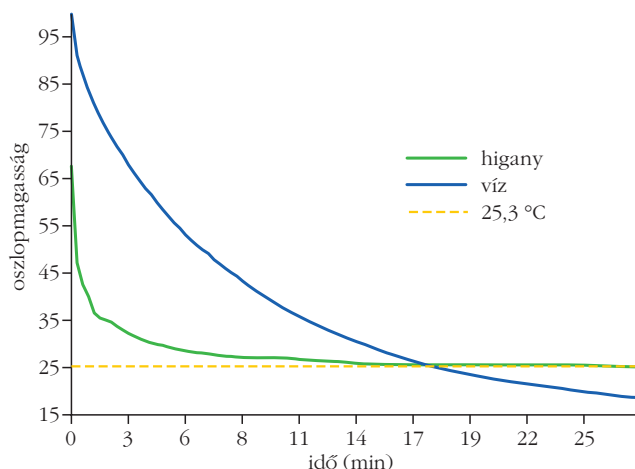
majd a magasságát:

$$h_{\text{tartály}} = \frac{V_0}{A_{\text{tartály}}} = 5,9 \text{ cm}. \quad (8)$$

A tartály meglehetősen korpulensnek adódott.

Elméleti skála készítése a kalibrálás előtt

Matematikai megfontolásból is készíthetünk hőmérsékleti skálát. Ehhez az 1. ábra grafikonját használtuk. A grafikont fokenként mért sűrűségérték-táblázat alapján rajzoltuk, majd görbét illesztettünk rá, és e görbe egyenletét felhasználva a számítógépes Scilab program [5] segítségével készítettük el a skálát (5. ábra).



6. ábra. A higanyos és vizes hőmérők hűlési görbéi. Az oszlopmagasság egységeit úgy választottuk meg, hogy az számértékileg a higanyos hőmérő hőmérsékletével egyezzen meg, így a grafikonokon – rejtve – a hőmérséklet alakulása is nyomon követhető.



7. ábra. A kaloriméterben kalibrált víz hőmérő skálája 30–90 °C hőmérséklet-tartományban.

Hűlési görbék

Még a kalibrálás előtt érdemes hűlési görbéket is készíteni. Ezért forró vizes (körülbelül 70–80 °C-os) kaloriméterbe egy higanyos hőmérőt és vízhőmérőt helyeztünk. Több, mint 20 perc elteltével kiemeltük őket a kaloriméterből és filmfelvételt készítettünk a csökkenő meniszkuszok pozíciójáról [5]. A filmfelvételt (Tracker programmal) kielemezve kaptuk meg a hűlési görbéket (6. ábra). A görbék alapján elmondható, hogy a vízhőmérő a higanyos hőmérőhöz képest jóval hosszabb idő után kerül a környezetével hőmérsékleti egyensúlyba. (Nyilván kisebb időértékeket kapunk, ha nem levegőben, hanem vízben végezzük el a kísérletet.)

A hőmérő kalibrálása RC112E hőmérséklet-szabályozóval

Elektromosan fűthető, és állandó hőmérsékleten tartatható kaloriméterbe helyeztük a vízhőmérőt, majd 30–90 °C-ig 10 fokenként – megfelelő időt hagyva a hőkiegyenlítődésnek (minimum 10 perc) – filctollal bejelöltük a kaloriméter hőmérsékletének megfelelő oszlopmagasságot (7. ábra). Ez alatti tartomány mérése hidegebb helyiségben lehetséges: Például 5 °C-os teremben már a 10 és 20 °C-nak megfelelő oszlopmagasságokat is jelölhetünk.

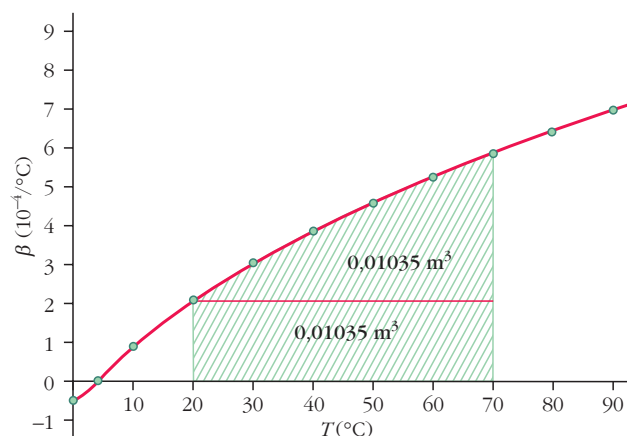
Konklúziók

Kísérleteink alapján elmondhatjuk, hogy noha a víz szolgáltatja a Celsius-skála két alappontját, mégsem szerencsés vizet tölteni a hőmérőbe, majd azzal mérni, a víz technikailag alkalmatlan erre a feladatra. A vízhőmérő egyik legnagyobb hibája, hogy nagy hőt von el a mérendő anyagrészről, és ez a hőáramlási folyamat lustává is teszi a mérést, több időre van szükség a közös hőmérséklet kialakulására. Ha hőmérőkészítésre kö-

zönséges csapvizet alkalmazunk, akkor az abban oldott levegő pontatlanabbá teszi a mérést, hiszen hőmérséklet-változás hatására a légbuborékok (a vízzel nem megegyezően) növekedni kezdenek, ez a folyadék térfogatváltozását befolyásolja. Kísérletünkben a gumidugó is pontatlanságot okozott, hiszen az is tágult, ráadásul a nyomásváltozásokra is agresszíven reagált, változtatva a kémcsőtartály térfogatát, azon keresztül pedig az üvegcsőben kialakult folyadékszint magasságát.

A projekt során kiderült, hogy a víz egyik különleges tulajdonsága a hőtágulási együtthatójának változása. Ezért nem számolható ki egyszerűen például, hogy a víz 20 °C-ról 70 °C-ra történő felmelegítése során mekkora lesz annak pontos térfogatváltozása. A feladat megoldásához integrálni, függvénygörbe alatti területeket kell számolni, mint azt az (5) összefüggésnél láttuk. A feladat megoldása előtt érdemes megbecsülni, hogy a térfogatváltozás mennyivel tér el a lineáris hőtágulás alapján számolt értéktől. Megdöbbenő, hogy éppen kétszer akkora kapunk, mintha a 20 °C-on vett, állandó hőtágulási együtthatóval számolnánk (8. ábra). (A feladat megoldása a 4. ábrával analóg módon történik.)

8. ábra. A desztillált víz β hőtágulási együtthatójának növekedése éppen kétszer akkora hőtágulást eredményez 20 és 70 °C között, mint amennyit az alsó hőmérsékleten érvényes β okozna.



Amikor az első hőmérőkészítők skálájukat úgy készítették, hogy két, lehetőleg jól reprodukálható alappont közötti részt egyenlő részekre osztották, feltételezték, hogy a térfogatváltozás az alappontok között (és azokon kívül is) a hőmérséklettel egyenes arányban változik. Ezt úgy ellenőrizhetjük, hogy azonos nq hőmennyiség-adagokat (például azonos sűrűlési munkával) közlünk a folyadékkal, ez – ha a fajhő ingadozásait elhanyagoljuk – azonos hőmérséklet-változást okoz:

$$Q = nq \sim n\Delta T. \quad (9)$$

Ha az azonos hőmérséklet-változások hatására azonos térfogatváltozások következnek be, akkor a hőtágulás lineáris:

$$\Delta T \sim \frac{Q}{n} \sim \frac{\Delta V}{V_0}. \quad (10)$$

A korszerű hőmérsékletmérések segítségével a folyadékok lineáris hőtágulása ellenőrizhető.

Irodalom

1. Kapitány Katalin, Horváth Gábor: A 2016-os magyar IgNobel-díjasok: beszélgetés Horváth Gáborral. *Természet Világa* 147/12 (2016) 564–565.
2. <http://www.vilaglex.hu/Lexikon/Html/Homero.htm>
3. Kürti Miklós: A hőmérséklet fogalma. *Fizikai Szemle* 42/8 (1992) 281–284.
4. http://www.engineeringtoolbox.com/volumetric-temperature-expansion-d_315.html
5. <https://1drv.ms/f/s!An0er2QwwGjypCcPa0mLgixESuF3>

A FIZIKATANÁRI ANKÉT INTERFERENCIÁI ÉS REZONANCIÁI

– a 61. Középiskolai Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató

Kirsch Éva

DE Kossuth Lajos Gyakorló Gimnáziuma és Általános Iskolája

Minden fizikatanári ankét után ugyanazzal az érzéssel távozom: jövőre újra el kell jönnöm. Nemcsak azért, mert jól érzem magam, ha sokan vannak körülöttem, hanem mert feltöltődöm. Hogy mivel, azt nehéz megfogalmazni. Másoknál tapasztalt energiával, gyökereket verni akaró ötletekkel, az elhalványodni látszó hit újjáéledésével, régi és új kapcsolatok élményével, a szakmai felfrissülés érzésével.

Véleményem szerint a szakmai összejöveteleknek – a konkrét tárgyalási, döntési eredményeken kívül – ilyen funkciót kell betölteniük. Hatékonysága a résztvevőktől, előadóktól és befogadóktól egyaránt függ. Természetesen a témaválasztás sem elhanyagolható.

Fény – lézer – csillagok

Tulajdonképpen bármely témának lehetne létjogosultsága. A tanárok és kutatók mindennapjai egy dologban nagyon különböznek. A kutató holnap újabb dolgot vehet észre, elemi érdeke az olyan innováció,

ami újabb szakmai ismeretet jelent. A tanár ezzel szemben minden tanévben – bizonyos módon – önmagát ismétli. A tanári innováció más, mint a kutatóé. A tanítás rutinjában benne rejlik a bezárkózás lehetősége, a megszokás által sugallt talmi magabiztosság, a tévedhetetlenség víziója, az „ami eddig jó volt, ezután is megfelel” hamis hite. A tanár kutatóval való találkozása szükséges és gyümölcsöző. Az újra való nyitottság szellemisége, és az aktuális kutatások céljának, módjának, eredményének megismerése a tanár innovációjának egyik eszköze, lehetősége. E tekintetben a téma szinte bármi lehetne.

A 61. Fizikatanári Ankét és Eszközbemutató számára a szegedi helyszín tálcán kínálta a témát. Az ELI nem csak szakmai körökben ismert tudományos beruházás, hanem a hétköznapi emberek és diákjaink is hallanak róla. A majdani kutatások részletei már nem a nagyközönséget fogják érdekelni, de azokra a kérdésekre, hogy mi épül, milyen lesz, mi a célja, most már megalapozottan tudunk válaszolni, ha tanórán előkerül. Az ankét az ELI–ALPS (Extreme Light Infrastructure – Attosecond Light Pulse Source) épületében tett látogatással kezdődött (1. kép). A modern kutatás tipikus szerkezetű színtere: hatalmas épület, amelynek sok helyisége közül néhányban – a laborokban – egy nem különösebben nagy berendezés adja a lényegét. A többi szerkezeti egység, tér és szoba ezt szolgálja ki. A látogatók, az elméleti szakemberek, a számítógépek, a nemzetközi partnerek helyiségei, gépészeti és adminisztrációs blokkok igénylik a többi helyet. Az 50 mbar túlnyomással rendelkező „A” épület tényleges laboratóriumaiiban 21 °C és 35%-os pára-



Kirsch Éva a Debreceni Egyetem Kossuth Lajos Gyakorló Gimnáziumának kutatótanári fokozatú matematika-fizika szakos tanára. 35 éve pedagógus. 1992-ben az ATOMKI-ban végzett munkájával szerzett doktori címet. Tudománytörténeti színdarabok szerzője és rendezője. Elismerései: Ericsson-díj, MOL a Tehetséggondozásért díj, fizikatanári Vándorplakett. Az ELFT Középiskolai Oktatási Szakcsoportjának vezetőségi tagja, részt vesz a Science on Stage Hungary szervezői tevékenységében.

tartalom fenntartása szükséges, maga a helyiség pedig rezgésmentes alappal bír. Ezt ház a házban technikával valósították meg. Nagyon mélyre levert cölöprendszer tartja, a külső hatásokkal szembeni kellő védelem a beton és parafa, valamint a méhsejtszerű vakpince együtt biztosítja. A laborok az elsődleges források, mindegyikben más típusú lézer van/lesz. Femtoszekundumos lézerek segítségével attoszekundumos impulzusokat állítanak elő különböző eljárásokkal. További információkat *Osvay Károlytól*, a kutatási-technikai igazgatótól kaptunk. Előadásában hangsúlyozta, hogy az intézetben nem lézerkutatások, hanem lézerrel megvalósítható kutatások zajlanak majd – ez a lézeres kutatások CERN-je. A nagyon rövid impulzusok a rendszerekről kapott elmosódott képbe való „belevakuzást” jelentenek, ami élesebb részleteket rajzol ki. Ebből is és a néhány órával későbbi másik előadásból is kiderült, hogy a fotonika egyre nagyobb jelentőségű tudományterület.

Az ankét ünnepélyes megnyitójára a Szegedi Tudományegyetem rektori dísztermében került sor. A környezet az üdvözlő köszöntések és a díjátadások számára is méltó, ünnepi keretet biztosított. Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat ilyenkor átadásra kerülő Mikola-díját 2018-ban *Győri István*, a Szegedi Tudományegyetem Gyakorló Gimnáziuma és Általános Iskolájának frissen nyugdíjazott tanára és *Ördögnyé Legény Sarolta*, a Jászágó Általános Iskola Bercsényi Miklós Általános Iskolai Tagintézményének tanára vehette át. A *Marx György* által 1989-ben útjára bocsátott Fizika-tanári Vándorplakettet egy évig *Márki-Zay János* mondhatja magáénak.

A laudációk és átadások után szokatlan témájú előadásban szembesülhettünk azzal, hogy a nyelv változása fizikatanárként is érint bennünket. *Sólyom Jenő* akadémikus, az ELFT elnöke az egybeírás, kötőjelezés alkalmazandó szabályait mutatta meg rengeteg példán keresztül. Feltételezem, sokan elbizonytalanodtunk, hogy helyesen írjuk-e például az infravörös színkép-elemzés kifejezést.

Szabó Gábor akadémikus, az egyetem rektora a fotonika gyakorlati jelentőségét mutatta meg. Rávilágított, hogy hiánya az 50-es évek technikai szintjére dobna vissza mindennapjainkat. Fejlődési üteme, a K+F ráfordítás mértéke meghaladja az gépkocsigyártását. Van tehát mivel motiválni diákjainkat a fizika területén való továbbtanulásra.

A megnyitót követő fogadáson már volt miről beszélgetni, és az egymást érő emberek tömegéből látszott, hogy sikeresek voltak az elmúlt évek erőfeszítései, növeltük a résztvevők számát, visszacsábítottuk a fizikatanárokat arra a rendezvényre, amely a legtöbb lehetőséget nyújtja a megújulásra, tapasztalatszerzésre. A hagyományos délelőtti előadásokon már szűknek bizonyult a szegedi egyetem Budó Ágoston terme. A 210 fő körüli létszám nagyszerű élmény volt, különösen, hogy ez a felfokozott érdeklődés az utolsó pillanatig megmaradt. Köszönhető ez a témának, a helynek és nagyon nagy mértékben annak a hatalmas szervező munkának, amit a szegedi kollégák *Moróné*



1. kép. Belépésre várakozva az ELI-ben (fotó: Zátanyi Sándor).

Tapody Éva vezetésével az elmúlt fél évben végeztek. A helyszínek összhangja, a helyi tevékenységek teljes átvállalása, az apró figyelmességek és a házigazdák kedvessége, mindenre kiterjedő figyelme fontos alkotó eleme volt az ankét sikerének. A megszokott rendet követte az ankét sprogramja: délelőtti előadások, délután műhelyfoglalkozások, este 10 perces kísérleti bemutató, illetve kulturális feltöltődés. Nem feledkeztünk el a március 15-éről sem. A Petőfi-szobornál elénekelt Himnusz a belső érzelmek mellett a fizikatanárok jó hangjáról is tanúskodott. A négy nap részletei a résztvevők fejében, tudásában lelhetők fel leginkább, illetve tartalmilag a Társulat honlapján megtekinthetők vagy azok lesznek. Ez a cikk csak összefoglalásra, szemezgetésre, és olykor szubjektív reagálásra tud vállalkozni.

Almási Gábor lézerimpulzusok előállításáról, osztályozásáról szóló előadásában hihetetlen hozzáértés tükröződött. Bár röpködtek a diák, nagyon jól eltalált hangsúlyozással és megfelelő kihagyások alkalmazásával jól érthetően rajzolódott ki bennünk például a protonterápia lényege.

Gergely Árpád László a gravitációs hullámokról részletesen és érdekesen beszélt, beleszóve Szeged részvételét és a két nappal korábban elhunyt *Stephen Hawking*ről szóló megemlékezést. Kiváló animáció segítette megérteni az észlelés alapját, megtudhattuk, hogy az eddigi észlelések közül a 6. volt a legértékesebb.

Hopp Béla tanszékvezető az orvostudományi alkalmazásokról szólva a fotokémiai, fotobiológiai, fototermitikus hatásokat ismertette, mielőtt a konkrét beavatkozásokat megmutatta.

A második nap előadásai nem annyira a tudomány aktuális témáit boncolgatták, inkább a tanárság egyéb aspektusaihoz szolgáltattak muníciót.

Korom Erzsébet tanszékvezető egyetemi docens a már sokak által alkalmazott, de még nem kellően elterjedt tanulási módszerek mellett érvelt.

Radnóti Katalin főiskolai tanár csernobili látogatása során szerzett tapasztalatait osztotta meg a tőle megszokott alaposággal és hozzáértéssel.

Tasnádi Péter az ELTE doktori iskolájának bemutatásakor azt fogalmazta meg, hogy a pedagógusoknak



2. kép. Egy kiállítóasztal a sok közül (fotó: Ujvári Sándor).

némi tapasztalat után célszerű módszertani jellegű kutatásba fogni, mert az minden érintett oldal számára hasznosul.

Jenei Péter előadása ehhez kapcsolódóan egy konkrét munkát mutatott be, érvelve a szimulációk fizikaoktatásban való használata mellett. Elfogadva és nem vitatva a szimulációk jelentőségét és alkalmazhatóságát, sőt a digitális világ használatának elkerülhetetlenségét, felvetődik a cikkíróban a kérdés: a diákok milyen képet alakítanak ki a valós világról, ha már a mérés is virtuális? A valós mérések sohasem lesznek kristálytisztá leképezései egy ideális esetnek. A szimulációk vegytiszták, vagy kódoltan torzítottak, hogy a valós mérést szimulálják? A programok írása így a manipulálhatóságot is magában rejti. A módszer csak validálható, élő kísérletekkel párhuzamosan lehet jó. Az animációhasználat eredményességének vizsgálatára még nem került sor, e területen sok még a tennivaló. Szükség lenne a leendő és a jelenlegi tanárok felkészítésére, a koncepció finomítására és a digitális feladatlapok módszertanának széles körű tanítására. Mindezekben maximálisan egyet lehet érteni az előadóval.

Még annak is, aki az MTA Csillagászati Intézetének igazgatóját, *Kiss László* akadémikust már korábban hallotta beszélni, lehangoló volt az a lendület, lelkesedés és szakértelem, amivel az előadó a közeljövő dedikált úrtávcsöveit mutatta be.

4. kép. A Tudástár bemutatása (fotó: U. S.).



3. kép. A Torricelli-cső feltöltése (fotó: Z. S.).

Sükösd Csaba, a BME címzetes tanára mindig vonzza a hallgatóságot, akik most sem csalódtak. A hőmérsékleti sugárzás problémaköre és magyarázatának története, mint a modern fizika egyik első lépcsőfoka, részleteiben és mai kísérletekig nyúló összefüggéseiben bontakozott ki előttünk.

Eszköz – műhely – show

A hasznos délelőttiakat gazdag délutánok követték. Ha nem is tudtunk órákat tölteni az eszközkiállítók standjai előtt, alkalmunk volt jó néhány ötletet ellesni az adiabatikus folyamatok demonstrálásáról, a lézerek játékos felhasználásáról, a hangszerek világáról, a cirkuszban megjelenő fizikaismeretekről, a fogkefe elektromos változatáról, a házilag, egyszerű alapanyagokból készíthető eszközökről és kevésbé ismert elektromos alkatrészekről (2. kép). A bemutatók értéke a magas színvonal mellett az volt, hogy a készítő nemcsak kérdésekre válaszoltak, hanem keretbe foglalták mondanivalójukat, mintegy műsorvezetőként funkcionáltak asztaluknál. Új színfolt, hogy kiállított poszttereket is böngészhetett a közönség.

A szegedi kollégák két olyan szakmai programról is gondoskodtak, amit csak itt lehetett megvalósítani. A Pedagógusképző Kar épületének külső falán egy Torricelli-cső várt bennünket (3. kép). Szemünk láttára töltötték fel a fixen elhelyezett eszközt, miközben *Farkas Zsuzsanna* tanszékvezető asszony korhű jelmezben idézte fel a kísérletet és kommentálta a történeteket. Színes, 50%-os etilén-glikolt használtak, hogy a fagyot is bírja és látható is legyen a folyadék. Az eső ellenére tömegesen, áhítattal figyeltük a felső csap elzárását, és lelkesen üdvözlöttük, amikor az alsó megnyitása után a folyadékszint 10 m környékén állandósult.

A Tudástár kincseinek bemutatása *Ilosvay György* tálalásában az intellektus, a szaktudás és az elkötelezettség felemelő élményt jelentő megnyilvánulása volt (4. kép).

A műhelyfoglalkozások közvetlenül szólítják meg a résztvevőket, a kollégák itt szintén testközelből tanulhatnak egymástól, ezért is népszerű ez a találkozási



5. kép. Egy elkapott pillanat a műhelyfoglalkozáson (fotó: Z. S.).

forma. A foglalkozások listájából igencsak nehéz volt választani, hiszen a párhuzamosan kínált lehetőségek mindegyike vonzó volt, de egyszerre csupán egyen tud részt venni az ember. Huszonkilenc vállalkoztak arra, hogy 30 percen meg- vagy bemutatják projektjüket, gondolataikat, megoldásaikat vagy egy-egy rendezvényt (5. kép). A szünetekben a folyosón a következő műhelyfoglalkozásra siető tanárok társaikkal összefutva egymást biztatták, hova érdemes még menni, mit ajánlott megnézni. A cikk szerzője csak az általa látottakról tud – szubjektív elemektől nem mentes – tudósítást adni.

Mi tesz ikonná egy-egy kollégát? Neki is azok az eszközök állnak rendelkezésre, mint bárki másnak. Csak ő kíváncsibb, kreatívabb vagy kitartóbb? Nem ez a fontos, a lényeg, hogy megmutatja, mások pedig tanulhatnak tőle. Zátónyi Sándor pénztárgépszalaggal, csempelappal és kavicsokkal mutatott energiaátalakulást demonstráló egyszerű jelenségeket, valamint megismerkedhettünk a tribolumineszcencia¹ fogalmával.

Nagy Anett magával ragadó lelkesedéssel, 30 perc alatt 11 eszközt és megoldást mutatott be. A felhasznált anyagok: papír, víz, konyhai edények, golyók, gombostű, fültisztító pálcá, fogpiszkáló, gemkapocs. Az előadó dinamizmusának megfelelően minden forgott, mozgott, ráadásul megfogható, kipróbálható volt. Közben elismeréssel adóztunk egyrészt annak a ténynek, hogy az 1896-os kiadású könyv, amiből az ötletek származtak, ilyen részletes, szép leírásokat tartalmaz, másrészt annak, ahogy kollégánknak időt, energiát szánt a múltban kutakodni.

Gingl Zoltán Arduinót alkalmazó modern megoldásai azt üzenték, hogy bármilyen korú is az ember, nem térhet ki a digitális és elektronikai világ kényszerítő hatása elől – affinitástól függetlenül meg kell ismerkedni a használatukkal –, mert a diákok egy része ezzel motiválható.

¹ Wikipedia: egyes anyagok fényt bocsátanak ki magukból, ha megkarcolják, megdörzsölik vagy összetörik őket, a jelenséget a görög *tribein* (dörzsölni) és a latin *lumen* (fény) szavak összetételéből *tribolumineszcenciának* nevezik. Zátónyi Sándor videófelvételét lásd a QR-kód segítségével.



6. kép. Hőhatás (fotó: Z. S.).

Berta Zsófia a jövőbe vetett hitünket erősítette azáltal, hogy fiatal kora ellenére bátran állt ki irodalmi keretbe ágyazott projektötletének és az excel többoldalú felhasználásának bemutatásával. Ezen a műhelyen újból fülembe susogott az a kisördög, amelyik talán csak az X-generáció számára létezik. Valljuk, hogy csak krétával nem lehet fizikát tanítani – kísérlet kell, saját tapasztalás. Néha kísért a gondolat, hogy a számítógép nem veszi-e ki még a krétát is a tanár kezéből?

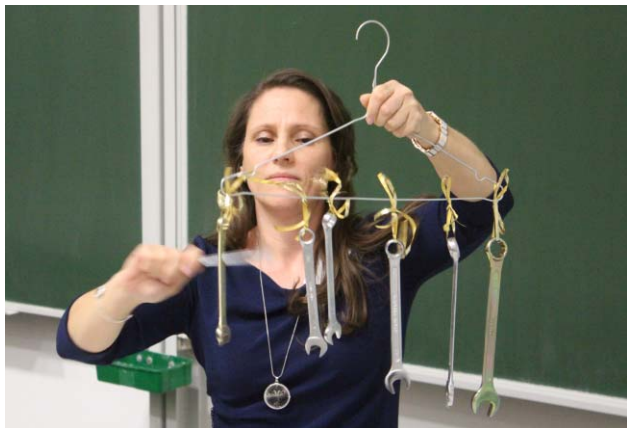
Ördögné Legény Sarolta az elektromosság témakörében diákjaival közösen létrehozott eszközöket mutatta meg, igazolva, hogy két nappal korábban megérdemelten vette át a díjat (6. kép).

Sinkó Andrea műhelyfoglalkozásán diákokká vedlettünk és játszottunk. Miközben a torpedójáték keretében tudománytörténeti ismereteinket bővítettük, lázasan igyekeztünk megjegyezni a sok apró ötletet, ami rejtve vagy kiemelve megjelent a kollégánő mondanivalójában.

Kísérletekből sosem elég – ezt tükrözte a 10 perces kísérletek iránt idén is megnyilvánuló hatalmas érdeklődés. A fellépőkön az előkészítés során érzékelhető feszültség, a nézőtér korai feltöltődése, a készenlétbe helyezett kamerák mind ezt jelezték. Az éjszakába nyúló program során tizennégyen mutattak be hosszabb-rövidebb produkciót (7. kép). Érintették a mozgás és az elektromágnesség témáját is, de stílu-

7. kép. Kísérleti bemutató közben (fotó: Z. S.).





8. kép. Zene villáskulcsokkal (fotó: Z. S.).

sosan fogalmazva: a prímet a hangtan vitte el, olykor fénnel kombinálva (8. kép). A közönség minden sikeres momentumot hálásan fogadott, tapssal ismert el, és a végén szavazással döntött a leginkább tetszőről (9. kép).

Hely – élmény – zárás

A fizikatanárok azokban a napokban vettek részt a továbbképzést is jelentő anketon, amikor az ország nagy része a négynapos, hosszú hétvége lehetőségeivel élve otthon vagy egy üdülőben regenerálódott. Ezért egyáltalán nem mellékes, hogy milyen körülmények között zajlott a rendezvény. Szeged városa, de elsősorban a Szegedi Tudományegyetem és a szegedi kollégák kiváló házigazdák voltak. Nevük felsorolása nélkül őszinte köszönetünket fejezzük ki mindenkinek, aki a színvonalas szervezésben és lebonyolításban részt vett. A szakmai sokszínűség, a szervezés összehangoltsága mellett a helyszínek megközelíthetősége, a szállás és főleg az étkezés színvonala olyan hátteret biztosított, amelyben az egyébként is lelkes résztvevők igazán jól érezhették magukat. Az egyik legkatarantikusabb élmény – kétség kívül – a fogadalmi templomban hallott hangverseny volt. Felemelő érzés, hogy egy, már a kísérletező esten megismert kollégánk, *Szélpál Szilveszter* állt a karzatra, hogy opera-

10. kép. MyDAQ díjátadás (fotó: U. S.).



9. kép. A nagyszámú közönségnek tetszik a kísérlet (fotó: Z. S.).

énekesként megmutatkozva töltse be hangjával a dó-mot. A hideg miatt kabát alá rejtett hófehér öltözékét csak később értették meg: aznap este a Nemzeti Színházban is fellépett és szerepszünetében tisztelt meg bennünket éneklésével.

Az anket utolsó napjának egyik eseménye az ELFT és a National Instruments Hungary Kft. által kiírt MyDAQ-pályázat eredményhirdetése volt (10. kép). Az első három helyet az ELTE Trefort Ágoston Gyakorló Gimnáziuma, a komáromi Jókai Mór Gimnázium és a Hajdúböszörményi Bocskai István Gimnázium diákcsoportjai szerezték meg *Piláth Károly*, *Lányi Zsófia*, illetve *Debreczeni Csaba* tanári vezetésével. Mindhárom csoport élőben ismertette az általa kidolgozott mérési projektet (11. kép).

Közben megszületett az anket díjazottjainak listája is. A műhelyvezető, a kiállító, a poszterrel szereplő és a 10 perces kísérletet bemutató kollégák mindegyike emléklapot kapott (12. kép). Voltak, akik dicséretben vagy különdíjban részesültek (*Horváth Norbert*, *Kirsch Éva*, *Lévainé Kovács Róza*, *Mező Tamás*, Nagy Anett, Zátornyai Sándor), a legjobbak pedig tárgy, illetve pénzjutalmat vihettek haza.

A magas színvonalat jelzi, hogy a műhelyek közül a három helyre összesen hat díjazott foglalkozás került:

1. hely: *Sós Katalin*, illetve *Seres István* és *Víg Piroska*
2. hely: *Hömostrei Mihály*, illetve *Pesthy Sándor*

11. kép. Tanár és diákjai mutatják be munkájukat (fotó: Z. S.).



3. hely: Ördögné Legény Sarolta, illetve Szabó László Attila

A kiállítók között is nehéz volt dönteni:

I. díj: Szász János Péter (Elektromos fogkefe a fizikaórán)

II. díj: Zátonyi Sándor (Eszközök adiabatikus folyamatok szemléltetéséhez) és Pál Zoltán (Egyszerű, miniatűr elektromos eszközök és alkalmazásuk)

III. díj: Beszedá Imre (Csináld magad! Egyszerű eszközök – érdekes kísérletek) és Stonawski Tamás (Furfangos hangszerek)

Különdíj: Farkas Zsuzsanna (Torricelli nyomában – egy történelmi fizikai kísérlet bemutatása)

A 10 perces kísérletekben Pál Zoltán aratta a legnagyobb sikert, megelőzve Beszedá Imrét és Sebestyén Zoltánt.



Elköszönés után magunkkal vittük a házigazdák által hangcsövekkel lejátszott dal hangjait, és a zord időjá-



12. kép. Díjátadás (fotó: Z. S.)

rástól fenyegetve a résztvevők nagy része stílusosan „mögglépett, mint Dugonics”. A következő ankét szervezőinek minden tekintetben magasan áll a lécz.

KÖNYVESPOLC

Mester András, Horváth András (szerk.): ORSZÁGOS SZILÁRD LEÓ FIZIKAVERSENY 2011–2016 Szilárd Leó Tehetséggyondozó Alapítvány, Paks 2017, 256 oldal

A verseny alapításának 20. évfordulójára újabb kötettel bővült a Szilárd Leó Tehetséggyondozó Alapítvány által kiadott, a Szilárd Leó Versenyre való felkészülést segítő kiadványok sora. Az Alapítvány eddig négy kötetet jelentetett meg, amelyekből három, az *Országos Szilárd Leó Fizikaverseny 1998–2004*, az *Országos Szilárd Leó Fizikaverseny 2005–2010* és az *Országos Szilárd Leó Fizikaverseny 2011–2016* kötetek az addig lezajlott 19 verseny összes feladatát, mérését és számítógépes szimulációs feladatát – sok-sok fényképpel együtt – tartalmazza. Ezekon kívül – az egyik legeredményesebb versenyző, Szabó Attila és tanára, Simon Péter által készített – *Modern fizika* szakköri jegyzet (2010, majd bővített kiadásai: 2013 és 2015-ben) gyakorló feladatokat és a megoldásukhoz szükséges elméleti alapokat foglalja össze. (A kötetek az alapítvány <http://www.szilardverseny.hu/kiadvanyok> honlapján megrendelhetők.)



Jelen ismertető tárgyát képező kötet első részében Csajági Sándor bemutatja a verseny létrejöttének történetét és lebonyolításának, értékelésének módját. Ismerteti a diákok és felkészítő tanáraik díjazási rendszerét.

Jelen kötet és a 20. alkalommal megrendezett verseny idején emlékeztünk meg az alapító, Marx György 90. születésnapjáról. Ez az évforduló indokolja, hogy a kötetben helyet kapott Sükösd Csaba, a Versenybizottság elnöke tollából egy, a Marx György életét bemutató, fényképekkel gazdagon illusztrált írás.

A következő fejezetek, a korábbi két kötethez hasonlóan, évről évre ismertetik a versenyen kitűzött feladatokat és azok részletes, néhol többféle, megoldásait. A döntő feladatainál megtaláljuk a feladatkitűzőket is. A szerkesztők a mérési és a számítógépes szimulációs feladatokat is ismertetik.

A Versenybizottság törekszik arra, hogy a kitűzött feladatok között legyenek egyszerűbb, a legtöbb résztvevő számára sikerélményt nyújtók is, ugyanakkor nem maradhatnak el a napjaink új felfedezéseire köthető témájú kérdések sem.

Fontos a nukleáris tudomány létrejöttében, kialakulásában alapvető szerepet játszó tudósok emlékének ápolása is, ezért tudománytörténeti kérdések is szerepelnek. Ezek életrajzi jellegűek, vagy valamilyen fontos felismeréssel kapcsolatos kérdések. Kifejezetten számításos, ugyanakkor kvalitatív megfontolásokat igénylő feladatok is szerepelnek.

Az éves versenyismertetőt a döntőn résztvevő tanulók helyezését, iskoláját és a felkészítő tanárokat bemutató táblázat zárja.

A kötet újdonsága, hogy *Papp Gergely*, a Versenybizottság tagja a kísérletes feladat jegyzőkönyvére és a szimulációs feladat megoldásához is mintapéldát ad. Ezek az írások hiánypótlók, és fontos segítséget adnak a felkészüléshez.

A versenyről további információk kaphatók az alapítvány <http://www.szilardverseny.hu> honlapjáról, ahol beszélgetések láthatók a Versenybizottság tagjaival, továbbá a tanári program előadásai is újranezhetők. A honlapon sok fénykép található a Pakson megrendezett döntőről és az ünnepélyes eredményhirdetésekről is.

Köszönet illeti a versenyt és a kötet fő támogatóját, a Paksi Atomerőmű Zrt-t.

Radnóti Katalin

HÍREK – ESEMÉNYEK

FIZIKAI KÍSÉRLETEK, NEM CSAK TUDÓSOKNAK

Az Ericsson Magyarország Kft.-nek köszönhetően a budai Science Parkban 2017. szeptember utolsó hétvégéjén immár hatodszor láthattuk az ország minden részéből érkezett sztár fizikatanárokat, *Öveges József* tanár úr mai utódait.

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat tagjaiként, a kutatói utánpótlás biztosításának és a tehetségek felkutatásának és kinevelésének érdekében már évek óta különös figyelmet fordítunk a természettudományos tárgyak, főleg a fizika népszerűsítésére, éppen ezért ezt a rendezvényt hatodszor szerveztük meg nagy lelkesedéssel, férjessel, *Sükösd Csabával* [1].

Célunk olyan kísérleteket bemutatni/bemutattatni, amelyek egyszerűek, egyszerűek, figyelemfelkeltők és fizikaórákon is reprodukálhatók. Éppen ezért az általunk tervezett program megvalósításához minden évben más-más kollégát hívunk meg, és igen változatos, különböző újdonságokkal készülünk erre az estre, szeptember utolsó péntekén. Néha mi is készülünk felvezető kísérletekkel, de erre a változatos program miatt nem mindig van lehetőségünk.

Ezen a rendezvényen a legeredményesebb, a szakma által legelismertebb fizikatanárok kísérleteztek a résztvevő kis diákokkal, önkéntes érdeklődőkkel. A rendezvény teljesen ingyenes, a szülők vagy tanárok önként hozzák ide a gyerekeket, diákokat.

A rendezvény évről évre több és több diákot fogadna be, de a terembe, egy-egy előadásra maximum 80-100 fő fér be, ezért a kint rekedt nézők a terem előtti monitoron nézték és hallgatták a bemutatókat, majd a következő előadáson cseréltek. Természetesen azokra is gondoltunk, akik otthon maradtak, és onnan szeretnék volna szemlélni az eseményeket, vagy ép-

pen egy időben más helyszínre látogattak. Az est teljes ideje alatt élő internetes közvetítés volt, illetve később az archívumból minden előadás letölthető [2]. A közvetítés már vágtalanul is elérhető a kíváncsi érdeklődők számára.

Örömmel tapasztaltuk, hogy hatalmas igény van a kísérletezésre, a kutatáson alapuló tanulásra (*inquiry-based learning*, IBL), a megfigyelésen alapuló jelenségek megértésére, megbeszélésére [3].

A 2017-es rendezvényem 10 lelkes tanárt hívtunk vendégül az ország különböző részéről, akik nagy izgalommal készültek és várták a Kutatók Éjszakáját, az ismeretlen nézőkkel, diákokkal való együttműködésről [4].

Legelső fellépő vendégünk *Nagy Anett*, Ericsson-díjas kolléganő volt. Anett régi iskolájában, a szegedi Radnóti Miklós Kísérleti Gimnáziumban tanít matematikát és fizikát, illetve jelenleg reál igazgatóhelyettesként dolgozik ott. Öveges tanár úr videóit és könyveit alapján sok kísérletet állított össze, és fejlesztett tovább [5]. Szívesen foglalkozik új kísérletek kitalálásával, és nyitott bármely olyan lehetőség felé, amellyel népszerűsítheti a természettudományt. 2014-ben a *Nukleonban* megjelent cikke alapján 6000, megfelelő méretűre vágott műanyag cső segítségével a Kutatók Éjszakáján egy, a fiatalok körében népszerű magyar könnyűzenei együttes koncertje előtt közösen „eljátszották” Beethoven *Örömdáját*, amely bekerült a *Guinness magyar rekordok könyvébe*. Anett tehát nem először vendége e programsorozatnak. Ez alkalommal foglalkozásán csövekkel, dobozokkal, lufikkal és még sok más hétköznapi tárggyal fedeztette föl a körülöttünk levő világ meglepő jelenségeit!

Az est második vendége *Bagosi Róbert Krisztián* volt Gyuláról, a Göndöcs Benedek Középiskolából. Robi szabadidejében hobbiszinten foglalkozik elektronikával, amelynek köszönhetően maga is több eszközt készített, elsősorban elektromosságtani és fénytani kísérletekhez. Nagy érdeklődést mutat a modern technológiák, többek között a számítógépes hálózatok és a 3D-nyomatás iránt is. Ezen esti bemutatója szorosan kapcsolódott mindennapi életünkhöz; kísérleteivel az elektromosság és a mágnesesség közötti kapcsolatot próbálta megértetni a diákokkal.

Sinkó Andrea, a Kanizsai Dorottya Gimnázium tanára Szombathelyről érkezett. 2015-ben megjelentette egy könyvet *Fizika a cirkuszban* címmel, ehhez kapcsolódik a *Cirkusz a laborban* elnevezésű projektje, amely interaktív bemutatóból, kísérletezésből és vetélkedőből áll. Az est alkalmából a nézőkkel együtt modellezte azon fizikai jelenségeket, amelyekre néhány cirkuszi attrakció épül.

Szabó László Attila kolléga már nem először kápráztatta el a résztvevő, önként kísérletezőket – ő Csongrádról érkezett, a Batsányi János Gimnáziumból. Azt vallja, hogy kísérleteken keresztül sokkal könnyebben megérthető a fizika, ezért sokat kísérletezik diákjaival. Munkáját nagyban segíti az iskolájában kollégáival együtt létrehozott „Tetudod” diáklaboratórium. Itt a diákok mérési gyakorlatokon mélyíthetik el a tudásukat, az önálló manuális és szellemi tevékenység áll a központban. Interaktív előadásában az otthon fellelhető tárgyakkal: szívószállal, PET-palackkal, mosószerrel és vízzel kísérletezett, és ezek – meg persze a résztvevők – segítségével készített forgót, repülőt, rakétát és habkukacot.

Berecz János tanár úr Hódmezővásárhelyről, a Bethlen Gábor Református Gimnáziumból hozta el nézőinek az 1863-ban alapított fizikaszertár ma is működőképes eszközei egy részét. Foglalkozásán e régi eszközökkel mutatott be érdekes kísérleteket a mechanika, a hangtan, a hőtan, az optika és az elektromosság témaköréből. A tanár úrnak is szívügye a tehetséggondozás. 1997-ben kezdeményezésére rendezte meg iskolája az első országos fizikai feladatmegoldó versenyt a református középiskolák számára, amelynek azóta is fő szervezője. A verseny 2001-ben vette fel a gimnázium egykori jeles fizikatanára, Tornyai Sándor nevét.

Oláh Éva Mária tanárnő kutatódiákjai az MTA Wigner Fizikai Kutatóintézet nagyenergiás fizika osztályának munkájába kapcsolódhatnak be, és ennek során maguk is összeállíthatnak kozmikus műonok észlelésére alkalmas eszközöket. A csoport több tagja is kiemelkedő eredményeket ért el kutató tevékenységével, a Tudok, az Innodiák és az Ifjú Tudósok európai döntőjében. A tanárnő ez alkalommal nem nagyener-

giás fizikával foglalkozott, hanem Törökbálintról a Bálint Márton Általános és Középiskolából érkezett 15 olyan diákjával, akikkel a fizika és a zene kapcsolatával kápráztatták el a közönséget – köztük még a külföldről érkező, EU-bizottsági megfigyelőt is. A tanárnő már harmadszor volt e rendezvény vendége, diákjaival saját készítésű hangszerekkel hívták közös zenélésre a résztvevőket, és a közös éneklésnek is köszönhetően fantasztikus hangulatot teremtettek.

Pál Zoltán tanár úr sem először vendége a Kutatók Éjszakája estjének, ő Baranya megyéből érkezett, a Gödrei Általános iskolából. A tanár úr több évtizede a Fizikatanári Ankétok rendszeres résztvevője, ahol sikeres, általában I., II. díjas eszközkészítőként vesz részt. Péntek esti programjában újszerű, saját készítésű kísérleteivel érzékeltette a nézőkkel, hogy mi történik, ha a normál légköri nyomásnál alacsonyabb jön létre és a vákuumközeli állapot alakul ki.

Borbély Venczel Vácról érkezett, ő is többszörös vendége e rendezvénynek. Fizikusként és fizikaszakos tanárként a tanítás mellett kutatóként is dolgozott a BME Fizika Tanszékén, a Holográfia Csoportban. Kutatása során több hazai és nemzetközi projektben tagja volt, a Lézer-Sólyomszem holografikus mérőkamera fejlesztésében is részt vett; jelenleg a Technoorg Linda Kft. fejlesztő csapatát erősíti. Bemutatójában a mindennapi tárgyak, játékok, építkezési és háztartási hulladékokból készített eszközök segítségével ismertette meg a résztvevőkkel a hang és fény kapcsolatát.

Zsigó Zolt Nyíregyházáról érkezett, szintén nem egyedül, hanem sikeres diákjaival, akikkel ez évben is izgalmas, és újszerű fejlesztéseket, projekteket készítettek és hoztak magukkal.

Bemutatójukban megismerhettük a jeltolmács kesztyűt és alkotóját, *Tóth Bencét*. A halláskárosult emberek jelbeszéd során a jeltolmács kesztyűt használva úgy kommunikálnak, hogy a jelelt szöveget a hallgatóság felolvasva hallja. Így a siket emberek a kesztyű segítségével képesek lehetnek mindennapi ügyeiket intézni például a bankban, az autószerelőnél és másutt.

A második bemutatott sikeres projekt a víz alatti kutatórobot volt. Alkotói *Zsigó Miklós*, *Szemerszki Bálint* és *Tóth Bence* olyan távirányítható eszköz kialakítására törekedtek, amely a víz alatti infrastruktúra állapotáról ad hiteles, élő képet például víztározókat működtető cégek munkáját segítve.

A harmadik sikeres projekt a különböző eszközök vezérlése izmok által generált elektromos jelekkel, EMG-vel, *Vas Bertalan* alkotásaként került bemutatásra. Működésének lényege, az orvosi diagnosztikában használatos eljárás, amelynek során az izmok összehúzódásakor keletkező nagyon kicsi elektromos jelek érzékelésével eszközöket vezérelhetünk. A fejlesztő

izomfeszítéssel képes számítógépes prezentációt bemutatni, technikai eszközöket (TV, lámpa) távolról bekapcsolni, és a technológia alapján elkészített robotkéz akár szorításra is alkalmassá válik.

Az elmúlt évben a Bánkirobot Team tagjai sikereket értek el a XXII. Országos Tudományos és Technikai Diákalkotó Kiállításán és az Ifjúsági Innovációs Versenyen, amely a hazai és a határon túli kutató és innovatív fejlesztő diákok sereg-szemléje. Ezúton is gratulálunk a diákok fantasztikus munkájához, persze ez a munka sem valósult volna meg egy lelkes tanár (Zsigó Zsolt) irányítása nélkül.

Az est utolsó előadója éjjel 23.20-kor lépett színpadra *Fülöp Csilla* személyében, aki Budapestről, a Madách Imre Gimnáziumból jött, és egy csokorra való kísérletet hozott, tüsszel és vízzel nyűgözte le a nézőket.

„Midőn tűz és víz összekerülnek, sustorgás és gőz lesz belőle; védi magát a tűz, aztán elalszik, a víz elpárolog, kormos nedvességet hagyva maga után.” – *Alban Stolz* (1808–1883).

Az eddigi évek rendezvényei a – Jarosievitz Beáta és Sükösd Csaba által készített – gyűjtőoldalakon visszanezhetők, a videó alapján a kísérletek oktatási célra bemutathatók, reprodukálhatók. A gyűjtemény elérhető [2] helyekről, valamint a QR-kódok segítségével.



Összegzésként, eddigi tapasztalataink alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy az *Öveges tanár úr utódai* program nagyon sikeres, a közönség minden évben sok új élménnyel, információval feltöltődve távozik a telt házas programsorozatról. Ebben az arány-



Kut. Éjsz. 2012



Kut. Éjsz. 2013



Kut. Éjsz. 2014



Kut. Éjsz. 2015



Kut. Éjsz. 2016



Kut. Éjsz. 2017

lag kis teremben az est folyamán minimum 800-1000 fő fordult meg a hihetetlen motivációval bíró rendezvényen. 2017-ben és az előzőekben is még éjjel 12-kor is telt házzal zártuk az előadásokat, még a legkisebbek is csillogó szemmel figyelték és együttműködtek az interaktív kísérletek elvégzésében.

A megkérdézettek mindannyian pozitívan nyilatkoztak a látottakról, és egyre többen várják az újabb évet, hogy visszatérhessenek és ismét tanúi lehessenek Öveges tanár úr utódai kísérleteinek.

Ezúton is köszönjük az Ericsson Magyarország Kft.-nek, hogy helyt adott a rendezvény lebonyolításához, és e mellett minden technikai feltételt, marketinget is biztosított a siker érdekében. Reméljük, hogy ezt az együttműködést továbbra is folytatjuk.

Jarosievitz Beáta

Irodalom

1. Jarosievitz Beáta: *Unique activities organised for the Researchers' Night in Hungary*. (2015) <http://blog.scientix.eu/2015/03/unique-activities-organised-for-the-researchers-night-in-hungary>
2. Kutatók Éjszakája, 2012: <http://www.sukjaro.eu/?q=node/54>
Kutatók Éjszakája, 2013: <http://www.sukjaro.eu/?q=node/59>
Kutatók Éjszakája, 2014: <http://www.sukjaro.eu/?q=node/60>
Kutatók Éjszakája, 2015: <http://www.sukjaro.eu/?q=node/73>
Kutatók Éjszakája, 2016: <http://www.sukjaro.eu/?q=node/94>
Kutatók Éjszakája, 2017: <http://www.sukjaro.eu/node/95>
3. Nagy Lászlóné: A kutatásalapú tanulás/tanítás ('inquiry-based learning/teaching', IBL) és a természettudományok tanítása. *Iskolakultúra* 20/12 (2010) 31–51.
4. *Öveges Tanár úr utódai*. Ericsson Magyarország Kft. (2017) ISBN 978-963-12-6672-6
5. Öveges József: *Kísérletezzünk és gondolkozzunk 1. – Mechanika*. Móra Ferenc Könyvkiadó, Budapest, 2006.

NEM KELL HŐSNEK LENNED!

**MARADJ TOVÁBBRA IS
A FIZIKA BARÁTJA!**

SZÁMÍTUNK RÁD,



támogasd jövedelemadód

EGY százalékaival

az Eötvös Loránd Fizikai Társulatot!

Adószámunk: 19815644-2-43





XI. Nukleáris szaktábor középiskolásoknak 2018. július 1 – 6.

Helyszín: Keszthely, Keszthelyi VSZK kollégiuma (<http://www.kvszk.hu/>)

Elhelyezés: 4 ágyas szobákban, 6 nap/5 éj

Ellátás: napi 3 étkezés

Érkezés: július 1-én, vasárnap

Hazautazás: július 6-án, pénteken

Részvételi díj az MNT támogatásával: 10.000 Ft (magában foglalja a szakmai programokat)

Szakmai előadások

Magfizikai ismeretek

Kutató- és oktató reaktorok

Atomerőművek működése

Sugárszennyezés, sugárvédelem

Mi történik a radioaktív hulladékokkal?

Orvosi alkalmazások

További programok

Kastély-, múzeum látogatás

Strandlátogatás

Kirándulás a Hévízi-gyógytóhoz

Filmvetítés, vetélkedők

Találkozás ismert szakemberekkel

Sport



Szakmai kirándulás

Látogatás az MTA EK Budapesti
Kutatóreaktorába

(16 éven felüliek számára,
a 16 év alattiak számára egyéb
program lesz az intézetben)

Mérések, gyakorlatok

Ismerkedés szimulációs programokkal

Tanulói mérések, kísérletek, a Vajda
János Gimnázium laboratóriumában

Közös projektmunka és bemutatása

Jelentkezési határidő: 2018. május 21.

Előzetes érdeklődés: Mester Andrásnál xkibandi@uni-miskolc.hu 0670 3387912

Szervező: Magyar Nukleáris Társaság

További információ, jelentkezési lap: <http://nuklearis.hu/xi-nuklearis-szaktabor>