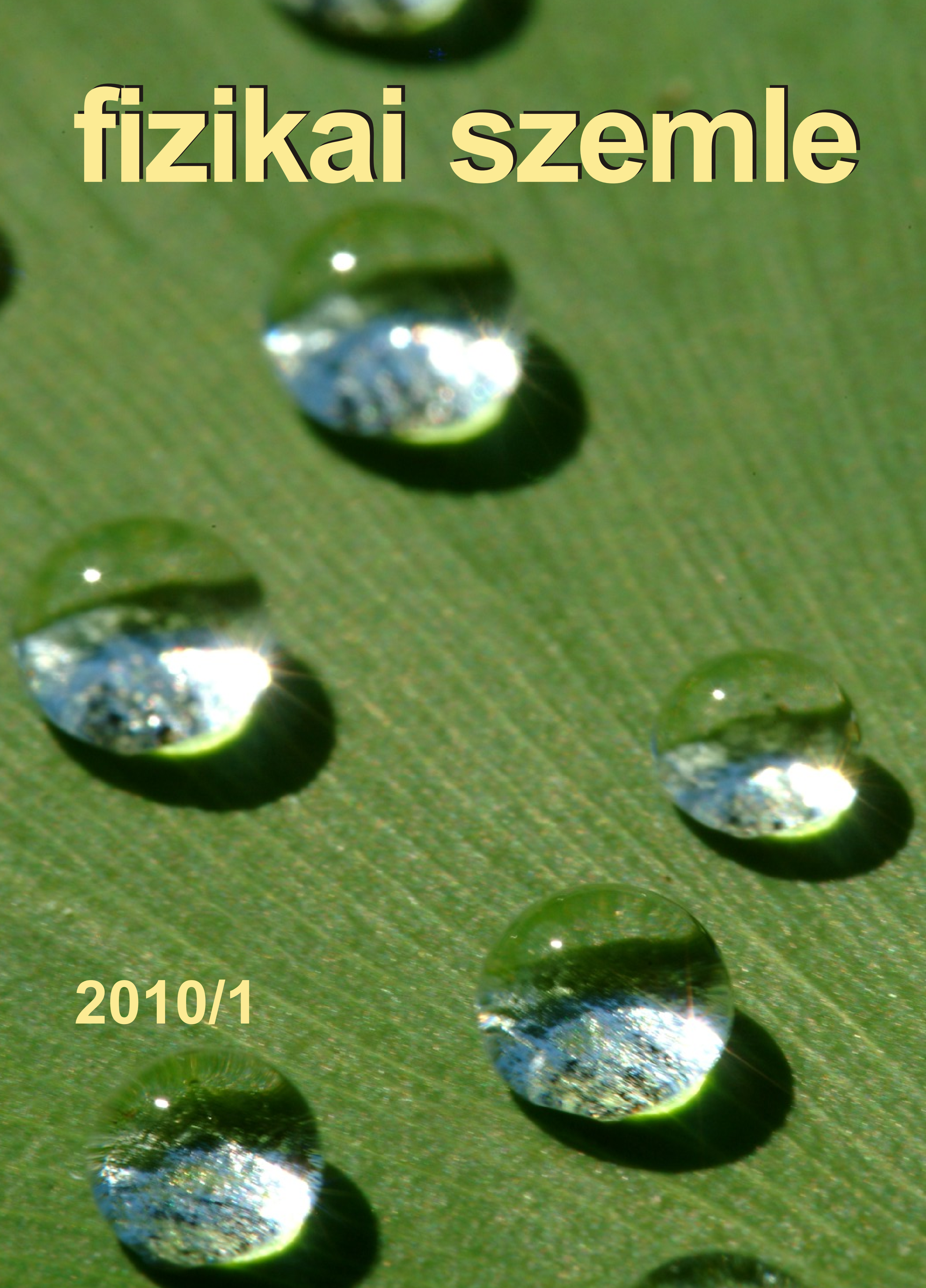
fizikai szemle



2010/1

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat havonta megjelenő folyóirata. Támogatók: A Magyar Tudományos Akadémia Fizikai Tudományok Osztálya, az Oktatási és Kulturális Minisztérium, a Magyar Biofizikai Társaság, a Magyar Nukleáris Társaság és a Magyar Fizikushallgatók Egyesülete

Főszerkesztő:

Szatmáry Zoltán

Szerkesztő:

Füstöss László

Műszaki szerkesztő:

Kármán Tamás

A folyóirat e-mail címe:

szerkesztok@fizikaiszemle.hu
A lapba szánt írásokat erre a címre kérjük.

A folyóirat honlapja:

http://www.fizikaiszemle.hu

A címlapon:

Páfrányfenyő (Ginkgo biloba) erősen víztaszító, napsütötte levelén nyugvó gömbölyded vízcseppek, melyek csak akkor maradnak a levélen, ha az közel vízszintes síkú, máskülönben pedig leperegnek (Kriska György fotója).

A hátsó borítón:

Galilei objektívje. Galileo Galilei ezzel a díszesen befoglalt objektívvel fedezte fel a Jupiter négy legfényesebb, úgynevezett Galilei-holdját 1610 januárjában. Az optikát a firenzei Tudománytörténeti Múzeum őrzi.

TARTALOM

megjelenését anyagilag támogatják:

Nemzeti Kulturális Alap
paksi atomerőmű
Nemzeti Civil Alapprogram
A FIZIKA BARÁTAI

Fizikai Szemle

MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

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

LX. évfolyam 1. szám 2010. január

BEÉGETHETIK-E NAPSÜTÉSBEN A LEVELEKET A RÁJUK TAPADT VÍZCSEPPEK? EGY TÉVHITEKKEL TERHES BIOOPTIKAI PROBLÉMA TISZTÁZÁSA

I. rész: Napfény forgásszimmetrikus vízcseppek általi fókuszálásának számítógépes vizsgálata

Egri Ádám, Horváth Gábor – ELTE, Fizikai Intézet, Biológiai Fizika Tanszék
Horváth Ákos – Max Planck Meteorológiai Intézet, Hamburg
Kriska György – ELTE, Biológiai Intézet, Biológiai Szakmódszertani Csoport

Széles körben elterjedt vélekedés a kertészetben és növényvédelemben, hogy a növényeket délben, tűző napon nem szabad locsolni, mert a növényekre tapadt vízcseppek megégethetik a leveleket azáltal, hogy a levél felszínére fókuszálják a napfényt. Hasonló vélemény fordul elő a bőrgyógyászatban és kozmetikában, miszerint az emberi bőrön megtapadt vízcseppek veszélyt jelentenek napozás közben, mert a bőrre fókuszálják a napfényt. Az erdészeti szakirodalomban is föl-fölbukkan az a hit, hogy a vízcseppek által az elszáradt növényzetre fókuszált napfény erdőtüzet okozhat. A növények felületén ülő vízcseppek fényfókuszálását részleteiben eddig még nem vizsgálták. E hiány pótlására számítógépes modellezést és kísérleteket végeztünk napsütötte levelekre tapadt vízcseppekkel. Különböző növényfajok vízszintes levelein ülő vízcseppekről fényképeket készítettünk, amelyek alapján meghatároztuk a vízcseppek alakját. Ezután számítógépes sugárkövetéssel számítottuk a vízszintes levélfelszínen nyugvó forgásszimmetrikus vízcseppek által kialakított fényintenzitás-eloszlást a cseppalak és a napfény θ *beesési szögének függvényében. Ezen intenzitásmintázatokból megkaptuk a fényintenzitás maximumának helyét és nagyságát a levéllemezen a cseppalak és* θ *függvényében. A napfény* θ*-függő spektrumának és a zöld levél fényelnyelési spektrumának ismeretében meghatároztuk azon cseppalakot és* θ *beesési szöget, amelyeknél a fókuszált napfény intenzitása, s egyben a beégés valószínűsége is maximális. Cikkünk I. részében számítógépes vizsgálataink eredményeit mutatjuk be.*

Egy a kertészetben és növényvédelemben széles körben elterjedt vélekedés szerint a növényeket délben, tűző napon nem szabad locsolni. Ennek az egyik leggyakoribb magyarázata, hogy a levelekre tapadt vízcseppek nagyítólencsékként a napfényt összegyűjtve égési sérüléseket okozhatnak a leveleken. A Világhálón böngészve számos kertészettel és növényvédelemmel kapcsolatos olyan honlapra akadtunk, amelyek azzal a kérdéssel is foglalkoztak, hogy képesek-e a vízcseppek fényfókuszálás által sérüléseket okozni a növényeken. Tapasztalatunk szerint ezen oldalak mintegy 77%-a válaszolt igenlően a következő kérdésre: Kiégethetik-e a napsütötte vízcseppek a leveleket? Itt most csak két szélsőséges véleményt idézünk:

- *A levélégés fő okai a vízpermet, a trágyalé vagy különféle vegyszerek lehetnek, amelyek a lombozatra kerülnek meleg nyári időben. Ekkor az történik, hogy a levélen ülő vízcsepp úgy viselkedik, mint egy nagyítólencse – a napfényt a levélre fókuszálja, így az túlmelegszik, majd beég. Hasonlóan ahhoz, mint mikor egy nagyítólencsével megégetünk egy darab papírt.* (http://www.searle.com.au/leafburn.htm)

• *Itt a meleg nyári idő, amikor az embereknek azt szokták ajánlani, hogy ne locsoljanak napsütésben. A legkézenfekvőbb ok, hogy ekkor túl nagy a párolgási vízveszteség. Olyan vélemények is hallhatók, hogy a napsütésben való öntözés megégeti a növényeket, mert a vízcseppek összegyűjtik a napfényt. […] Valóban megéghetnek a növények a vízcseppek miatt? Nem hiszem, hogy egy vízcsepp olyan hatékony nagyítólencse volna. Egy vízcsepp fókuszpontja határozottan a levél alatt van. Ahogy a levélen ülő csepp mérete csökken, a fókuszpontja fölfelé mozog, viszont kevesebb fényt tud összegyűjteni. Tehát én nem fogadom el a nagyítólencse-elméletet.* (http://www.cahe.nmsu.edu/ces/yard/1999/062899.html)

E biooptikai probléma az (alap-, közép- és felsőfokú) oktatásban is gyakran előfordul. Példaként idézzük a 2006. május 15-i gimnáziumi fizika érettségi feladatsor egyik feladatát, amit az Oktatási Minisztérium adott ki:

Nyáron, déli napsütésben nem ajánlatos a kertben locsolni, mert „megégnek” a növények levelei. Az alábbi magyarázatok közül csak egy fogadható el, melyik?

A) A gyorsan párolgó víz hirtelen lehűti a növényt. A fagyás tünetei megegyeznek az égésével.

B) A vízcseppek gyűjtőlencseként viselkednek, és a levelekre fókuszálják a napfényt.

C) Az elpárolgó víz forró gőze okoz „égési tüneteket”.

A válaszok közül a *B-t fogadták el helyesnek*. Mindebből jól látszik, hogy sok laikus és szakember is úgy gondolja, öntözés vagy eső után a vízcseppek képesek megégetni a leveleket napsütésben. Valójában ez egy régi környezetoptikai probléma, amelynek megoldása egyáltalán nem egyszerű.

Egy másik hasonló kérdés, hogy a vízcseppekkel borított emberi bőr szenvedhet-e sérüléseket napozás közben. Az e kérdéssel is foglalkozó, általunk meglátogatott bőrgyógyászati és kozmetikai honlapok 89%-a pozitívan válaszolt arra a kérdésre, hogy: képesek-e a napsütötte vízcseppek megégetni az emberi bőrt. De az erdőtüzekkel foglalkozó szakirodalomban is föl-fölbukkan az a vélekedés, hogy e tüzeket vízcseppek kelthetik azáltal, hogy az elszáradt növényzeten maradt esőcseppek összegyűjtik a napfényt.

A szóban forgóhoz leginkább hasonló abiotikus optikai probléma a fény törése hulló esőcseppeken, ami a jól ismert szivárványt eredményezi. Bár a szivárvány irodalma igen nagy [1–8], a kapcsolódó elméletek és kísérletek kizárólag csak gömb alakú vagy gömbölyded vízcseppekre vonatkoznak, mivel a hulló esőcseppek ilyenek. Élő szervezetekben hasonló problémára akadunk a halak szemében: A halak szemlencséje gömb alakú, helyfüggő törésmutatóval [9]. Különféle halak szemlencséje optikájának megismerése céljából elméleti, kísérleti és számítógépes vizsgálatokat végeztek. Ezek egyikében egy optikailag homogén, gömb alakú szemlencse fénygyűjtőképességét modellezték [10], míg mások sugárfüggő törésmutatóval tették ugyanezt [11].

Tudomásunk szerint levelekhez tapadt vízcseppek fényfókuszálását behatóan sem kísérleti, sem pedig elméleti úton eddig nem tanulmányozták. Hogy ezt az űrt betöltsük, számítógépes modellezést és kísérleteket végeztünk a napsütötte levelekhez tapadt vízcseppek fénygyűjtésének tanulmányozása céljából [12]. Cikkünk I. részében számítógépes vizsgálataink eredményeit foglaljuk össze. Mivel az a fényintenzitás, aminél már éppen beég a levél, ismeretlen, ezért a szóban forgó biooptikai probléma nem oldható meg pusztán számítógépes modellezéssel. Ennélfogva kísérleteket is végeztünk napsütötte leveleken ülő vízcseppekkel. E kísérleti eredményeinket cikkünk II. részében közöljük.

Számítási módszerek

A vízcsepp alakja

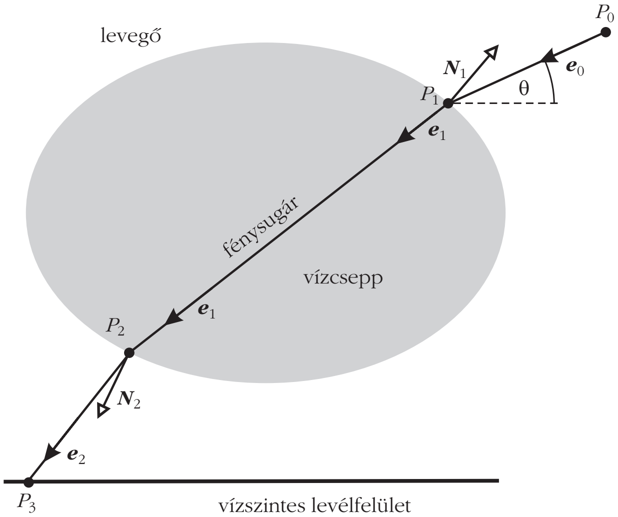
Csak forgásszimmetrikus, azaz vízszintes levélen ülő vízcseppeket tanulmányoztunk különböző nedvesítési szögek mellett. Három különböző növényfaj (berkenye: *Sorbus aucuparia,* platán: *Platanus hybrida,* juhar: *Acer platanoides*) leveleit vízszintes üveglapra rögzítettük átlátszó ragasztószalaggal. Minden levélre egy kevés tiszta csapvizet helyeztünk el egy szemcseppentővel. Az így kialakuló vízcsepp méretét és alakját az határozta meg, hogy hány cseppet juttattunk ugyanarra a helyre a cseppentővel. A levélen ülő vízcseppet a fényképezőgép vízszintes optikai tengelye mellett oldalról lefényképeztük (*3.a, 4.a, 5.a ábrák*). A vízcsepp felső és alsó részének főtengelymetszete (ami a fényképeken látszik) két különböző függvénnyel írható le. A cseppmérettől és a nedvesítési szögtől gyakorlatilag függetlenül, a csepp felső fele nagyon jó közelítéssel egy ellipszis:

$$f(r) = C\sqrt{1 - \frac{r^2}{B^2}}\,, \qquad r^2 = x^2 + y^2, \tag{1}$$

ahol x és y a derékszögű Descartes-koordináták a vízszintes síkban; B és C pedig az ellipszis fél nagy-, illetve kistengelye, f-et pedig a függőleges z tengelyen mérjük. Ha a vízcsepp és a levél közti, vízszintestől mért α nedvesítési szög nem sokkal nagyobb, mint 90°, akkor a csepp alsó fele is jól közelíthető egy ellipszissel ($f < 0$). Ha α jóval nagyobb, mint 90°, akkor a csepp alsó felét jó közelítéssel a következő $g(r)$ függvény írja le:

$$g(r) = -q\,C\sqrt{1 - \frac{r^2}{B^2}} - (1-q)\,C\sqrt{1 - \frac{r^2}{B^2}}\;h(r) \tag{2}$$
$$h(r) = \frac{1-R}{B^2}\,r^2 + R,$$

ahol B és C ismét az ellipszis féltengelyei, a q paraméter (q = 0 vagy 1) pedig azt határozza meg, hogy az ellipszist leíró $f(r)$ függvényt megszorozzuk-e a $h(r)$ parabolával (q = 0), vagy nem (q = 1). A $h(r)$ kifejezésében $R = h(r{=}0)$.



1. ábra. A $\boldsymbol{P}_0$ kiindulási pontból a $\boldsymbol{P}_3$ végpontba haladó fénysugár útja a $\boldsymbol{P}_1$ és $\boldsymbol{P}_2$ törési pontokon keresztül. $\boldsymbol{e}_0$, $\boldsymbol{e}_1$, $\boldsymbol{e}_2$: a fénysugár irányának egységvektorai, $\boldsymbol{N}_1$, $\boldsymbol{N}_2$: a vízcsepp felületének normálvektorai.

A vízcseppbeli sugármenet követése: vízcseppek fénygyűjtőképessége

Üljön egy forgásszimmetrikus vízcsepp egy vízszintes levélen, amit a napfény világít meg a vízszintestől mért θ szoláris elevációszögben az *1. ábra* szerinti módon. Egy adott fénysugár $\boldsymbol{P}_0 = (x_0, y_0, z_0)$ kiindulási helye és kezdeti irányának $\boldsymbol{e}_0 = (e_{0x}, e_{0y}, e_{0z})$ egységvektora ismert ($e_0 = 1$). A fénysugár tetszőleges pontjának helyvektora paraméteres formában a következő:

$$\boldsymbol{P} = (x, y, z) = \boldsymbol{P}_0 + t\boldsymbol{e}_0 \rightarrow$$
$$\begin{aligned} x &= x_0 + t\, e_{0x}, \\ y &= y_0 + t\, e_{0y}, \\ z &= z_0 + t\, e_{0z}, \end{aligned} \tag{3}$$

ahol t a kontrollparaméter. A vízcsepp felszínének alakját az $\boldsymbol{S}(x, y, z) = 0$ egyenlet írja le. A bejövő fénysugár és a cseppfelület metszéspontjának koordinátáit a következő egyenlet határozza meg:

$$\boldsymbol{S}(x = x_0 + te_{0x},\ y = y_0 + te_{0y},\ z = z_0 + te_{0z}) = 0. \tag{4}$$

Ha (4)-nek két valós megoldása van, akkor a fénysugár megtörik a vízcseppen. E két (t_1, t_2) megoldás közül a kisebbikre van szükség, mivel ez határozza meg a fénytörés helyét, $\boldsymbol{P}_1$-et. Innen a sugár a cseppben halad tovább (*1. ábra*). Ha a vízcsepp felületét leíró függvény $D(x, y)$, akkor a cseppfelület $\boldsymbol{N}$ normálvektora ($N = 1$) így adható meg:

$$\boldsymbol{N} = \frac{\boldsymbol{e}_1 \times \boldsymbol{e}_2}{|\boldsymbol{e}_1 \times \boldsymbol{e}_2|}, \quad \text{ahol}$$
$$\boldsymbol{e}_1 = \left(1,\, 0,\, \frac{\partial D(x, y)}{\partial x}\right), \quad \boldsymbol{e}_2 = \left(0,\, 1,\, \frac{\partial D(x, y)}{\partial y}\right), \tag{5}$$

ahol × vektoriális szorzatot jelent. Jelöljük a vízcsepp felszínére érkező fénysugár irányának egységvektorát $\boldsymbol{e}_0$-lal, a megtört sugárét pedig $\boldsymbol{e}_1$-gyel (*1.* és *2.a ábra*). A Snellius–Descartes-féle törési törvényt alkalmazva:

$$\boldsymbol{e}_1 = \frac{1}{n}\boldsymbol{e}_0 - \left(\cos\beta - \frac{\cos\alpha}{n}\right)\boldsymbol{N}, \tag{6}$$

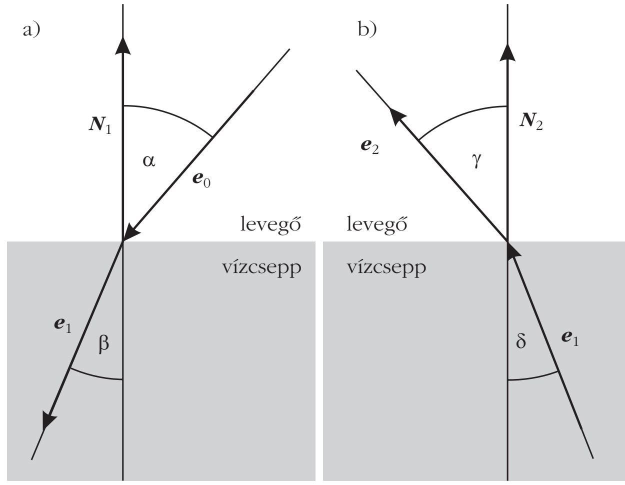
ahol α és β rendre a beesési és törési szögek (*2.a ábra*), és $n = 1{,}33$ a víz átlagos törésmutatója a 400 nm ≤ λ ≤ 750 nm látható hullámhossztartományban. A vízcseppből kilépő sugármenetkor a víz-levegő határfelületre eső sugár irányának egységvektora $\boldsymbol{e}_1$, míg a levegőben tovahaladó megtört sugáré $\boldsymbol{e}_2$ (*1.* és *2.b ábra*). Ekkor az előző esethez hasonlóan a megtört sugár irányának egységvektora:

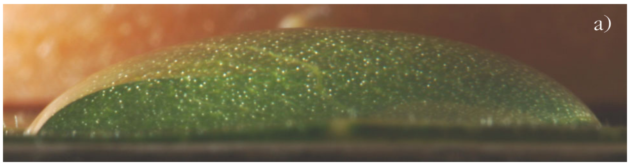
$$\boldsymbol{e}_2 = n\boldsymbol{e}_1 + (\cos\gamma - n\cos\delta)\boldsymbol{N}, \tag{7}$$

ahol δ és γ rendre a beesési és törési szögek (*2.b ábra*).

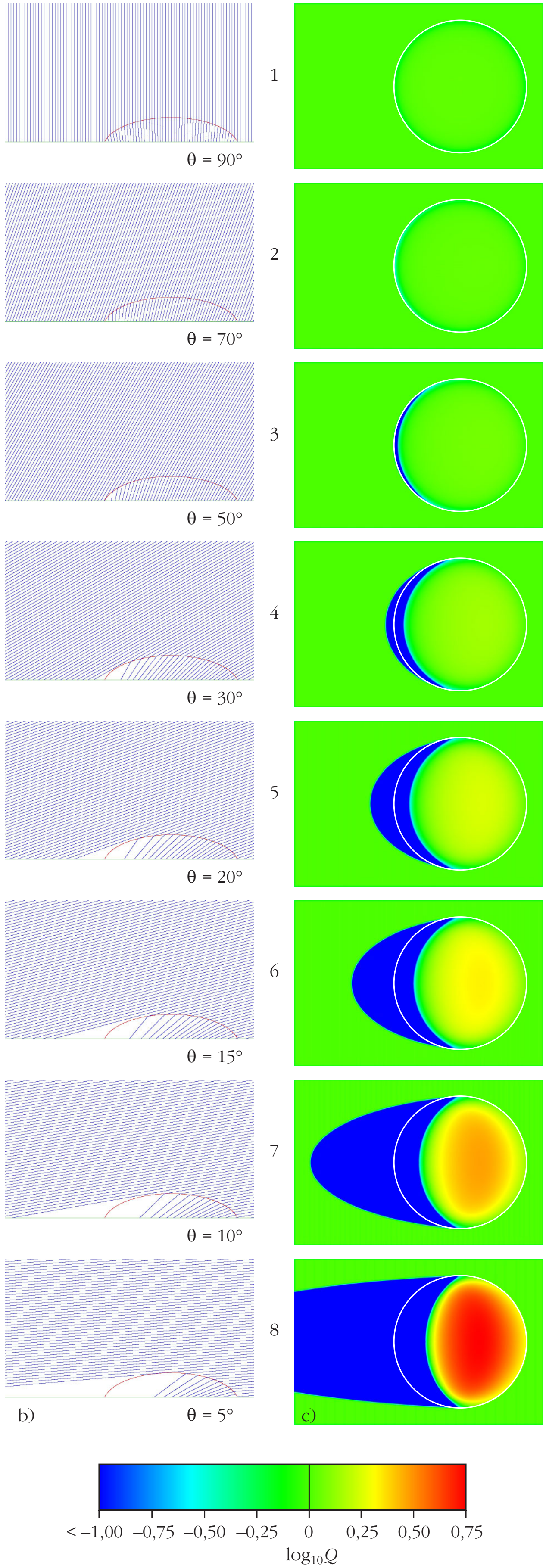
A fönti formulák használatával adott cseppalaknál és θ szoláris elevációszögnél 216 000 000 párhuzamos fénysugár cseppbeli pályáját számítottuk ki. Minden sugarat addig követett a számítógépes program, míg a levélfelületet képviselő vízszintes sík $\boldsymbol{P}_3$ pontjába nem ütközött (*1. ábra*). E vízszintes síkot 900 × 600 elemi cellára osztottuk föl. Ha egy cellába érkezett be egy fénysugár, akkor a cellához rendelt m egész szám értéke eggyel nőtt. Így egy adott cella m értéke arányos az azon helyen várható I fényintenzitással. (Ha a levegő-víz határfelületről visszavert, s a Fresnel-formulákkal számolható fényintezitást is figyelembe vennénk, akkor ez az I értékében legföljebb néhány százalékos eltérést okozna, de igen megnövelné a számítások idejét, ezért lemondtunk erről.) Egy adott cellában a vízcsepp fénygyűjtőképességét a $Q = m/m_0$ értékkel definiáltuk, ahol m_0 az az érték, ami úgy adódna, ha a csepp nem létezne. A számítások eredményeként tehát egy olyan kétdimenziós mátrixot kapunk

2. ábra. Egy vízcsepp felületére beeső, illetve ott megtört fénysugarak α, δ beesési szögei, β, γ törési szögei, és a fénysugarak irányának $\boldsymbol{e}_0$, $\boldsymbol{e}_1$, $\boldsymbol{e}_2$ egységvektorai, továbbá a csepp felszínének $\boldsymbol{N}_1$, $\boldsymbol{N}_2$ normálvektorai, amikor a fény a levegőből a vízbe lép (a), illetve a vízből a levegőbe (b).





3. ábra. (a) Vízszintes juharlevélen (*Acer platanoides*) ülő vízcsepp oldalról fényképezve. (b) Fénysugarak menete a piros kontúrral jelölt vízcsepp függőleges főtengelyén keresztül a vízszinteshez képest különböző θ szögekben beeső fénynyalábok esetén. (c) A vízcsepp *Q* fénygyűjtőképessége 10-es alapú logaritmusának levélsíkbeli eloszlása színekkel kódolva, ahol a vízcsepp és a levél érintkezési felületének kerületét egy kör jelzi.



(ez képviseli a vízszintes levélfelületet a csepp alatt), amelynek minden cellájában egy Q szám van, ami függ a bejövő fény vízszintestől mért θ szögétől és a csepp alakjától.

A levelek által elnyelt, vízcsepp által fókuszált fény intenzitása: a növényi levél fényelnyelési tényezője

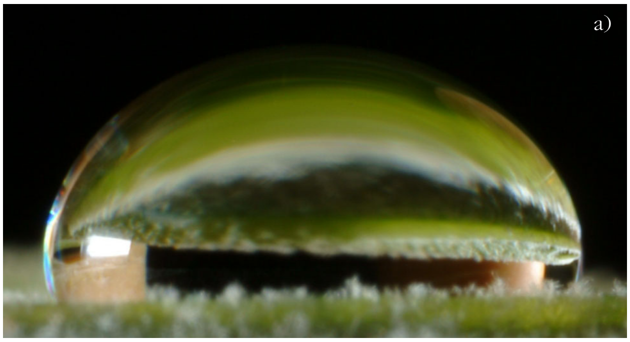
A vízcseppekkel borított növényi levelek esetleges beégését a cseppek által fókuszált fény túl nagy intenzitása okozhatja. Ha egy levélre eső napfény spektruma $I_{\mathrm{Nap}}(\lambda, \theta)$ (*7.a ábra*), a levélszövet fényelnyelési spektruma pedig $A(\lambda)$ (*7.b ábra*) – ahol λ a fény hullámhossza, θ pedig a szoláris elevációszög –, akkor a levél által elnyelt, vízcsepp által fókuszált fény intenzitása egy adott helyen:

$$I(\theta) = \int_{\lambda_{\mathrm{min}}}^{\lambda_{\mathrm{max}}} A(\lambda)\, Q[n(\lambda), \theta]\, I_{\mathrm{Nap}}(\lambda, \theta)\, \mathrm{d}\lambda, \qquad (8)$$

ahol $Q[n(\lambda), \theta]$ a vízcsepp fénygyűjtőképessége, ami függ a θ szoláris elevációtól és a víz hullámhosszfüggő $n(\lambda)$ törésmutatójától. $I(\theta)$ megadja az egységnyi idő alatt, egységnyi felületen elnyelt energiát adott θ mellett. $I_{\mathrm{Nap}}(\lambda, \theta)$ a látható hullámhossztartományban maximális (*7.a ábra*), ezért csak a $\lambda_{\mathrm{min}} = 400$ nm $\le \lambda \le \lambda_{\mathrm{max}} = 750$ nm tartománnyal foglalkoztunk. Mivel a spektrum e tartományában a víz törésmutatója csak kicsit változik, ezért az $n(\lambda) \approx$ állandó $= n_{\mathrm{víz}} = 1{,}33$ közelítést alkalmaztuk. Ez azért volt fontos, mert különben egy adott cseppalaknál a Q fénygyűjtőképességet λ függvényében is meg kellett volna határozni minden θ-nál, ami rengeteg számítást igényelt volna. Ha tehát $n = 1{,}33$ és a 400 nm ≤ λ ≤ 750 nm hullámhossztartományra korlátozódunk, akkor $I(\theta)$ a következőképpen számolható:

$$I(\theta) \approx Q(n, \theta) \int_{400\ \mathrm{nm}}^{750\ \mathrm{nm}} A(\lambda)\, I_{\mathrm{Nap}}(\lambda, \theta)\, \mathrm{d}\lambda \equiv$$
$$\equiv Q(n, \theta)\, a(\theta), \qquad (9)$$
$$a(\theta) = \int_{400\ \mathrm{nm}}^{750\ \mathrm{nm}} A(\lambda)\, I_{\mathrm{Nap}}(\lambda, \theta)\, \mathrm{d}\lambda,$$

ahol $a(\theta)$-t a levél „szoláris fényelnyelési tényező”-jének nevezzük. Adott cseppalakra kiszámítottuk a $Q(n, \theta)$ mátrixot. Ha egy cseppmentes vízszintes leve-



4. ábra. Mint a *3. ábra,* de most egy vízszintes platánlevélen (*Platanus hybrida*) ülő vízcsepp esetén.

let tekintünk a vízszintestől mért θ szögben beeső $I_{Nap}(\lambda, \theta)$ spektrumú fénynyaláb mellett, akkor a levél által elnyelt fény intenzitása:

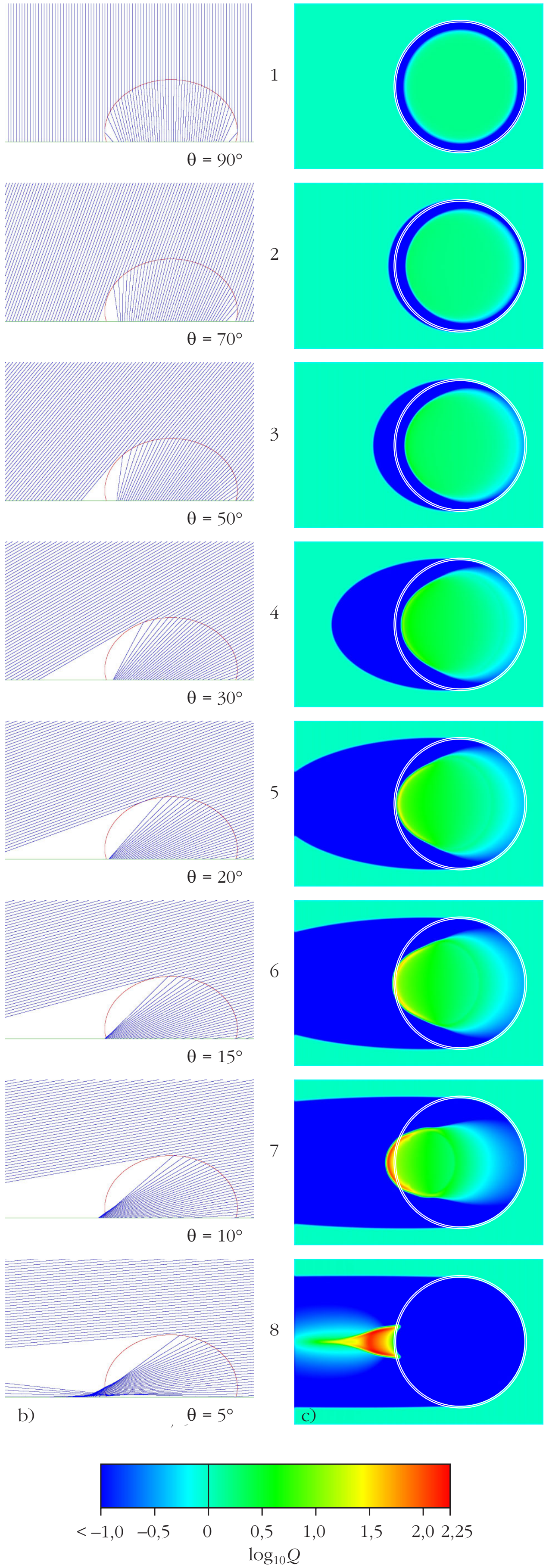
$$I^*(\theta) = \int_{400\ \mathrm{nm}}^{750\ \mathrm{nm}} A(\lambda)\, I_{Nap}(\lambda, \theta) \sin\theta\, d\lambda = a(\theta) \sin\theta. \qquad (10)$$

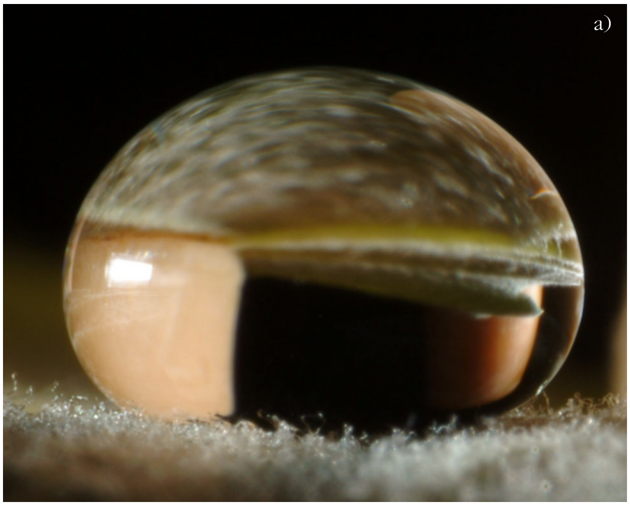
Így egy vízcseppes levél $I(\theta)/I^*(\theta) = Q(n, \theta)/\sin\theta$ -szor nagyobb intenzitást nyel el a fókusztartományban a cseppmentes esethez képest. A napfény $I_{Nap}(\lambda, \theta)$ spektrumait a MODTRAN (MODerate resolution TRANsmittance) légköroptikai számítógépes program 3,7-es verziójával számítottuk az 1976-USA normál légkörmodell mellett [13, 14]. Az $I_{Nap}(\lambda, \theta)$ megadja, hogy mennyi napenergia áramlik át egységnyi idő alatt, egységnyi felületen, egységnyi hullámhossztartományban (*7.a ábra*).

Számítógépes eredmények

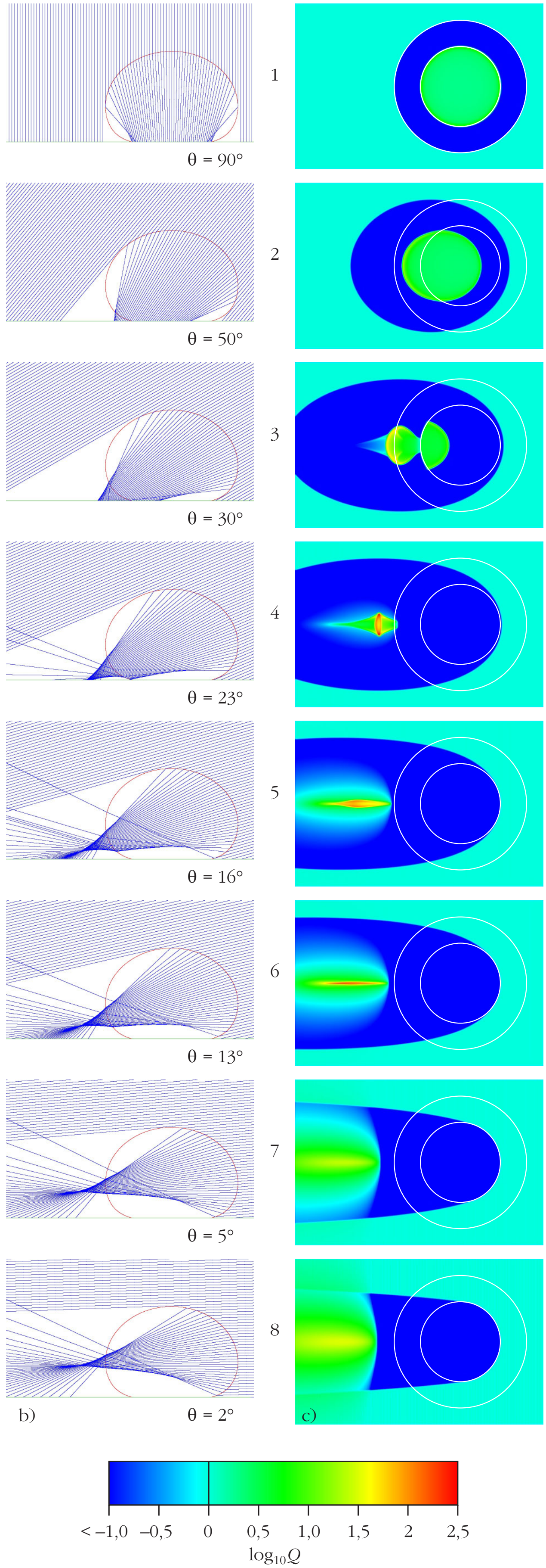
A *3.a ábrá*n egy tipikus vízcsepp látható vízszintes juharlevélen (*Acer platanoides*). E csepp eléggé lapos, mivel kicsi a nedvesítési szög ($\alpha < 90°$) a víz és a levél között. A *3.b ábra* a vízcsepp függőleges főtengelymetszetében haladó fénysugarakat mutatja a bejövő fénynyaláb θ szögének függvényében. A *3.c ábra* a vízcsepp *Q* fénygyűjtőképessége 10-es alapú logaritmusának eloszlását szemlélteti a levél vízszintes síkjában. A cseppnek köszönhetően $\theta < 50°$ esetén megjelenik egy sarló alakú árnyékos terület, ahol $\log_{10}Q < -1$. A $35° < \theta < 50°$ tartományban ez az árnyék azon körön belülre esik, ahol a csepp érintkezik a levéllel, míg ha $\theta < 30°$, akkor az árnyék nagy része kívül esik e körön a Nappal ellenkező oldalon (anti-Nap). $\theta < 10°$ mellett az árnyékos terület hosszan elnyúlik az anti-Nap felé.

A *3.c ábra* szerint adott θ mellett a levél vízszintes síkján a legmagasabb *Q* fénygyűjtőképességű pont és környezete – amit a továbbiakban fókusztartománynak hívunk – egy ellipszishez hasonló alakú terület. Ahogy θ csökken, Q_{max} nő. Mivel a fókusztartomány minden θ-ra a lapos csepp körvonalán belül marad, a vízcsepp minden esetben hűti a fókusztartományt. Másrészt egy ilyen lapos cseppre Q_{max} meglehetősen kicsi: A *6.a ábra* szerint, ha $\theta > 5°$, akkor $\log_{10}Q < 0{,}75$, azaz $Q < 5{,}6$.





5. ábra. Mint a *3. ábra,* de most egy vízszintes berkenyelevélen (*Sorbus aucuparia*) ülő vízcsepp esetén, ahol a vízcsepp és a levél érintkezési felületének kerületét a belső kör jelzi, míg a csepp peremét felülről nézve a külső kör mutatja.

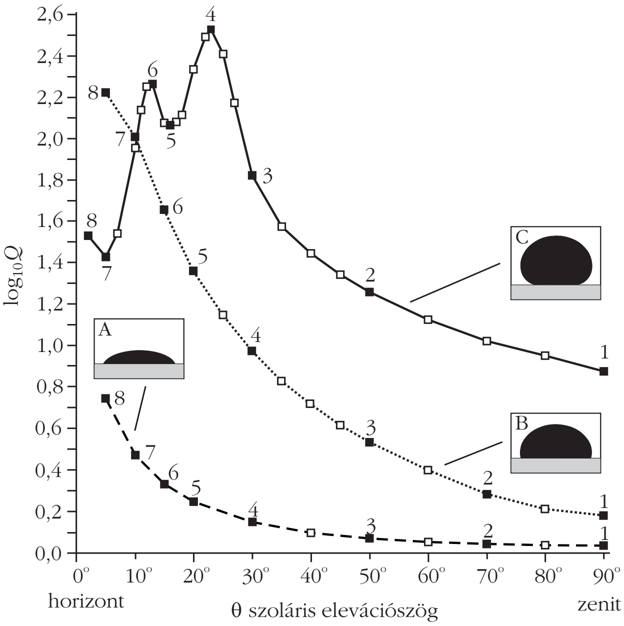


Ez azt jelenti, hogy a fókusztartományra a direkt napfényénél csak 5,6-szer nagyobb fényintenzitás esik. A vízhűtésnek köszönhetően, és mivel Q nagyon kicsi, a napégés esélye egy ilyen lapos csepp esetében elenyészően alacsony.

A *4.a ábra* egy vízszintes platánlevélen (*Platanus hybrida*) ülő vízcseppet mutat. E csepp megközelítőleg félgömb alakú, mert a nedvesítési szög majdnem derékszög ($\alpha \approx 90°$). A nagyobb görbületeknek köszönhetően e vízcsepp jobban összegyűjti a napfényt (*4.b ábra*), mint a *3. ábra* szerinti lapos csepp. Ezért az árnyékos terület $\theta > 60°$ esetén gyűrűszerű, ami $\theta < 60°$ mellett sarlószerűen kidudorodik a *4.c ábrá*n látható módon. Ha $\theta > 60°$, akkor az árnyék nagy része a csepp és a levél érintkezési felületének körén belülre esik, míg ha $\theta < 55°$, akkor az árnyék zöme e körön kívül, a csepp nappal ellenkező oldalán található. $\theta < 20°$ esetén az árnyék nagyon elnyúlik az anti-Nap felé.

Ahogy a *4.c ábrá*n látszik, a fókusztartomány a levélen szinte mindig sarló alakú. Ahogy θ csökken, Q_{max} nő. Mikor $\theta > 15°$, a fókusztartomány a csepp és a levél érintkezési felületének körén belül van, így a vízcsepp hűti e tartományt. $\theta < 15°$ mellett a fókusztartomány kívül esik e körön. Mivel ekkor nincs vízhűtés, és mert a fókusztartományban a legnagyobb a fényintenzitás, ezért a levél esetleg égési sérülést szenvedhet. Azonban Q_{max} csak mérsékelt értékeket vesz föl: A *6.b ábra* szerint $\theta > 5°$-ra $\log_{10}Q < 2{,}25$, azaz $Q < 177{,}8$. Tehát ekkor a fókusztartományra a direkt napfényénél nagyjából 178-szor nagyobb fényintenzitás esik. Egy ilyen félgömb alakú vízcsepp sokkal hatékonyabban gyűjti a napfényt, mint a *3. ábra* lapos cseppje, miáltal a napégés valószínűsége is nagyobb. Annak eldöntéséhez, hogy a direkt napfény intenzitásának 178-szorosa elegendő-e a levél beégéséhez, kísérletekre van szükség.

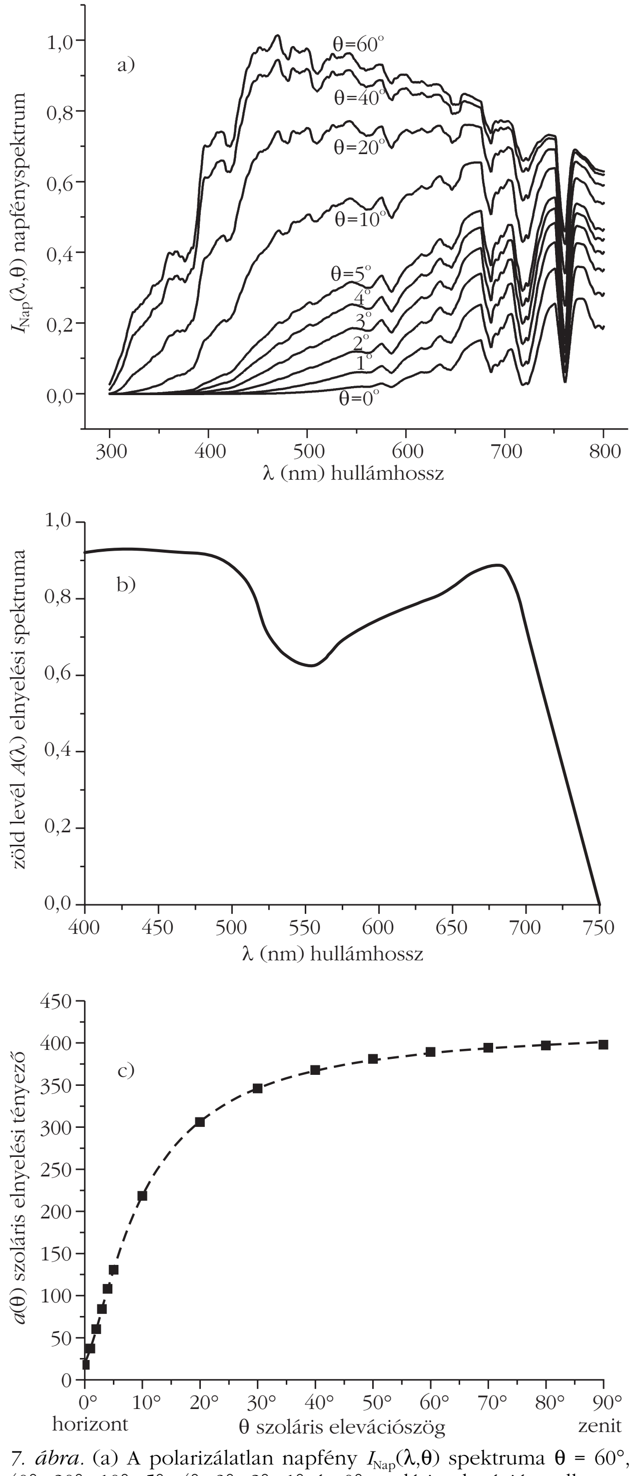
Az *5.a ábrán* egy vízszintes berkenyelevélen (*Sorbus aucuparia*) ülő vízcsepp látható. E csepp nagyon gömbölyű a nagy nedvesítési szög ($\alpha \approx 145°$) miatt, és



6. ábra. A *3., 4.* és *5. ábrá*k vízszintes levelein (A: juhar, B: platán, C: berkenye) ülő vízcseppek Q fénygyűjtőképessége 10-es alapú logaritmusa a beeső napfény horizonttól mért θ szögének (= szoláris eleváció, θ = 0°: horizont, θ = 90°: zenit) függvényében. A fekete alakzatok a cseppek függőleges főtengelymetszetét ábrázolják. A *3., 4., 5. ábrá*k 1., 2., …, 7., 8. soraihoz tartozó adatokat itt fekete négyzetek jelölik.

éppen ezért erősen megtöri és összegyűjti a napfényt (*5.b ábra*). A gyűrűszerű árnyékos terület θ > 50° esetén jelenik meg, míg ha θ < 40°, akkor az anti-Nap felé elnyúlik (*5.c ábra*). Mikor θ > 50°, az árnyék jelentős része a csepp és a levél érintkezési körén belülre esik, míg ha θ < 40°, akkor az árnyék fokozatosan kikerül e körből. θ < 23° mellett az érintkezési kör teljesen árnyékban van, és a rajta kívüli árnyékos rész jelentősen megnyúlik az anti-Nap irányában.

Az *5.c ábra* szerint a levélen a fókusztartomány ovális, ha θ > 50°. A fókusztartomány θ ≈ 30°-nál nyolcas alakot vesz föl, amelynek maximális fényintezitású része sarló alakú. θ ≈ 23° esetén a sarló alakú fókusztartomány merőleges az antiszoláris meridiánra, míg ha θ < 16°, akkor a fókusztartomány egy elnyújtott ellipszis, amelynek nagytengelye párhuzamos az antiszoláris meridiánnal. Ha θ > 50°, akkor a fókusztartomány nagy része a levéllemez és a vízcsepp érintkezési körén belül van, azaz a vízcsepp hűti a levelet. Viszont θ < 40° mellett a fókusztartomány kiesik e körből, és ezért a csepp nem hűti a levél legintenzívebb fényt kapó tartományát. Mindemellett a θ szoláris eleváció e szögtartományában éri a levelet a legnagyobb fényintenzitás, ezért nagyban megnő a beégés esélye. A *6.c ábra* szerint, ahogy a θ szoláris eleváció 90°-ról 0°-ra csökken, a gömbölyded vízcsepp fénygyűjtőképességének 10-es alapú logaritmusa először $\log_{10}Q$ = 2,55-ra nő, utána 2,05-ra csökken, majd ismét növekszik egészen 2,3-ig, majd lecsökken 1,4-re, végül újra elkezd nőni. Tehát $Q(\theta)$-nak két helyi maximuma van: $Q_{max1}(\theta = 23°)$ = 354,8, és $Q_{max2}(\theta = 13°)$ = 199,5. Mindez annyit jelent, hogy e két esetben a fókusztartományt a direkt napfényénél 355-ször és 200-szor nagyobb fényintenzitás éri.



7. ábra. (a) A polarizálatlan napfény $I_{Nap}(\lambda,\theta)$ spektruma θ = 60°, 40°, 20°, 10°, 5°, 4°, 3°, 2°, 1° és 0° szoláris eleváció mellett az 1976-USA normál légkörmodell alapján számítva. (b) Zöld növényi levél $A(\lambda)$ elnyelési spektruma, ami bab-, spenót-, fehérrépa- és dohánylevelek elnyelési spektrumának átlagolásával adódott [15]. (c) Zöld növényi levél $a(\theta)$ szoláris fényelnyelési tényezője a θ szoláris elevációszög függvényében.

Így a levél beégésének esélye az *5. ábra* vízcseppének jelenlétében sokkal nagyobb, mint a *3. ábra* lapos vagy a *4. ábra* félgömb alakú cseppje esetén. Azt, hogy a direkt napfény intenzitásának 200 vagy 355-szöröse elegendő-e a levelek sérüléséhez, csak kísérletekkel lehet eldönteni.

A *7.a ábra* a napfény $I_{Nap}(\lambda, \theta)$ spektrumát mutatja különböző θ szoláris elevációszögekre, míg a *7.b ábrá*n egy átlagos zöld levél $A(\lambda)$ fényelnyelési spektruma látható, ami a bab-, spenót-, fehérrépa- és dohánylevél elnyelési spektrumának átlagolásából származik [15]. E spektrumok fölhasználásával számítottuk ki az átlagos zöld levél

$$a(\theta) = \int_{400\ \mathrm{nm}}^{750\ \mathrm{nm}} A(\lambda)\, I_{Nap}(\lambda, \theta)\, \mathrm{d}\lambda$$

szoláris fényelnyelési tényezőjét, amely a *7.c ábrá*n látható. E mennyiség azért fontos, mert ennek segítségével tudjuk kiszámítani a zöld levél által elnyelt, vízcsepp által fókuszált

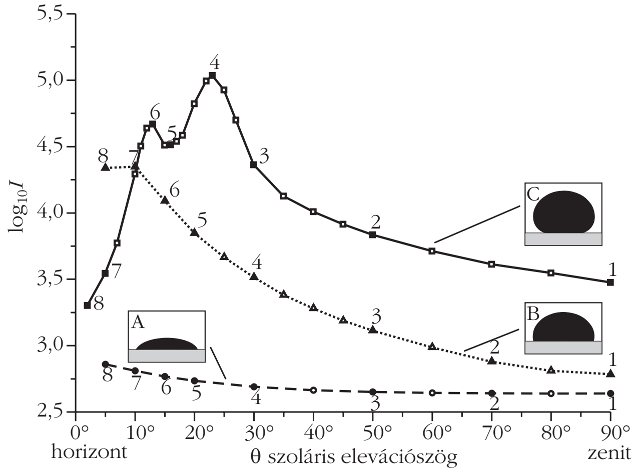
$$I(\theta) = Q(n_{víz} = 1{,}33,\ \theta)\ a(\theta)$$

fényintenzitást. A *6. ábra* $Q(n_{víz}, \theta)$ és a *7.c ábra* $a(\theta)$ függvényeinek fölhasználásával megkaphatók a *8. ábrá*n látható $I(\theta)$ függvények, amelyeket a vízszintes juhar-, platán- és berkenyelevélen ülő vízcseppekre számítottunk.

A juharlevélen laposan elterülő vízcsepp esetében, amint a θ szoláris elevációszög csökken, $I(\theta)$ monoton nő, de a $\log_{10} I$ nem haladja meg 2,85-ot (*8.a ábra*). Eszerint egy vízszintes juharlevelet a legnagyobb fényintenzitás naplementekor éri, amikor a Nap a horizonthoz közel tartózkodik. Ugyanez érvényes egy vízszintes platánlevélen ülő félgömb alakú vízcseppre, melyre $\log_{10} I = 4{,}37$, ha $\theta = 5°$ (*8.b ábra*). Tehát naplementekor a félgömb alakú vízcseppet tartó platánlevélre nagyjából $10^{4{,}37-2{,}85} = 10^{1{,}52} \approx 33$-szor nagyobb intenzitású fény jut a fókusztartományban, mint a lapos vízcsepp esetén (*8.a ábra*). Másrészt viszont a vízszintes berkenyelevélen ülő gömbölyű vízcsepp esetében az $I(\theta)$ függvénynek két helyi maximuma van: az egyik $\theta = 13°$-nál $\log_{10} I = 4{,}7$ maximumértékkel, a másik pedig $\theta = 23°$-nál $\log_{10} I = 5{,}1$ maximummal (*8.c ábra*). Tehát $\theta = 13°$ és $23°$ mellett e gömbölyű vízcseppnek köszönhetően a levelet $10^{4{,}7-2{,}8} = 10^{1{,}9} \approx 79$-szer és $10^{5{,}1-2{,}7} = 10^{2{,}4} \approx 251$-szer nagyobb fényintenzitás éri, mint a lapos vízcsepp esetén (*8.a ábra*).

A számítógépes modellezés eredményeinek elemzése

A *6.c* és *8.c ábrá*kon látható a vízszintes berkenyelevélen ülő gömbölyded vízcsepp Q fénygyűjtőképessége, és a csepp által fókuszált, levél által elnyelt I fényintenzitás. Mindkét görbének egy-egy maximuma van $\theta_1 = 13°$ és $\theta_2 = 23°$-os szoláris elevációnál. E két maximum optikai oka a vízcsepp asztigmatizmusa, ami azt jelenti, hogy a nem pontosan gömb alakú vízcsepp két különálló fókusztartománnyal bír: Az első ($\theta_1 = 13°$-nál, a csepptől távolabb) és a második ($\theta_2 = 23°$-nál, a csepphez közelebb) fókusztartomány rendre a vízcsepp vízszintes és függőleges főtengely-



8. ábra. $\log_{10} I$ a θ szoláris elevációszög függvényében, ahol $I = Q(n_{víz} = 1{,}33, \theta)\, a(\theta)$ a zöld levél által elnyelt fény intenzitása a vízcsepp fókusztartományában a *3., 4., 5. ábrá*k vízszintes juhar- (A), platán- (B) és berkenyelevelén (C) ülő vízcseppekre számítva. $Q(n_{víz} = 1{,}33, \theta)$ a vízcsepp fénygyűjtőképessége (*6. ábra*), $a(\theta)$ pedig a levél szoláris elnyelési tényezője (*7.c ábra*). A fekete alakzatok a vízcseppek függőleges főtengelymetszetét ábrázolják. A *3., 4., 5. ábrá*k 1., 2., …, 7., 8. soraihoz tartozó adatokat itt fekete négyzetek, háromszögek, körök jelölik.

metszetében haladó fénysugaraknak köszönhetően alakul ki. Ennek eredményeképpen az első és a második fókusztartomány az antiszoláris meridiánnal párhuzamosan, illetve arra merőlegesen elnyújtott. Mindez tisztán látszik az *5.c/6* ($\theta_1 = 13°$) és *5.c/4* ($\theta_2 = 23°$) *ábrá*kon.

A *6.* és *8. ábrá*kon jól látszik, hogy egy adott θ-nál minél víztaszítóbb a vízszintes levél (minél nagyobb a nedvesítési szög), annál nagyobb a rajta ülő vízcsepp felületének görbülete, és egyben a csepp fénygyűjtőképessége is (ha $\theta > 10°$). Egyszóval, minél inkább vízlepergető a levél, annál inkább fennáll a veszélye, hogy a levélen megtapadó vízcseppek a napfényt fókuszálva beégetik a növényt. Másrészről viszont, minél víztaszítóbb egy levél, annál könnyebben lepereg róla a víz, tehát csökken a napégés veszélye. Az eddigi eredményeink alapján a következőket szűrhetjük le:

- A napsütötte vízszintes növényi leveleken erősen megtapadó vízcseppeknek (a kis nedvesítési szögnek köszönhetően) kicsi a görbületük (így nem jelentős a fénytörőképességük), a fókusztartományuk mélyen a levéllemez alá esik (*3., 4., 6.a, 6.b, 8.a, 8.b ábrá*k), így nem okoznak égési sérüléseket a levélszövetben.
- Habár napsütésben a nagy fénytörőképességű gömbölyded vízcseppek fókusztartománya a szoláris eleváció széles tartományában közel esik a vízszintes levélfelülethez, s így égési sérüléseket okozhatnának a levélen (*5., 6.c, 8.c ábrá*k), e vízcseppek könnyen leperegnek a levélről, amelyek általában nem is vízszintes helyzetűek. Tehát e gömbölyded vízcseppek sem okoznak napégést a levélszövetben.
- Ennélfogva a vízcseppek által fókuszált napfény rendszerint nem képes beégetni a leveleket, függetlenül a cseppek alakjától, méretétől és a napállástól.

• Az egyetlen kivétel az, ha a vízcseppet víztaszító növényi szőrök tartják a levél felszíne fölött, miáltal a csepp fókusztartománya pontosan a levélre eshet. Cikkünk II. részében erre mutatunk egy konkrét példát.

• Nagyon hasonló következtetések vonhatók le azon két rokon biooptikai problémával kapcsolatban is, hogy (i) vizes bőrrel való napozáskor érheti-e hősérülés az emberi bőrt, és (ii) okozhatnak-e tüzet kiszáradt növényzetre tapadt napsütötte vízcseppek.

✧

Vizsgálatainkat az a közkeletű vélekedés inspirálta, hogy déli napsütésben nem szabad a növényeket öntözni, mert a leveleikre tapadt vízcseppek által fókuszált napfény megégetheti a leveleket. A föntiek és a cikkünk II. részében taglalt eredmények alapján azt mondhatjuk, hogy ez nem más, mint egy tévhit, mítosz. A *8.c ábra* alapján a beégés veszélye $\theta \approx 23°$-os szoláris elevációnál, délelőtt vagy délután a legnagyobb, nem pedig délben, amikor θ maximális (Magyarországon délben $\theta_{max} \approx 67°$). Fölmerül a kérdés: honnan ered e mítosz? A Világhálón a következő olyan magyarázatokat találtuk, amelyek nem a vízcseppek által fókuszált napfénnyel indokolják a növények égési sérülésekhez hasonló barna foltjait, viszont könnyen összefüggésbe hozhatók ezzel:

• Régi kertészeti tanácsnak számít, hogy a kertet soha se öntözzük napközben, mivel a virágok, különösen az egynyáriak könnyen tönkremehetnek, ha vizet kapnak, amíg teljesen nyitva vannak a szirmaik a nappali órákban. E sérülés fő oka inkább a súlyos vízcseppeknek a finom virágszirmokhoz való ütődése, mintsem az erős napfény. (http://www.bonsai4me.com/Basics/Basics%20Bonsai%20Myths%20Misting.htm).

• Napsütésben való locsoláskor a növények nem tudják az összes kiöntözött vizet hasznosítani, mivel a víz jó része elpárolog, és nem jut el a gyökerekhez. (http://forums.gardenweb.com/forums/load/pests/msg0712193332527.html?6).

• Annak két fő oka, hogy napközben, főleg pedig délután nem szabad locsolni a növényeket, az, hogy a szelek délután a legerősebbek, és a víz párolgása is ekkor a leggyorsabb a délutáni nagy hőségben. A párolgás a leghidegebb napszakban, kora reggel a leglassúbb. A legszélcsendesebb napszak általában ugyancsak a reggel. Így kora reggel érdemes öntözni, mert ekkor a kilocsolt víz túlnyomó részét a növények hasznosítják a hűvös és szélcsendes időbeni minimális párolgási veszteségnek köszönhetően. (http://www.cahe.nmsu.edu/ces/yard/1999/062899.html).

• Annak egyik oka, hogy kora reggel érdemes öntözni, az, hogy habár napközben a növények nedves levelei megszáradnak, de a mélyebb talajrétegekben hosszabb ideig megmarad a víz. A levelek szárazon maradása jelentősen csökkenti a gombásodás veszélyét. Mindezt azzal is elősegíthetjük, hogy nem locsolunk minden nap. Ha vízzel jó mélyen átáztatjuk a talajt, akkor nem szükséges naponta öntözni, és a gombák is csak kevésbé képesek megfertőzni a növényeket. (http://www.cahe.nmsu.edu/ces/yard/1999/062899.html).

Vajon az emberi bőrön megtapadt vízcseppek jelentenek-e veszélyt napozás közben? Ezt tételezi fel sok bőrgyógyászati és kozmetikai honlap. Ha a bőr nem zsíros, akkor a nedvesítési szög a bőr és a víz között viszonylag kicsi, a bőrre tapadt vízcsepp lapos, ezért a fókusztartománya mélyen a bőr alá esik, így a bőrégés veszélye kizárható. Bár az ultraibolya (UV) sugárzás felerősödik a vízcsepp fókuszálása által, s így növelheti a bőrrák kialakulásának esélyét, a napfény UV összetevőjének egy részét a víz elnyeli, miáltal a bőrhöz tapadt vízcseppek még védelmül is szolgálhatnak a veszélyes UV-sugárzás ellen. E probléma tehát meglehetősen bonyolult, és a jövőben érdemes lenne kísérletekkel tanulmányozni. Ugyanakkor, ha a bőr zsíros – például naptejjel van bekenve –, akkor a rajta ülő vízcseppek a nagy nedvesítési szög miatt gömbölyűek, ezért könnyen le is peregnek, miáltal az általuk fókuszált napfény miatti égési bőrsérülés esélye minimális.

Cikkünk II. részében megmutatjuk, hogy víztaszító levélszőrök által tartott napsütötte vízcseppek okozhatnak égési sérüléseket a levélen, ha a fókusztartomány pont a levélre esik. Ehhez hasonló a helyzet, mikor emberi szőrzet tart vízcseppeket a bőr fölött: ha a cseppek fókusztartománya a bőrre esik, akkor a nagy intenzitású fókuszált fény (UV-összetevővel vagy anélkül) károsíthatja a bőr szöveteit. Ennek persze az a feltétele, hogy a napozó személy ne mozogjon, hiszen máskülönben a szőréhez tapadt vízcseppekre mindig máshonnan érkezik a napfény, ami azt eredményezi, hogy a cseppek fókusztartománya mindig a bőr más részeire kerül. Ezek alapján az emberi bőrhöz tapadt napsütötte vízcseppek miatti égési sérülésekkel kapcsolatos vélemények egészséges szkepszissel kezelendők.

Teljesen hasonló jelenség fordul elő, amikor eső után vízcseppek tapadnak a kiszáradt növényzethez, például szalmához, szénához, avarhoz vagy száraz fűhöz. Ha egy vízcsepp fókusztartománya a száraz növény felszínére kerül, akkor az intenzív napfény elvileg okozhat tüzet. Viszont eső után az eredetileg száraz növényzet nedvessé válik, és míg újra kiszárad, a vízcseppek is elpárolognak. Így a száraz növényi részekhez tapadt napsütötte vízcseppek okozta erdőtüzekkel kapcsolatos véleményeket ennek megfelelő kritikával érdemes kezelni.

Irodalom

1. R. DesCartes: *Oeuvres de Des Cartes. La Géometrie.* Livre 2, J. Maire, Leyden, 1637.
2. G. B. Airy: On the intensity of light in the neighbourhood of a caustic. *Transactions of the Cambridge Philosophical Society 6* (1838) 379–403.
3. V. Khare, H. M. Nussenzweig: Theory of the rainbow. *Physical Review Letters 33* (1974) 976–980.
4. H. M. Nussenzweig: The theory of the rainbow. *Scientific American 236* (1977) 116–127.
5. G. P. Können, J. H. de Boer: Polarized rainbow. *Applied Optics 18* (1979) 1961–1965.
6. R. T. Wang, H. C. van de Hulst: Rainbows: Mie computations and the Airy approximation. *Applied Optics 30* (1991) 106–117.
7. R. L. Lee: Mie theory, Airy theory, and the natural rainbow. *Applied Optics 37* (1998) 1506–1519.

8. Cserti J.: A szivárvány fizikája: esőcseppek fényszórási jelenségei. I., II., III. rész. *Fizikai Szemle 55* (2005) 297–302, 349–355, 422–427.
9. M. F. Land, D.-E. Nilsson: *Animal Eyes.* Oxford University Press, Oxford, UK, 2002, p. 221.
10. W. S. Jagger: The optics of the spherical fish lens. *Vision Research 32* (1992) 1271–1284.
11. R. H. H. Kröger, M. C. W. Campbell, R. D. Fernald, H.-J. Wagner: Multifocal lenses compensate for chromatic defocus in vertebrate eyes. *Journal of Comparative Physiology A 184* (1999) 361–369.
12. Á. Egri, Á. Horváth, G. Kriska, G. Horváth: Optics of sunlit water drops on leaves: conditions under which sunburn is possible. *New Phytologist* (2009) doi: 10.1111/j.1469-8137.2009.03150.x
13. COESA: *U. S. Standard Atmosphere.* U. S. Government Printing Office, Washington, D.C. 1976.
14. A. Barducci, F. Castagnoli, D. Guzzi, P. Marcoionni, I. Pippi, M. Poggesi: Solar spectral irradiometer for validation of remotely sensed hyperspectral data. *Applied Optics 43* (2004) 183–195.
15. R. A. Moss, W. E. Loomis: Absorption spectra of leaves. I. The visible spectrum. *Journal Paper number* J-2017 *of the Iowa Agricultural Experiment Station, Project* 1139, pp. 370–391. (1951)

ADATMINŐSÍTÉS AZ ORVOSI ESZKÖZFEJLESZTÉS SZOLGÁLATÁBAN

Dani Árpád – Vaszary Kolos Kórház, Esztergom
Tóth Eszter, Kovács Anna, Kovács Izolda, Berta Katalin – Ifjúsági Kutató, Vác

Természeti folyamatokban csaknem mindig szerepet kapnak valószínűségi változók. Ez ahhoz vezet, hogy a mért adatok ingadoznak, egy várható érték körül szórnak. Ezért azonos körülmények mellett végzett nagyszámú kísérletben nyert adatokból általában kiszámolják az aritmetikai átlagot és az empirikus szórást, amelyek a várható értékre, illetve a szórásra adnak becslést. Ha az adatok normális (Gauss-) eloszlásúak – vagy normális eloszlással jól közelíthető eloszlásúak –, akkor e két mennyiség megadása elegendő. Pusztán e két érték azonban félrevezető lehet akkor, ha az adatok nem normális eloszlást mutatnak.

Az, hogy a mért adatsor nem normális eloszlású, gyakran fordul elő a biológiai, orvosi gyakorlatban, de még a CERN-ben végzett mérések esetében is. Ezért a CERN-ben egy-egy kísérlet nagyszámú adatának részletes értékelése előtt rutinszerűen meghatározzák az átlagon és szóráson *kívül* például az eloszlás *ferdeségét* is. A ferdeség, amelynek kiszámolásához az MS Excel is felajánl beépített függvényt, azt mutatja meg, hogy milyen mértékben tér el az eloszlás a szimmetrikus (normál) eloszlástól. Értéke negatív, ha az átlagnál kisebb értékekből van több adat, pozitív, ha az átlagosnál nagyobb értékekből van több adat, mint szimmetrikus eloszlás esetén. (A matematikai statisztikában a ferdeség lényegében a harmadik centrális momentummal hozható kapcsolatba, ami az átlagtól való eltérések köbeinek összegével arányos.)

Egy gyakran előforduló „ferde” eloszlás az úgynevezett *lognormális* eloszlás. Egy véletlen mennyiség akkor lognormális eloszlású, ha a mért értékek logaritmusai követnek normális eloszlást. A valószínűségi sűrűségfüggvény alakja tehát:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\, x \sqrt{2\pi}}\, \exp\left[-\frac{(\ln x - m)^2}{2\,\sigma^2}\right]. \qquad (1)$$

Ilyen eloszlás akkor jön létre, ha a mért paraméter nagyon sok, egymástól független véletlen mennyiség szorzataként állítható elő.

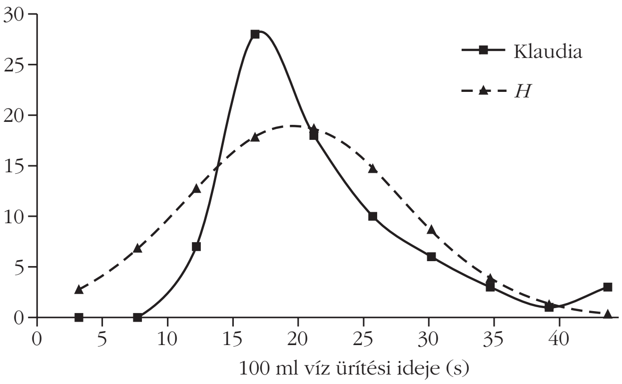
A természettudományban nagyon sok területen tapasztaltak lognormális eloszlású mennyiségeket. A fertőző betegségek lappangási ideje szerint a betegek száma, a virágok mérete szerint azok gyakorisága, a hidroxi-metil-furfurol koncentrációja szerint a különböző kaptárokban gyűjtött méz, de még egy regény mondataiban a szavak száma, vagy országonként az éves családi bevétel szerint a családok száma mind-mind inkább követnek lognormális eloszlást, mint normális eloszlást [1]. A *Fizikai Szemlé*ben pedig a lakótéri radonszintek eloszlásának jellemzésekor találkozhattunk a lognormális eloszlással [2]. Feltételezhető, hogy a felsorolt esetek mindegyikében nagyon sok, egymástól független változó befolyásolja a mérési eredményeket. Ennek szigorú bizonyítása azonban eddig egyik esetben sem történt meg.

Ha egy adatsor jó közelítéssel lognormális, akkor annak jellemzésére a lognormális eloszlás két paramétere: m és σ, és ezek konfidencia-intervallumai használhatók. E paraméterek azonban az általános orvosi gyakorlatban nem eléggé szemléletes fogalmak.

Cikkünkben egy urológiai szabadalmat jelentő új katéter tervezésében felhasznált mérési eredmények értékelési folyamatával azt mutatjuk meg, hogyan lehet orvosi szempontból lényeges kérdésekre szemléletesen értelmezhető válaszokat kapni a lognormális eloszlás m és σ paramétereinek ismeretében.

Az új orvosi eszköz

Az urológia történetében először jutott a megvalósítás fázisába egy olyan katéter, amely egy, a testben teljes egészében elbújtatott protézis (Dani Árpád MSz: P 08 00419 szabadalma). Lényeges eleme a könnyen működtethető szelep, amellyel a beteg akaratlagosan, a neki megfelelő időben üríthet. E katéter tervezésekor olyan szelepet kerestünk, amely a beteg komfortérzése érdekében viszonylag rövid ürítési időt tesz lehetővé. Prototípus szelepek készültek, amelyeken termé-



1. ábra. Klaudia által elvégzett kísérletekben az ürítési idők mért értékei (vastagon kihúzott vonal) nem követnek normális eloszlást. A szaggatott vonallal (*H*) megrajzoltuk azt a normális eloszlást, amelynél az aritmetikai átlag (19,7 s) és a szórás (8,4 s) ugyanazon értékek, mint Klaudia méréssorozatánál. A ferdeség a normális eloszlás esetében (természetesen) 0, a valódi mérési adatoknál 1,5. (A függőleges tengelyen azon esetek számát tüntettük fel, amelyeknél az ürítési idő az adott időpillanatot megelőző 4,5 másodperc időintervallumban van.)

szetes körülményeket szimulálva mértük 100 ml víz átfolyási idejét.

A testbe ültethető eszköz anyaga csak az orvosi szabványoknak megfelelő műanyagtípus lehet, esetünkben különböző szerves gyököket tartalmazó szilikon. A szerves gyökök arányának megválasztásával változtatható az anyag keménysége. A vizsgált katéter szelepe a katéter csövében elhelyezett háztető alakú képződmény, amelyet a háztető gerince mentén felhasítottak. A szelepet a tetőgerinccel párhuzamosan ható nyomóerő nyitja. Alapállapotban a szelep-háztetőre a hólyag irányából körülbelül 10^4 Pa többletnyomás hat, amely a két tetőt a gerinc mentén összeszorítja. Ekkor a szelep zárt állapotban van. A szelep nyitását a beteg végzi két ujjával, a szelepet a megfelelő irányból összenyomva. Ekkor, a működtetés megkezdésétől, igen sok véletlen mennyiség befolyásolja az eszköz viselkedését, az ürítési idő nagyságát.

Ha egy orvosi eszköz a beteg aktív részvételével működtethető, akkor az eszköz eredményes működését jellemző mennyiség szükségszerűen véletlen mennyiség lesz, amelynek eloszlása nem szükségszerűen normális eloszlás. Jó esetben az eloszlás valamely ismert eloszlásfüggvénnyel közelíthető, amely feltételezés hipotézisteszttel megvizsgálható.

Kísérletek

A vizsgálat tárgyai szelepek és katéter-prototípusok voltak. A szelepekből 10-10 darab Sh°40 és Sh°60 keménységű szelep készült el. (Az Sh°40 lágyabb, az Sh°60 keményebb szilikon.) A katéter prototípusa két azonos példányban készült, mindkettő szelepe Sh°60 szilikonból.

Minden kísérletben 100 ml víz átfolyási idejét mértük. Ebből következtettünk a szokásos, körülbelül 300 ml ürítésére.

A szelepek esetében a szelepháztetőre gyakorolt többletnyomásnak állandó, 10^4 Pa nyomást biztosítottunk. A katéter-prototípusoknál a többletnyomás 10^4 Pa, illetve $5 \cdot 10^3$ Pa volt.

A szelepnyitást minden egyes kísérleti elrendezésben öt személy végezte el, a szelepek esetén 50, a katéter-prototípusoknál 90 alkalommal, azonosnak tekinthető körülmények között.

Statisztikai eljárások

A különböző anyagú szelepek, illetve az elkészült katéter-prototípusok átfolyási idő szempontjából történő jellemzéséhez és összevetéséhez igen sok (több ezer) mérés statisztikai értékelését végeztük el.

Az *1. ábrá*n Klaudia[1] által elvégzett mérések eredményeinek eloszlása látható. Az eloszlás ferdesége 1,5, ami azt jelentette számunkra, hogy az eloszlást nem kezelhetjük normális eloszlásként. E valódi adatok átlagával és szórásával azonos átlagot és szórást mutató normális eloszlás grafikonja az ábrán a *H* jelű görbe. Jól látható, hogy a valódi (aszimmetrikus) eloszlásnál lényegesen többször fordul elő a beteg komfortérzését bántó, hosszabb ürítési idő, mint amikor az eloszlás ugyanazon átlaggal és szórással normális eloszlású lenne.

Vizsgálatunkban egyetlen méréssorozatot sem találtunk, amelyet normális eloszlásúnak lehetett volna elfogadni. Ugyanakkor a mérési eredmények megfelelően választott csoportjainál a Kolmogorov-teszt α = 0,05 szignifikanciaszint választása mellett nem utasította el azt a hipotézist, hogy az eloszlás lognormális, azzal a hipotézissel szemben, hogy az eloszlás nem lognormális.[2]

A lognormális eloszlást – mint fentebb írtuk – két paramétere: m és σ meghatározza. Ha az ürítési idő lognormális eloszlású, akkor annak a valószínűsége, hogy az ürítési idő egy megadott x időnél nem tart tovább:

$$P(\xi \le x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^x \frac{1}{u} \exp\left[-\frac{(\ln u - m)^2}{2\sigma^2}\right] \mathrm{d}u \qquad (2)$$

(A P kiszámolásához is ad az MS Excel beépített függvényt.)

[1] A cikk szerzői közül hárman – K. A., K. I., B. K. a váci Ifjúsági Kutató 11. osztályos diákjai – részt vettek a kísérletek tervezésében, szervezték és társaik bevonásával ők kivitelezték a több ezer mérést. Egyik társuk *Klaudia*.

[2] A statisztikai hipotézistesztek azt ellenőrzik, hogy egy adatsor eloszlása mennyire illeszthető egy intuitíven megválasztott eloszlásfüggvényhez. Az ilyen tesztek egyikét dolgozta ki *Kolmogorov*. Az α = 0,05 szignifikanciaszint azt jelenti, hogy 5% valószínűséggel tévedünk, ha az eloszlásról azt állítjuk, hogy az a hipotetikus eloszlásfüggvényünket követi. Ezt egyszerű emberként úgy is mondhatnánk, hogy a tapasztalt eloszlást 95% valószínűséggel „jól eltaláltuk” a hipotézisünkkel. De *Ronald Aymler Fischer* (1890–1962), a matematikai statisztika egyik alapítója óta egy matematikai statisztikával foglalkozó személy nem azt mondja, hogy „elfogadta” a hipotézist, hanem azt, hogy „nem utasította el”. Noha a köznapi életben a két idézőjelbe tett kifejezést egyenértékűnek érezzük, utóbbi használata azt jelzi, hogy a véletlen mennyiségek világában soha nem lehetünk „teljes bizonyosságban”.

A lognormális eloszlás paramétereinek becslésére maximum likelihood módszert használtunk, amely szerint az m paramétert a logaritmusok átlaga, a σ paramétert pedig a logaritmusok empirikus szórása jól közelíti:

$$m' = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} \ln x_k, \qquad (3)$$

$$(\sigma')^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{k=1}^{n} \left(\ln x_k - m'\right)^2 .$$

Az adatokhoz legjobban illeszkedő lognormális függvény ismeretében könnyen kiszámítható, hogy az esetek hány százalékában várható az ürítési idő egy adott érték alatt, felett, vagy egy adott időintervallumban.

Bootstrap-eljárással [3] meghatároztuk az m és σ paraméterek 95%-os konfidencia-intervallumait. Ez azt jelentette, hogy az n elemű adatcsoportból visszatevéses mintavétellel N (= 5000) db új, egyenként n elemszámú mintát képeztünk (*resampling*). Meghatároztuk minden egyes új mintára a lognormális eloszlás m_j' és σ_j' paramétereit. Ezek aritmetikai átlaga a vizsgált méréscsoportban az átfolyási idők eloszlását jellemző m és σ paraméterek becsült értékei. Az m és σ várható értékeket lefedő konfidencia-intervallumokat pedig a

$$\left(m_b' - \frac{\overline{\sigma_m}}{\sqrt{N}}\, t_\alpha ,\; m_b' + \frac{\overline{\sigma_m}}{\sqrt{N}}\, t_\alpha \right)$$

és a (4)

$$\left(\sigma_b' - \frac{\overline{\sigma_\sigma}}{\sqrt{N}}\, t_\alpha ,\; \sigma_b' + \frac{\overline{\sigma_\sigma}}{\sqrt{N}}\, t_\alpha \right)$$

képletekkel határoztuk meg, ahol $\overline{\sigma_m}$ az m_j', a $\overline{\sigma_\sigma}$ pedig a σ_j' (j = 1, …, N) paraméterek korrigált tapasztalati szórása, t_α pedig a standard normál eloszlásnak a 95%-os konfidenciaszinthez tartozó értéke.

Mivel a konfidencia-intervallum egyetlen részintervalluma sem részesíthető előnyben a többivel szemben, ezért a konfidencia-intervallumokból véletlenszerűen választottunk N (= 1000) darab m_i és σ_i értékpárt. Majd ezekkel a paraméterekkel kiszámítottuk, hogy az esetek hány százalékában várható, hogy 100 ml víz ürítése egy előre megadott t időnél hosszabb idő alatt történik. Azt a számot, amely megadja, hogy az esetek hány százalékában várható, hogy a 100 ml víz ürítése meghaladja a t időtartamot, röviden *ürítési index*nek nevezzük, és RI_t-vel jelöljük. Az N elemű „ürítési index” minta átlagát ($\overline{RI_t}$) és szórását ($\overline{\sigma_t}$) tekintjük a vizsgált méréscsoport ürítési indexének, illetve hibájának:

$$RI_t = \overline{RI_t} \pm \overline{\sigma_t}. \qquad (5)$$

Az ürítési index a betegre *és* a katéterre – illetve a kísérletezőre *és* a katéterszelepre – egyszerre jellemző számadat. Az ürítési index annál kisebb érték, minél jobb a katéter áteresztőképessége, ami részben a katéter és főként szelepének szerkezetén és megmunkálásán, másrészt a szelepet kezelő személyen múlik.

1. táblázat

Két különböző keménységű (Sh°40 és Sh°60) anyagú szelep, szelepenként 50 alkalommal mért ürítési idők 300 ml folyadék ürítésére vonatkoztatva

szelepszám	átlag (s)	szórás (s)	m	σ	ürítési idő (perc) < 1	1–2	> 2
szelepanyag: Sh°40							
1	118	40	3,98	0,30	2%	57%	41%
2	95	30	3,75	0,28	7%	76%	17%
3	109	29	3,91	0,25	1%	68%	30%
4	64	16	3,33	0,22	44%	56%	0%
5	101	22	3,84	0,20	1%	83%	16%
6	107	39	3,86	0,37	8%	61%	32%
7	80	29	3,56	0,27	18%	77%	5%
8	117	39	3,96	0,36	4%	54%	41%
9	128	33	4,09	0,27	0%	45%	55%
10	93	33	3,71	0,32	11%	73%	16%
szelepanyag: Sh°60							
1	67	16	3,37	0,25	38%	58%	4%
2	52	10	3,11	0,19	80%	20%	0%
3	59	19	3,22	0,31	58%	41%	1%
4	62	16	3,29	0,20	49%	51%	0%
5	57	25	3,16	0,36	63%	36%	1%
6	44	11	2,93	0,22	93%	7%	0%
7	49	8	3,07	0,15	92%	8%	0%
8	47	9	3,01	0,18	93%	7%	0%
9	48	8	3,04	0,16	93%	7%	0%
10	44	6	2,94	0,13	99%	1%	0%

Az oszlopokban rendre az aritmetikai átlag, standard deviáció, a lognormális eloszlás két paramétere (m és σ), valamint az, hogy az esetek hány százalékában várható 1 percen belül, 1 és 2 perc között, illetve 2 percen túl a 300 ml víz ürítése.

Eredmények

A két különböző keménységű 10–10 szelep 500–500 mérési eredményét együtt kezelve a lognormalitásra vonatkozó hipotézist a Kolmogorov-teszt elutasítja. Szelepenként külön-külön azonban egyik esetben sem utasítja el a Kolmogorov-teszt a lognormális eloszlás feltevését. Az *1. táblázat* összesíti az eredményeket. A szelepek sorszámát követő két oszlopban az átlag és a standard deviáció található (amelyek a nem-normális eloszlás miatt esetünkben *nem használható* jellemzők). A következő két oszlopban a lognormális eloszlást jellemző m és σ paramétereket tüntettük fel. Ezek viszont a gyakorló orvos számára idegen mennyiségek. Az utolsó három oszlopban a 300 ml víz ürítésére vonatkozóan az látható, hogy az egyes szelepek az esetek hány százalékában tesznek lehetővé 1 percen belüli, 1 és 2 perc közötti, illetve 2 percen túli ürítést. *E három oszlopban bemutatott eredmények mutatták meg az orvostervezőnek, hogy a szelep anyagául az Sh°60 keménységű szilikont érdemes választania.*

2. táblázat

A két katéter-prototípuson (A és B katéter) két különböző nyomáson (100: 10^4 Pa és 50: $5\cdot10^3$ Pa) végzett ürítési időmérések eredményei

mérés jele	átlag (s)	szórás (s)	m	σ	< 45 s	45–60 s	> 60 s	RI_{45}	RI_{60}
A100 – I	46	4	3,82	0,08	42%	58%	0%	58 ± 5	0 ± 0
A100 – II	48	5	3,87	0,09	25%	74%	1%	75 ± 4	1 ± 0
A100 – III	44	5	3,78	0,11	59%	41%	0%	41 ± 5	0 ± 0
A100 – IV	44	4	3,78	0,09	63%	37%	0%	37 ± 5	0 ± 0
A100 – V	41	3	3,72	0,07	88%	12%	0%	12 ± 3	0 ± 0
B100 – I	43	3	3,76	0,08	72%	28%	0%	28 ± 4	0 ± 0
B100 – II	44	5	3,77	0,11	63%	37%	0%	37 ± 5	0 ± 0
B100 – III	40	3	3,68	0,07	96%	4%	0%	4 ± 2	0 ± 0
B100 – IV	44	7	3,77	0,16	60%	38%	2%	40 ± 5	2 ± 1
B100 – V	44	5	3,78	0,12	60%	39%	0%	40 ± 5	1 ± 0
A50 – I	55	5	4,00	0,09	2%	84%	14%	98 ± 1	14 ± 3
A50 – II	52	6	3,95	0,11	10%	81%	9%	90 ± 3	9 ± 2
A50 – III	54	8	3,98	0,14	11%	68%	21%	89 ± 3	21 ± 4
A50 – IV	52	5	3,95	0,09	7%	88%	5%	93 ± 2	5 ± 2
A50 – V	52	4	3,96	0,08	3%	93%	5%	97 ± 1	5 ± 1
B50 – I	55	4	4,01	0,08	1%	86%	13%	99 ± 0	13 ± 3
B50 – II	53	7	3,97	0,12	9%	74%	16%	91 ± 3	16 ± 4
B50 – III	56	6	4,01	0,11	3%	74%	23%	97 ± 1	23 ± 4
B50 – IV	54	4	3,99	0,07	1%	92%	7%	99 ± 0	7 ± 2
B50 – V	56	4	4,02	0,07	0%	87%	13%	100 ± 0	13 ± 3

A méréseket öt személy végezte, jelük római számok. Az oszlopokban rendre az aritmetikai átlag, az empirikus szórás, a lognormális eloszlás két paramétere (m és σ), valamint az, hogy az esetek hány százalékában várható 45 másodpercen belül, 45 és 60 másodperc között, illetve 60 másodpercen túl a 300 ml víz ürítése. Az utolsó két oszlopban a 45 másodpercre és a 60 másodpercre vonatkoztatott ürítési index és hibája van feltüntetve.

Két egyforma katéter-prototípus készült el. (Mindkettő szelepnyílását, azaz a háztető gerincének felvágását az előzőekben vizsgált szelepeket vágó eszköznél precízebben megmunkált szerszámmal nyitotta meg a gyártó.) Mind a két katéter-prototípussal 5 személy, személyenként 90 alkalommal ürített 100 ml vizet 10^4 Pa, illetve $5\cdot10^3$ Pa állandó nyomás mellett. Az egyenként 450 mérési eredmény lognormális eloszlásának hipotézisét mind a két katéter-prototípusnál mind a két nyomásérték mellett a Kolmogorov-teszt elutasította. A mérési adatoknak a *mérést végző személyekre lebontott csoportjaiban* azonban, kivétel nélkül, a Kolmogorov-teszt nem utasította el a lognormalitás feltételezését. Ez azt is mutatja, hogy a humán paramétereknek jelentős szerepe lehet az eloszlás kialakulásában.

A 300 ml víz ürítésére vonatkozó összesített eredményeket a *2. táblázat* foglalja össze. A *2. táblázat*ból az orvos számára jól értelmezhető eredmények, hogy

- 10^4 Pa többletnyomás mellett mindkét elkészült katéter-prototípussal minden páciens az esetek közel 100%-ában képes 1 percen belül üríteni a 300 ml vizeletet,
- ha a hólyag valamely kóros elváltozása miatt a többletnyomás csupán $5\cdot10^3$ Pa, akkor a páciensek még mindig képesek lesznek az eseteknek legalább 75%-ában egy percen belül végezni az ürítést,
- az ürítés nagymértékben függ a páciens „ügyességétől”, pillanatnyi mentális állapotától, tehát az eszköz használatára pszichésen is fel kell készíteni a beteget.

Összefoglalás és általánosítás

Mérési eredmények értékelésénél megvizsgálandó, hogy az adatsorok normális eloszlást követnek-e. Ha igen, akkor az aritmetikai közép és az egy-, két-, háromszoros szórás ismeretében kisebb-nagyobb biztonsággal el lehet dönteni, hogy a mérési eredmények a különböző vizsgálatokban különböző eredményre vezettek-e.

Ha a mérési adatok aszimmetrikus, esetünkben a tapasztalat szerint jó közelítéssel *lognormális eloszlást követnek, akkor* az aritmetikai átlag és a standard deviáció helyett *a lognormális eloszlás két paraméterével (m és σ) jellemezhető az eloszlás. Ebben az esetben a felhasználó orvos olyan kérdéseire lehet választ adni, hogy egy megadott értéknél nagyobb vagy kisebb eredmény az eseteknek hány százalékában várható. És nem csupán megválaszolható az a kérdés, hogy egy adott érték meghaladásának mekkora a valószínűsége, de az is, hogy e valószínűségnek mekkora a hibája* (esetünkben az ürítési index és annak hibája).

A lognormális eloszlás a tapasztalat szerint elsősorban olyan mérési eredmények esetében mutatkozik, ahol a mért mennyiségek kialakulásában az élő anyagnak is szerepe van. (Méhek gyűjtötte méz, virágok mérete, a lakótér radonszintje, ember működtette katéter átfolyási ideje stb.) *Ennek talán az élő anyag rendkívüli komplexitása az oka. Azon orvosi eszközök alkalmazásakor, amelyek a betegek aktív közreműködését igénylik, a jellemző mennyiségek,* (mint esetünkben az ürítési idő) *várhatóan lognormális eloszlásúak. Így az orvos számára jól értelmezhető válaszokat adhatunk a fenti eljárással.*

Irodalom

1. E. Limpert, W. Stahel M. Abbt: Log-normal Distributions across the Sciences: Keys and Clues. *BioScience 51/5* (2001) 341–352.
2. Tóth E., Hámori K.: A lakótéri radonszint eloszlásáról. *Fizikai Szemle 55/11* (2005) 375.
3. Efron B.: Bootstrap Methods: Another Look in the Jackknife. *The Annals of Statistics 7/1* (1979) 1–26.

EPIZÓDOK MADAME CURIE ÉLETÉBŐL

Martinás Katalin, Radnóti Katalin
ELTE TTK Fizikai Intézet

A *Fizikai Szemle* hasábjain [1] bepillantást nyerhettek az olvasók *Marie Curie* munkásságába, különös tekintettel annak kezdetei szakaszára. Marie Curie volt az első nő, aki Franciaországban doktori címet nyert, az első nő, aki egyetemi professzori kinevezést kapott, az első női Nobel-díjas, ő volt egyben az első nő is, akit elfogadtak jelöltnek a Tudományos Akadémia tagságára a IV. osztályban. Végül ő volt az első nő, akit saját jogán a Pantheonban helyeztek el. Marie és *Pierre Curie*-t 1995. április 20-án helyezték el a Pantheonban. Marie Curie a második nő, azonban az első nő, *Marcelin Berthelot* (1827–1907) a feleség jogán került oda. 2005-ben a franciák a 4. helyen minden idők egyik legnagyobb franciájává választották Marie Sklodowska-Curie-t (az 1. helyre *de Gaulle* tábornokot tették).

Jelen írásunkban elsősorban a tudós asszony teljesítményének néhány magánéleti vonatkozására koncentrálunk, annak néhány érdekes elemét ragadjuk ki, mivel fontosnak tartjuk a női kutatói sorsok bemutatását a lap hasábjain.

A lengyelországi évek

Maria Skłodowska az akkor még az Orosz Birodalomhoz tartozó Varsóban született és élt 24 éves koráig. Tanár szüleinek legfiatalabb, ötödik gyermeke volt. Apja, *Władysław Skłodowski* matematikát és fizikát tanított, és két fiúgimnáziumnak volt az igazgatója. Anyja, *Bronisława* egy tekintélyes lányinternátust vezetett Varsóban, de sajnos tüdővészben meghalt, amikor Maria tizenkét éves volt.

1883. június 12-én, 15 éves korában érettségizett a varsói lánygimnáziumban, kiváló eredménnyel. Az érettségi utáni évet Maria vidéken töltötte apja rokonainál, azután apjával élt Varsóban. Sokáig magántanítóként működött, majd vidéken nevelőnői állást vállalt. Szabadidejében matematikai, fizikai, szociológiai és filozófiai tanulmányokat folytatott. E közben anyagilag segítette testvérét, Bronisławát, aki orvostanhallgató volt a párizsi egyetemen. Abban az időben Lengyelországban a nők nem járhattak egyetemre. A két testvér megegyezett abban, hogy Maria anyagilag támogatni fogja nővérét orvosi tanulmányai befejezésében, majd viszonzásul Bronisława fogja őt segíteni. A csodálatos az, hogy ezt az ígéretüket maradéktalanul be is váltották.

Varsói házitanítósága alatt empirikus jellegű tudományos ismereteket is szerzett a mezőgazdasági és ipari múzeum laboratóriumában unokafivére, *Józef Boguski* felügyelete alatt, aki korábban *Dmitrij Mengyelejev* orosz kémikus asszisztenseként dolgozott. Itt tett szert azokra a nagyon fontos kémiai analitikai ismeretekre, amelyek segítségével évekkel később sikerült előállítania a polóniumot és a rádiumot. A témával kapcsolatos publikációi nagy részben tartalmazzák az előállításhoz szükséges kémiai műveletek leírását.

Az egyetemi évek, a tudományos pálya kezdetei

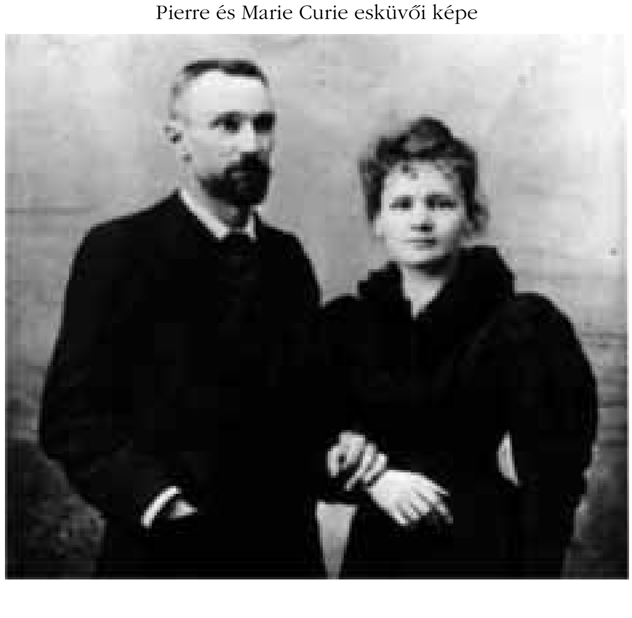
Maria Párizsban nővérénél és sógoránál lakott kezdetben, majd nemsokára kibérelt egy egyszerű padlásszobát, és megkezdte tanulmányait a Sorbonne-on, ahol matematikát, fizikát és kémiát tanult. Nappal órákra járt, esténként pedig annyira belefeledkezett tanulmányaiba, hogy vacsorázni is elfelejtett és alig aludt. 1894-ben megszerezte diplomáját. Ugyanebben az évben találkozott össze Pierre Curie-vel, aki ekkoriban a Sorbonne fizika-kémia tanszékén volt oktató. Közös tudományos érdeklődésük, a mágnesesség hozta őket öszsze, mivel ezekben az időkben Maria a különböző acélok mágneses tulajdonságait vizsgálta.

1894 nyarán Maria Varsóba látogatott, mivel céljai között az szerepelt, hogy megszerzett tudását hazájában fogja hasznosítani. Reményét, hogy majd hazájában folytathatja karrierjét, egészen addig nem adta fel, amíg a krakkói egyetem neme miatt megtagadta alkalmazását. Ekkor visszatért Párizsba. Távolléte egymás iránti vonzódásukat Pierre-rel csak erősebbé tette, és 1895 júliusában összeházasodtak. Ettől kezdve a két fizikus tudományos munkája és magánélete is összeforrt. Maria megtalálta azt az élettársat, akire támaszkodni tudott személyes és tudományos életében egyaránt.

1897-ben született meg a házaspár *Irène* lánya, aki édesanyjához hasonlóan, férjével együtt Nobel-díjas fizikus lett, majd 1904-ben *Ève,* aki nem lett fizikus, ellenben megírta édesanyja életregényét [2]. A család többször járt Lengyelországban látogatóban.

Cikkünk további részében Marie Curie életének olyan részleteit villantjuk fel, amelyek talán kevésbé ismertek az olvasók előtt. Maria Curie élete tragédiáit is érdemes megismerni, és itt most nem elsősorban férje

Pierre és Marie Curie esküvői képe



elvesztésére gondolunk, amely 1906-ban történt, és amely közismert, hanem néhány egyéb eseményre. Valószínű, hogy a tudósok közül ő kapta a legnagyobb publicitást, de 1911-ig azt hitte, hogy csak munkája, eredményei fontosak, nem pedig a magánélete, a családja. Ráadásul a 20. század eleji Franciaországban nemcsak nő volt, hanem bevándorló és ateista is.

A sajtó hatása

1903-ban megkapták a fizikai Nobel-díjat. A felterjesztő levelet 1903-ban a L'Académie des Sciences több tagja aláírta, beleértve *Henri Poincaré*t és *Gaston Darboux*-t, de Marie nevét nem említették. *Gösta Mittag-Leffler,* a Stockholm University College matematika professzora írt erről Pierre Curie-nek. Ez a levél nem maradt meg, de Pierre Curie válasza igen, amelyben azt írta: „Ha igaz, hogy komolyan gondolt rám a díj bizottság, akkor én nagyon szeretném, hogy figyelembe vennék azt a körülményt, hogy a kutatásokat Madame Curie-vel együtt végeztük."

Korábban a fizikai, kémiai Nobel-díjak nem keltettek jelentős sajtóvisszhangot. A Curie-házaspár most hirtelen a sajtó érdeklődésének középpontjába került. Marie munkássága romantikus történet lett. A törékeny nő, aki több tonna szurokércet dolgoz fel egy fészerben – ahol kánikulában és fagyban dolgozott – egy tündérmesévé változott. Még a *Le Figaro* is úgy kezdte cikkét, hogy „Egyszer volt, hol nem volt."

1903-ban megkapták a fizikai Nobel-díjat, de egészségi állapotuk miatt csak 1905 nyarán tudták átvenni. Pierre Curie azt írta 1905 júliusában: „Egy egész év telt el úgy, hogy nem tudtam semmilyen munkát végezni."

Mme Curie és az Akadémia

A hivatalos életrajzok alapján 1911 a sikeré, a Solvay-konferencia és a kémiai Nobel-díj éve. A valóságban ez a tragédia éve. Azt, hogy januárban nem őt választották akadémikusnak, nem vette szívére, novemberben a bulvársajtó támadása azonban beárnyékolta magánéletét. Második Nobel-díjának decemberi átvétele után szanatóriumba vonult, majd Angliában regenerálódott.

A legendák szerint Mme Curie-t azért nem választották az Akadémia tagjává, mert nőt nem akartak. A hír igaz, csak nem így. Az első női jelölt 1893-ban *Mme Bertaux,* a kor neves szobrásza volt, aki az Institute France IV. osztályába, a Szépművészeti Akadémiába jelentkezett tagnak. A jelöltsége akkor komoly vitákat provokált, és sokan meg voltak győződve arról, hogy csak azért nem választották be, mert nő volt.[1]

A történet 1910-ben kezdődött, amikor az Akadémián a Fizika szekcióban megüresedett egy hely. Három komoly jelölt volt, *Eugène Édouard Désiré Branly* (1844–1940), francia fizikus-orvos, aki feltalálta 1890-ben a kohérert, az üvegcsöves egyenirányítót. A drótnélküli távíró feltalálójának a franciák őt tekintik (a szerzők egyikének lánya is így tanulta a francia iskolában), ezen kívül a franciák számára ő a tudomány és a technika szimbiózisának jelképe. Háromszor terjesztették fel Nobel-díjra (1909-ben a Nobel-díjat *Guglielmo Marconi* [1874–1937] és *Karl Ferdinand Braun* [1850–1918] kapta). 1910-ben már 66 éves volt, és ez volt a harmadik jelentkezése az akadémiai tagságra. Azt is bejelentette, hogy többször már nem fog pályázni. Fizika tankönyve 1905-ben már az ötödik kiadásnál tartott. Elismertségére jellemző, hogy temetésén *Lebrun* elnök is részt vett.

Mme Curie esetének különlegességét az adta, hogy esélyesnek tekintették, annak ellenére, hogy a szokások szerint az első jelentkezést nem szokták elfogadni. 1902-ben Pierre Curie jelentkezését is elutasították. A harmadik (esélytelen jelölt) *Marcel Brillouin* volt (őt csak 1921-ben választották be, de őt nem is támadták). A szavazás végeredménye 30-28 lett, azaz csak egy szavazaton múlott az eredmény.

Az igazi tragédiát a sajtó jelentette. Branly katolikus volt (a Római Akadémiának is címzetes tagja), ezért a jobboldali sajtó mellé állt, míg a liberális sajtó Marie Curie oldalán volt. Nemcsak azzal támadták, hogy nő, hanem azzal is, hogy külföldi és hogy zsidó (ami nem igaz, elszegényedett lengyel nemesi családból származott).

A franciák és a világ közvéleménye is felháborodott a döntésen. A bulvársajtó azt hangsúlyozta, hogy nem akartak nőt, és csak ezért nem őt választották. Ezt a csorbát a franciák azzal akarták kiküszöbölni, hogy a következő alkalommal Mme Curie-t választják. A *New York Times* 1911. október 9-én ilyen értelmű cikket közölt.[2]

Azonban Marie Curie többé nem jelöltette magát. Ezzel a lépéssel valószínűleg megsértette a sajtót és a tudós társaság egy részét is.

Langevin-ügy

Paul Langevin 1902-ben házasodott meg, négy gyermeke születetett, de 1910-re házassága megromlott, és 1911 nyarán már válni akart. *Jeanette Langevin* az év elején megszerezte Marie leveleit, amelyet az özvegy az ő férjének írt. Felismerte, hogy a levelek nyilvánosságra hozatala tönkreteheti Marie Curie-t. Ezzel zsarolta férjét, hogy rábírja követeléseinek teljesítésére, aki azonban nem engedett. (A válást decemberben mondták ki,

[1] Delia Gaze: *Dictionary of Women Artists* Taylor & Francis, 1997, p. 252.

[2] „There seems to be a great probability that Mme. Curie will soon be a member of the French Academy of Sciences, filling a vacancy left by the recent death of the celebrated chemist, Louis Joseph Troost." (Mme Curie valószínűleg akadémikus lesz – a híres kémikus Louis Joseph Troost halálával megüresedett helyét nagy valószínűséggel Mme Curie fogja betölteni.) – Mme. Curie likely to be academician. *The New York Times,* October 8, 1911. (http://query.nytimes.com/gst/abstract.html?res=9A05E3D71131E233A2575BC0A9669D946096D6CF)

és a gyerekek a feleségnél maradtak, aki tetemes tartásdíjat kapott.) Marie Curie naiv volt, azt hitte, hogy a magánélete csak rá tartozik, és senkit sem érdekel.

Amikor Paul és Marie a Solvay-konferencián voltak (október 29. – november 4.), a feleség a sajtóhoz fordult. Világszenzáció és nagy botrány lett belőle. A tudós Mme Curie a családi béke megrontója lett, aki a gyerekeitől elveszi az apát. Hazaérkezésekor feldühödött tömeg várta, amely az erkölcstelen nőszemély ellen tiltakozott. A matematikus *Emile Borel* mentette ki a gyerekekkel együtt. Borelnél sokan tiltakoztak, hogy egy professzor hogyan fogadhat be egy „ilyen” nőt.[3]

November 23-án a feleség a leveleket is átadta a sajtónak. Igazi botrány lett, Párizsban legalább 5 párbajt vívtak miatta, amelyek leírása szintén helyet kapott a *The New York Times*ban.[4]

Tény, hogy hosszú évekkel később Marie unokája, *Hélène Joliot,* Paul Langevin unokájához, *Michel Langevin*hez ment férjhez.

Svante Arrhenius levélben kérte, hogy a botrány miatt ne vegye át a Nobel-díjat, de erre Marie azzal válaszolt, hogy a díjat a tudományos tevékenységéért kapta. Elutazott Stockholmba és december 11-én átvette a kémiai Nobel-díjat, amelynek indoklása: „elismerésképpen a rádium és polónium felfedezésért, a rádium sikeres elszigeteléséért, és ennek a figyelemreméltó elemnek további tanulmányozásáért”.

Ezután egészségügyi problémái miatt elvonult a világtól, kórházban volt, majd lakást bérelt, végül Marie Sklodowska „álnéven” Angliába utazott.

A 2011-es év a kémia éve lesz, éppen a fent említett Nobel-díjra emlékezve.

A háborús évek és az azt követő események

Madame Curie felgyógyulása után már az elvárt szerepnek megfelelően viselkedett. Nem volt magánélete, a nemzet tudósa, a nemzet özvegye lett. Nem pocsékolta idejét az intrikákra, munkájának és gyermekeinek élt. Lánya, Irène örökölte édesanyja vonzalmát a fizika iránt, és folytatva a családi hagyományt, az I. világháború alatt édesanyjával a röntgenográfia alkalmazásainak fejlesztésén dolgozott. Nekik köszönhetően az orvosok röntgenfelvételeket készíthettek a sérült csontokról és a testekben található repeszekről. Irányítása alatt kétszáz új röntgenállomás létesült.

Irène és Marie Curie amerikai katonák között a laboratóriumban.

Húsz darab röntgenkocsit saját maga szerelt fel és adott át a hadseregnek, ezek zömmel személyautók vagy szállítókocsik voltak, amelyeket gazdag magánemberek vagy nagyvállalatok bocsátották rendelkezésére. Megtanult vezetni, sőt sokszor még autószerelői feladatokat is ellátott. Irènevel közösen végezték a röntgenes személyzet kiképzését.

A háború végén „katonai érdemeiért” tüntették ki. Az orvosi röntgendiagnosztika terén kifejtett eredményes munkája elismeréseképpen választották 1922-ben a párizsi Orvosi Akadémia tagjai sorába, elsőként mint nőt.

Curie asszony 1914-ben megalapította a párizsi Rádium Intézetet (Institut du Radium) a radioaktivitás gyógyászati alkalmazásainak kutatására és a rádium előállítására. Az Intézet pár évvel később a magfizikai és magkémiai kutatások központjává vált, ahol Marie Curie haláláig dolgozott. Az eltelt évek alatt különböző nemzetek fizikusai, vegyészei dolgoztak itt, köztük több nő, mint a magyar *Götz Irén,* aki egy évig dolgozott nála, de *Róna Erzsébet* is járt az intézetben. Az időszak alatt körülbelül ötszáz tudományos dolgozat készült, amelyek közül harminc volt Marie Curie saját munkája, ám az összes többinél is közreműködött segítő tanácsaival.

Lánya, Irène már édesanyja asszisztenseként dolgozott az intézetben, és ott ismerte meg későbbi férjét, *Fréderic Joliot*-t. Ők is sikeres tudóspárost alkotva fedezték fel a mesterséges radioaktivitást, azt a lehetőséget, hogy az atommagjukba való beavatkozással stabil elemek sugárzóvá alakíthatók.

Marie Curie számtalan bizottságnak a tagja lett. Ennek is van magyar vonatkozása: *Tormay Cecile*-t 1935-ben a Népszövetség Szellemi Együttműködés Nemzetközi Bizottságába egyhangúlag választották a Mme Curie halálával megüresedett székbe.

Irodalom

1. Radnóti Katalin: A magfizikai kutatások hőskora, női szemmel – I. *Fizikai Szemle 58/3* (2008) 113–119.
2. Eva Curie: *Madame Curie.* Gondolat Könyvkiadó, Budapest, 1967, ötödik kiadás
3. Friedrich Herneck: *Az atomkorszak úttörői.* Gondolat Kiadó, Budapest, 1969.
4. Vértes Attila (szerk.): *Szemelvények a nukleáris tudomány történetéből.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 2009.

[3] J. I. Mackenzie: *Remarkable physicists: from Galileo to Yukawa.* Cambridge University Press, 2004, p. 217.

[4] „Editors in duel over Mme. Curie; A dispute over the merits of the charges which Mme. Langevin has instituted against her husband, Prof. Langevin, Professor of General and Experimental Physics at the College of France, involving the professor's co-worker in scientific research, Mme. Curie, resulted to-day in a duel with swords between M. Chervet, editor of Gil Blas, and Leon Daudet, editor of L'Action Francaise.” (Szerkesztők párbaja Mme Curie-ért; Mme Langevin vádjai férje ellen, amelyek tudományos munkatársát Mme Curie-t is érintették ma egy kardpárbajt eredményeztek M. Chervet a Gil Blas szerkesztője és Leon Daudet, a L'Action Francaise szerkesztője között.) in Maurice Crosland: *Science Under Control: The French Academy of Sciences 1795–1914.* Cambridge University Press, 2002.

VILÁGKIÁLLÍTÓ MAGYAR FIZIKUSOK

Gál Vilmos
Magyar Nemzeti Múzeum

Ha a világkiállításokról hallunk, akkor képzőművészeink, iparművészeink sikerei mellett esetleg néhány neves hungarikumunk számos díja juthat a legtöbbünk eszébe, vagy talán az elmaradt budapesti expó, a múlt század utolsó évtizedéből.

Sokkal kevésbé ismert tény, hogy – főként a világtárlatok történetének hőskorában, 1851 és 1900 között – az ipari termékek és a korszakban újdonságnak számító mérnöki alkotások bemutatása mellett fontos szerep jutott ezen világeseményeken a tudományos élet modern eredményeinek, amelyeket gyakran maguk a tudósok prezentációjából ismerhettek meg a világkiállítások látogatói és az eseményhez kapcsolódó nemzetközi konferenciák szakértő résztvevői.

A világtárlatokat nem véletlenül nevezték akkoriban „exposition universelle”-nek (egyetemes kiállításnak), hiszen alapvető céljuk, amelyet még 1851-ben az első, londoni „expó” kitalálója, *Albert herceg* (*Viktória királynő* hitvese) fogalmazott meg, az volt, hogy a világ összes, haladást szolgáló emberi produktuma egy helyen legyen megtekinthető, okulásul az egyszerű érdeklődők és az egyes ágazatok szakemberei számára.

A rendezvény tehát nem öncélú látványosságként szolgált, hanem a fejlődés és a felzárkózás lehetőségét is magában hordozta azok számára, akik nyitott szemmel járták a hatalmas kiállítások csarnokait.

1900 és 1939 között más irányt vett az expók fejlődése, s egyre inkább az országok arculatépítése került előtérbe. Az ipar bemutatása háttérbe szorult, és a nemzeti pavilonokban a kor művészi alkotásai, esetleg néhány kiemelt, nemzetközileg is elismert tradicionális termék került bemutatásra. 1958-tól napjainkig egy újabb szakasz fejlődését lehet megfigyelni: a régi expók jellegzetességeit még magán viselő brüsszeli tárlaton ismét komoly szerepet kapott a tudomány legújabb eredményeinek prezentálása, s e trend a következő évtizedekben még hangsúlyosabbá vált, miközben mára ipari termék megjelenése egyszerűen tilos a világkiállításokon – mivel azok bemutatása a szakkiállításokon és a nemzetközi vásárokon történik.

A következőkben néhány ismert magyar fizikus munkásságának azon területét szeretném az olvasók elé tárni, amely megjelent és figyelemre méltó sikert ért el a régi korok világkiállításain.

1. ábra. Jedlik Ányos

Jedlik Ányos István (Párizs, 1855)

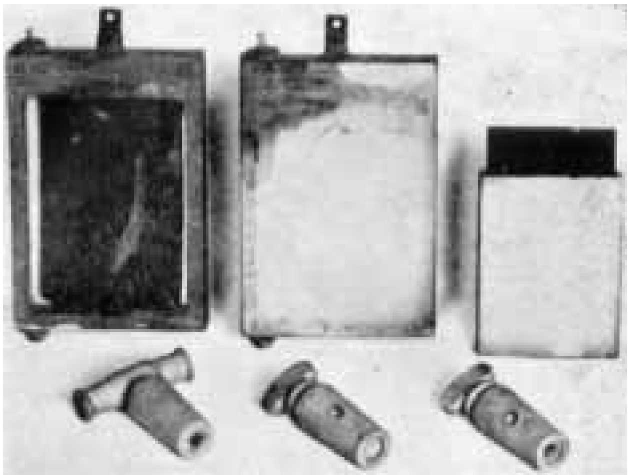
Jedlik Ányos (1800–1895) a bencés rend pap-tanára, a pesti tudományegyetem fizikai tanszékének professzora (*1. ábra*) élete során két világkiállításon szerepeltette alkotásait, majd – minden bizonnyal – legjelentősebb tudományos teljesítményét, a dinamó elvének leírását és prototípusát halála után az 1900-as párizsi tárlaton mutatták be a magyar szervezők.

Első, 1855-ös párizsi szerepléséről a tudós egy esztendővel később Bécsben, a német természetvizsgálók gyűlésének fizikai osztálya előtt elhangzott beszédében tett először említést.[1]

„Amint a Bunsen-féle lánc módosítása ennyire sikerült, Csapó Gusztáv és Hamar Leó urakkal társulva lehetségessé vált 10 elemes kis szén-cink telepet (elemenkint 30 négyzethüvelyknyi működő szénfelülettel) és egy 100 elemes nagy telepet egyenkint 1 négyszöglábas hatásos felülettel Párizsba a kiállításra küldenem, ahová a nagy telep sajnos annyira megrongálódva érkezett, hogy azzal semmiféle kísérletbe sem lehetett kezdeni. […] A kisebbik telep Párizsban vizsgálat alá került, az elemmódosítás munkája pedig bronzérmes kitüntető elismerésben részesült.”

Jedlik a fentiekben csupán említés szintjén érinti elemeinek (*2. ábra*) világkiállítási bemutatását. A professzor fennmaradt levelezéséből, illetve egyéb dokumentumaiból sokkal teljesebb képet kaphatunk eme vállalkozás részleteiről. E forrásokat Jedlik rendtársa, a győri bencés gimnázium fizikatanára,

[1] Jedlik előadása (*Modification der Grove'schen und Bunsen'schen Batterie* címen) írásban is megjelent a természetvizsgálók gyűlésének kiadványában. (Amtlicher Bericht über die 32. Versammlung Deutscher Naturforscher und Aerzte zu Wien im Sept. 1856. 1858.)



2. ábra. Jedlik laboratóriumában fennmaradt elemtartozékok (1854–1855)

Ferenczy Viktor publikálta 1936 és 1939 között megjelent, Jedlik munkásságát összefoglaló négykötetes munkájában.

1855-ben Párizs éppen első világkiállításának ünnepélyes megnyitására készült (*3. ábra*), amikor bizonyos *Csapó Gusztáv* úr a francia fővárosba érkezvén, a kiállítás Ausztria és tartományai számára fenntartott részében kibontva talált néhány faládát, amelyek egyenest Pestről érkeztek. Megdöbbenve tapasztalta, hogy a ládák tartalma a vigyázatlan szállítás és az elégtelen csomagolás miatt súlyosan megrongálódott.

„A mint tegnap a kiállításba mentem, ládáinkat felbontva, batteriánkat kiszedve és össze vissza állítva találtam. …körülbelül csak 19 szén czella maradt éppen, a többi felső rámái a rezek által szétfeszítve vagynak. …Nagy batteriánk működését mutatni tehát szó sincs többé…” (Párizs, 1855. június 9.)

Az idézett sorokat Jedlik Ányosnak írta Csapó, aki egy későbbi levelében saját felelősségét is megemlítette, mondván, ő ragaszkodott a papírcsomagoláshoz a költségesebb parafával szemben, amelyet társai javasoltak. Mindazonáltal határozottan kijelentette: a vigyázatlan szállítás okozta sérülések akkor is bekövetkeztek volna, ha parafa bélést használnak.[2]

A törött ládákban egy kisebb és egy nagyobb, Bunsen-féle galvánelemtelep darabjai lapultak, amelyeket több év hosszas kísérletezése után tökéletesített a magyar elektrotechnika nemzetközi hírű úttörője. Tudásán és szabadidején kívül pénzét is e kísérleteibe fektette, amellyel nem kisebb célt akart elérni, mint betörni az akkor még gyerekcipőben járó elektronikai iparba.

A Jedlik-elemek

Jedliket már 1830 körül foglalkoztatni kezdte a kísérleteihez használt elemek tökéletesítésének gondolata. Akkoriban éppen az elektrodinamikus forgó mozgás

3. ábra. Az 1855. évi párizsi kiállítás palotája

lehetőségeit vizsgálta, s különféle forgonyokat készített. A tudós – mivel ekkor még ilyen iparág nem létezett – maga volt kénytelen a motorjaihoz szükséges elektromos energiát a már ismert galvánelemek segítségével előállítani. Az általa használt külföldi áramforrások hatásfokával viszont nem volt megelégedve, ezért maga fogott hozzá azok tökéletesítéséhez. Rövid időn belül meglepően jó eredményeket ért el az úgynevezett kétfolyadékos Bunsen-elem továbbfejlesztett változatával. A két folyadékot elválasztó agyaghengert impregnált papírcellával váltotta fel, így sikerült a belső ellenállást csökkenteni, illetve növelni az elem teljesítményét.

A papírcellát a salétromsavnak ellenálló, úgynevezett Schönbein-féle papírból (lőgyapot) készítette, amelyet elektromos papírnak is neveztek. *Schönbein* jött rá, hogy a papír és a gyapot salétromsavban, majd vízben áztatva ellenáll a sav maró hatásának, s dörzsölve elektromossá válik.

A Pesti Társaság

Jedlik 1854-re olyannyira előrehaladt a Bunsen-elemek tökéletesítésében, hogy a gyártási próbák után megalakulhatott a Pesti Társaság, amelyet *Hamar Leó*val és Csapó Gusztávval alapított. A három úr szerződést kötött egymással, „villamossági és villamdelejes természettani eszközök javítása és haszonnali alkalmazása végett”. A társulás lelke természetesen a feltaláló, a tudományos és anyagi hátteret biztosító Jedlik volt. Csapó Gusztáv mai szóval élve menedzseri szerepet töltött be a cégnél, aki kapcsolati tőkéjét próbálta kamatoztatni az üzlet sikeréért, de emellett a gyártási módszerek kidolgozásában is részt vállalt. Hamar Leó, Jedlik tanítványa a kísérleteknél és az összeszerelés gyakorlati részében segédkezett.

A vállalatot mai értelemben nem lehetne – de még saját korában sem lehetett volna – valódi gyárként említeni. A társaság ugyanis termékeinek egyes alkatrészeit iparosoktól szerezte be, így többek között az agyagcellákat *Wagner Dániel* – egyébként ugyancsak több világkiállítást megjárt – vegyészeti gyárából (gyógykészítmények mellett higiéniai termékeket és illatszereket állított elő) rendelték meg. A cellák bevo-

[2] Csapó Gusztáv 1855. június 29-én kelt levelének részlete Jedlik Ányosnak.

natához szükséges anyagok előkészítése pedig az egyetem épületének egyik pincéjében kialakított műhelyben történt. 1854-től a Kerepesi úton (minden bizonnyal Csapó lakhelyén), egy bérelt műhelyben szerelték össze az elemeket. E műhelyt Jedlik fizetési lajstromában *közös gyár*nak titulálja, ám itteni ügykődésük sem hosszú életű: egy évvel később már *Jackwitz* mechanikus műhelyébe költöztek át.

A Társaság megalakulásának egyik oka a III. Napoleon által 1852-ben kiadott dekrétum volt (öt év időtartamra kiírt 50 000 frankos pályázat a legjobb elektromos találmány alkalmazására), valamint a Volta-díj is serkentőleg hatott. Újításaik nemzetközi megismertetésére a párizsi tárlatnál alkalmasabb helyszínt keresve sem találhattak volna. Csapó szerint a megfelelő elemek mellett jó regulátort (ívlámpa-szabályozót) kellene Jedliknek konstruálnia, mert anélkül az áramforrások nem annyira piacképesek. Utóbbi azonban nem valósult meg, s éppen az a *Duboscq* optikus hozott létre egy használható ívlámpaszabályzót, aki minden bizonnyal megvásárolta és regulátorkísérleteihez felhasználta Jedlikék Párizsba vitt, megrongálódott nagy telepét. „Jedlik galván elemeit Párizsban Duboscq használja az electrikai világítás előállítására szolgáló igen jeles készülékhez pile hogroise nevezet alatt."[3]

A Pesti Társaság létrehozása főként az akkoriban egyre nagyobb keresletnek örvendő elemek és telepek gyártására irányult. Jedlik kísérletei alapján tudta, hogy tökéletesített áramforrásai az akkor ismert telepeknél sokkal jobb minőségűek. A párizsi tárlat jó alkalomnak kínálkozott megismertetni szakemberekkel a Jedlik-elemeket és esetleges külföldi megrendelőket toborozni.

A Párizsi Társaság

A Társaság által megbízott Csapó Gusztáv 1855. május 17-én indult el Bécsből a francia fővárosba. Bécsben fontos ügyeket intézett, így többek között levédette a Párizsba szállítandó telepeket az Alsó-Ausztriai Helytartóság hivatalában. A Helytartóság „Certificat"-ja igazolja, hogy „kizárólagos szabadalomra folyamodványt és lepecsételt mellékletet nyújtottak be, amely a bemondás szerint világítási és egyéb célokra való galvánelemek és telepek szerkesztésében történt új tökéletesítésnek a leírását tartalmazza."[4]

Csapó a privilégium benyújtását követő napon továbbutazott, hogy azután Párizsba érkezvén rövidesen szembesüljön a telepek megrongálódásával. Kezdeti kétségbeesésén túllépve rövidesen aktivizálta magát és több értékes ismeretséget kötött helyi szakemberekkel (Duboscq optikussal és *Marcais* kémikussal), akik segítségére lehettek. Szerencsére az osztrák kiállítás egyik kiküldöttjeként ott-tartózkodott a Jedlikkel szoros szakmai kapcsolatot ápoló *Andreas Ettingshausen* bécsi egyetemi tanár is, aki szintén Csapó segítségére sietett.

Az összefogásnak köszönhetően – az áramforrások sajnálatos sérülései ellenére – a telepeket bemutatták a párizsi kiállításon, bár a zsűrizés mikéntjéről pontos adatok nem maradtak fenn a Jedlik-levelezésben. A források többek között arról sem tudósítanak, hogy a sértetlen, kisebb elemet mikor vizsgálta a zsűri és az működés közben történt-e. Csapó egy másik levele azonban bizonyítja, hogy a nagyobb elem sérüléseit legalább esztétikailag kijavították és a zsűrinek bemutatták. „Nagy batteriánk jelenleg élénk figyelem tárgya… Ettingshausen Tanár Ur[5] főtiszt. Ur iránti különös tisztelete mellett a tudós világban batteriánknak nagy előnyöket szerzett. Kis 30-as batteriánk öszve igazítása jó kézben vagyon, ezzel a Comissio előtt alkalmilag Ettingshausen Úr jelenlétében kisérletek fognak tetettni. Dubosk[6] Ur Marcais[7] Urral ajánlkoztak a kis batteriát öszve állitani, azt eleve megkisérelni, és Dubosk Urnál a tudós világnak bemutatni." (Párizs, 1855. július 11.)

Duboscq és Marcais természetesen nem jótékony szamaritánusként segédkezett a telepek rendbehozatalán. Minden jel arra mutat, hogy a Pesti Társaság Párizsban is szeretett volna műhelyt nyitni, a helyi kollégák bevonásával. Erre utal, hogy Marcais és Csapó kísérletezni kezdtek egy gumi-stearinin-kén cellabevonattal, amely igen előremutató eredményt hozott. A párizsi műhely alapjait sikerült is lerakni, amelyet *Fréderic Varicourt* báró jelentős összeggel támogatott.

A társulás profilja távíróhivatalok, vasúttársaságok és gőzhajótársaságok áramforrásokkal történő ellátása lett volna, illetve az oktatási, kísérleti célokra történő gyártás. Csapó próbálkozott is mind Bécsben, mind Párizsban ilyen irányban tapogatózni, ám nem járt sikerrel.

Csapó a nyári hónapokra hazatért, hogy Pesten segédkezzen az új típusú, kénfedeles ládák készítésében, amelyeket még azon év őszén kiszállított Párizsba.

Ekkor Hamar Leó már kilépett a társulásból és maga is Párizsba költözött, saját vállalkozást nyitni. A szakítás részletei nem ismertek, ám minden bizonnyal komoly szerzői jogi problémák merültek fel, ugyanis Csapó Jedlikkel egyetértésben Franciaországon kívül Angliában és Belgiumban is azonnal levédette az új telepek elvét.

A párizsi vállalatot 1858-ban számolták fel, míg a Pesti Társaság (már csak Jedlik és Csapó részvételével) tovább működött, 1861-ben még bizonyosan üzleti viszonyban álltak egymással. Jedlik iratai alapján az utolsó telepet 1859-ben adták el.

---

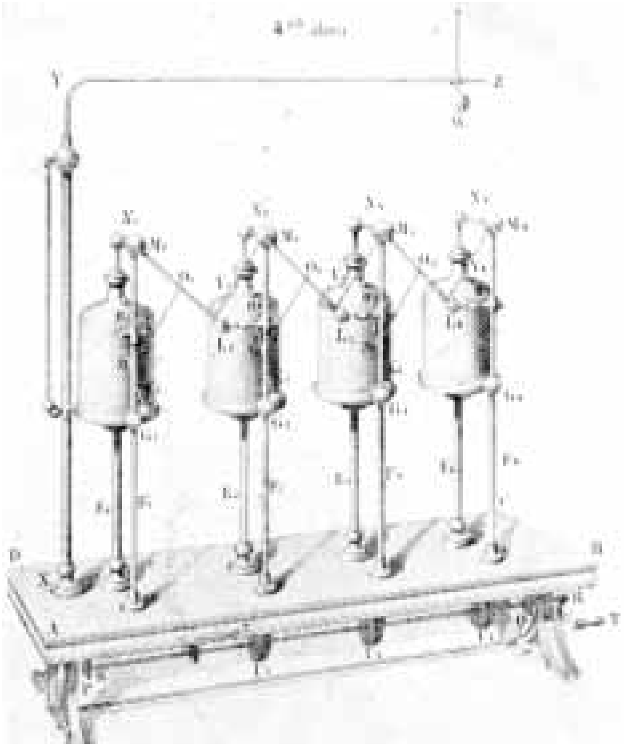
3 Kátai Gábor: A Királyi Magyar Természettudományi Társulat története. Pest, 1868. 153.

4 A Helytartóság 1855. július 19-én kelt 31360. számú iratában értesítette a társaságot a privilégium megadásáról.

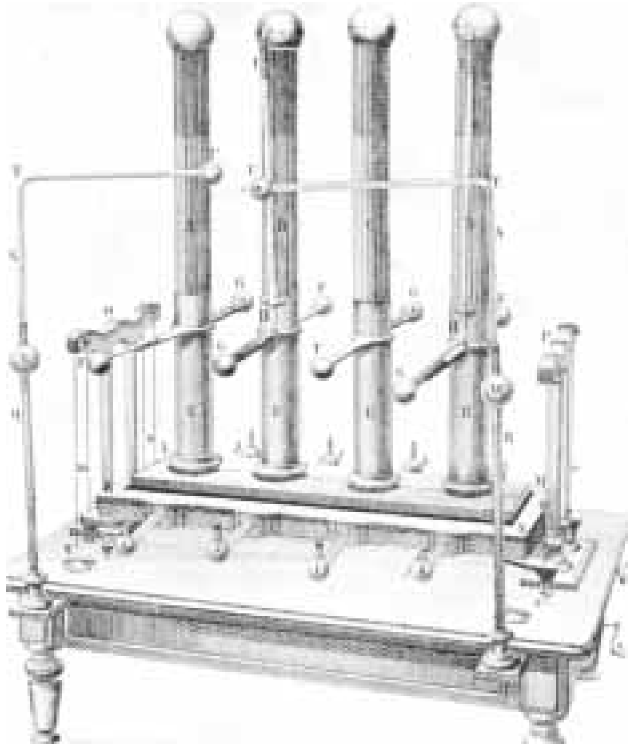
5 Báró Andreas Ettingshausen titkos tanácsos a bécsi Fizikai Intézet igazgatója.

6 Minden bizonnyal Louis Jules Duboscq francia optikus, akivel Csapó párizsi tartózkodása alatt ismerkedett meg. Duboscq egyébiránt Jedlik optikai rácsainak párizsi értékesítését is ellátta.

7 Marcais, párizsi vegyész.



4. ábra. Leideni palackok lánczolata (1863)



5. ábra. A csöves villamfeszítő (1873)

Eredmények

Jedlik és társai 1856 tavaszán kapták meg a párizsi tárlaton elnyert díjat, amelyről az értesítés[8] ugyan fennmaradt, ám mára a bronzéremnek nyoma veszett.

Az erkölcsi elismerésen túl a Pesti Társaság ipari vállalkozásként nem aratott maradandó sikert. A vállalat fennállása alatt összesen 177 különféle elemet és telepet adott el, amelyeknek pontos lajstromát az akkurátus Jedlik által vezetett *villanyelemek és villanytelepek jegyzéke* tartalmazza. Ugyan a kis vállalat nem futott be komoly karriert, ám hazai megrendelések mellett külföldre is szállított, így többek között Bécsbe, Párizsba és Konstantinápolyba is eljutottak a Jedlik-áramforrások.

„Csöves villamszedőkből alkotott villamfejlesztő” (Bécs, 1873)

Tizennyolc esztendővel a párizsi részvétel után Jedlik egy újabb találmányát ismét egy világkiállítás alkotásai között találjuk, mégpedig a London és Párizs addigi rivalizálásán először rést ütő 1873-as bécsi expón, amelyet joggal tekinthettek eleink „hazai pályának”. Ennek köszönhetően soha addig el nem ért (és a későbbiekben is csak egy ízben megközelített) számban vettek részt ezen magyar kiállítók. (Horvátországot nem számítva 3 018 fővel képviseltette magát hazánk.)

A több ezer magyar alkotó között tehát ismét feltűnt Jedlik Ányos egy különleges, igen látványos kísérleti szerkezettel, amellyel immár a nagyfeszültségű elektrotechnika addig kevésbé ismert határain belülre lépett a kísérletező kedvű professzor.

Jedlik figyelme már az 1860-as évek elején a nagyfeszültségű jelenségek irányába fordult, elsősorban az elektrosztatikus elven működő influenciagép felé. Impregnált papírt alkalmazott szigetelőanyagként és munkájában felhasználta a feszültségsokszorozás elvét. Az influenciagépet kondenzátorok feltöltésére használta, amelyeket párhuzamosan kapcsolt. E kapcsolást felbontva sorba kapcsolta a kondenzátorokat. Jedlik 1863-ban ismertette *Leideni palackok lánczolata* címen a feszültségsokszorozás elvét és gyakorlatát (*4. ábra*). Kísérletei során fél méternél hosszabb villamos ívet tudott gerjeszteni. Később e szikrainduktorát továbbfejlesztette és megalkotta villamfeszítőnek nevezett kaszkád kapcsolású feszültségsokszorozó kondenzátortelepét. Ezt nevezte el csöves villamfeszítőnek (*5. ábra*), amelyet a leydeni palackok helyett üvegcsöves részkondenzátorok kötegeiből (egy-egy villamszedő 64 cm magas, 8 cm átmérőjű üveghenger volt, amelyek 27-30 üvegcsövet zártak magukba) állított össze. E nagyfeszültségű kondenzátorok a leydeni palackok láncolatánál 10–12-szer több energiát tudtak tárolni.

A vallás- és közoktatásügyi miniszter felszólítása nyomán – miszerint a pesti Tudományegyetem professzorai járuljanak hozzá készítményeikkel a bécsi világkiállítás sikeréhez – e kimondottan látványos fizikai jelenséget előidéző munkáját kívánta bemutatni a tárlaton.

[8] „Mellékelten megkapják önök a magas cs. kir. helytartóság budai osztálya útján a kereskedelmi miniszter úr megbízásából átküldött bronzérmet, mint a párizsi művészeti és iparkiállításon közszemlére kitett tárgyaik kiválloságának az elismerését… Pest-Ofner Handels- und Gewerbe-Kammer…” (1856. április 26.)

6. ábra. A bécsi világkiállítás iparpalotája (1873)

7. ábra. A bécsi kiállítás érmei

„Minthogy 1871-dik év derekán a nagyméltóságú vallás- és közoktatásügyi miniszter által az egyetemi tanárok az iránt felszólíttattak, hogy az 1873-dik évi bécsi világkiállításon a budapesti tudományegyetemet szakmányaikra vonatkozó jelentékenyebb készítményeikkel képviselni iparkodjanak: részemről az általam ajánlva megismertetett, de tudtomra addig használat végett fel nem karolt csöves villanyszedőkből álló lánczolat előkészítésére vállalkoztam."

Ezek után a magyar bíráló bizottság tökéletesített szerkezetére vonatkozó javaslatát elfogadta és a költségekre 1200 forintot irányzott elő, amelyet Jedlik 328 forint 84 krajcárral túl is lépett.

A világtárlatra végül egy négy és egy nyolc sűrítős villamfeszítőt gyártatott le a professzor több pesti mechanikus, így *Nuss Antal, Steffen János* és a *Schwarz*-testvérek műhelyeiben.

A tudós 1873 elején már azt jelentette az egyetem rektorának – egyúttal néhány napos bécsi utazásra engedélyt kérve, a találmányt bemutatandó –, hogy rövidesen mindkét „villamtelep" elkészül. És valóban, már az év áprilisában kiállították találmányát a bécsi Práterben felépített Iparpalotában (*6. ábra*).

A telepeket maga Jedlik mutatta be működés közben a tárlaton, ugyanis a kondenzátorok feltöltése és kisütése komoly szakértelmet igényelt, s ezt a feladatot nem merte másra bízni. A nyolc kondenzátorból álló telep 60–90 cm-es, hatalmas csattanással kísért szikrákat adott, s a kor emberei számára oly különleges élményt nyújtott, hogy a berendezés rövid időn belül a kiállítás egyik közkedvelt attrakciójává vált.

A szakosztály bíráló bizottsága elnöke, *Werner Siemens* javaslatára Jedliket első osztályú, úgynevezett haladásért éremmel tüntették ki (*7. ábra*). Minderről *Thanhoffer Lajos,* a nemzetközi zsűri magyar tagja (aki egyébként az állatorvosi kar tanára volt Pesten) értesítette 1873. július 10-én kelt levelében a professzort.

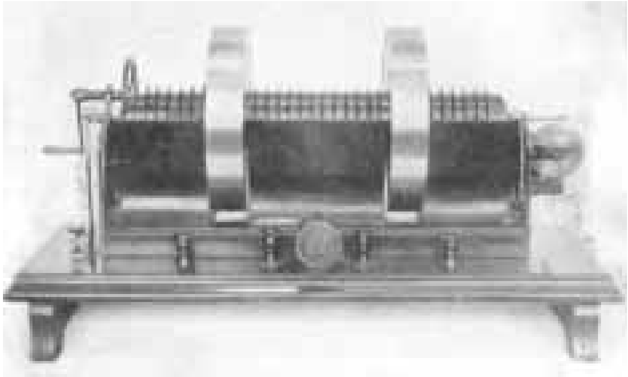
„Mélyen tisztelt Nagyságos Úr!

Bátorkodom tudatni Nagyságoddal, hogy Siemens ajánlatára önnek egyhangúlag az első medaille, az u.n. Vortschritts medaille szavaztatott meg. Meg lehet győződve nagyságod, hogy úgy a többi kiállító, mint ön irányában is küldetésem szerint jártam el, de a kiállító jelenléte, különösen az ön esetében minden szorgos és jóindulatu törekvés mellett is többet ért, nem csak, hanem különösen az ön tárgyánál elkerülhetetlenül szükséges is volt. Mély tisztelettel Thanhoffer. N. B. Kérném a dolgot titokban tartani."

A Jedlik-féle ősdinamó bemutatása (Párizs, 1900)

Ma már közismert tény, hogy Jedlik Ányos a dinamó elvét jóval Siemens előtt leírta, sőt dinamót is szerkesztett, amelyet egysarki villamindítónak[9] nevezett (*8. ábra*). E gépet 1861-ben vette fel szertárának lajstro-

[9] „Egysarki villanyinditó (: Unipolar Inductor :), melynek vastag rézhuzalból készült és csak 12 tekercsű sokszorozójában megszakadás nélküli villamfolyam indul meg, ha a fekmentes helyzetű és ezen alakú… hengerre, miután egy vagy több Bunsenféle elem hatása által villanydelejjé változtatott, a hozzá alkalmazott fogaskerék segítségével forgásba hozatik… Célszerű használhatás végett az eszköz rövid leírása és kezelési módja az alapdeszka alá csatolt írásban olvasható. Kigondolva lőn Jedlik Ányos által elkészítve pedig Nuss pesti gépész műhelyében 1861. Beszerzési ár 114 for. 94 kr." (A pesti Tudományegyetem természettani műtára számára készített, az 1861–62. évi tanév beszerzett készülékeit tartalmazó Pótleltárban tüntette fel Jedlik a dinamót.)

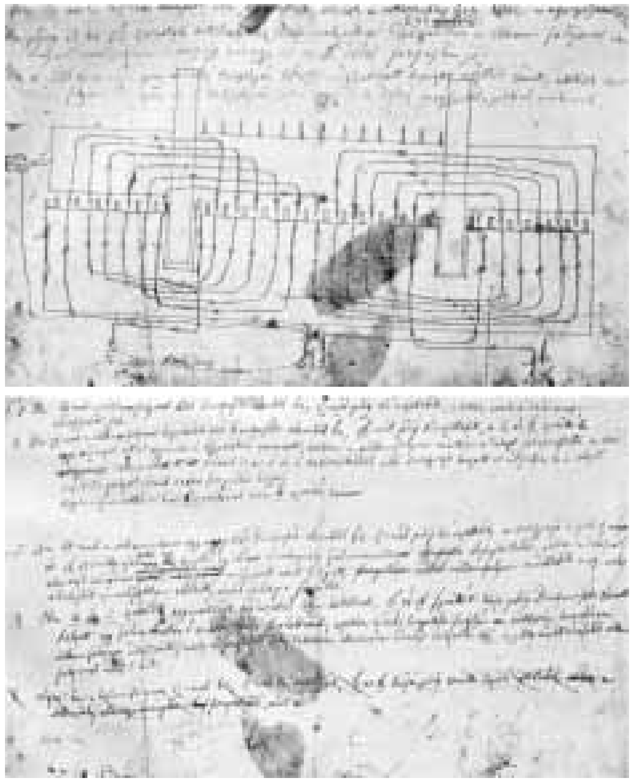


8. ábra. Jedlik dinamója

mába, és a szakirodalom – más forrás hiányában – ma is ezt az időpontot jelöli meg a Jedlik-dinamó létrejöttének. Ugyanakkor sajnálatos módon a találmány leírását nem publikálta (csupán egy használati utasítást tett a gépezet mellé, *9. ábra*), így a világ mind a mai napig Siemens érdemének tartja a dinamó feltalálását.

E találmányról nem hogy külföldi, de még Jedlik magyar szaktársai sem tudtak, pedig a professzor csupán 1878-ban vonult nyugalomba, s 1895-ben, 95 éves korában hunyt el. A világi hívságoktól mentes szerzetes, aki mindig is figyelemmel kísérte az elektrotechnika nemzetközi fejlődését, minden bizonnyal tudott Siemens 1866-ban nyilvánosságra hozott találmányáról, ám élete végéig megtartotta magának, hogy ő legalább öt esztendővel a német feltaláló előtt megszerkesztette a dinamót. Szerkezete valamikor az 1880-as évek végén került elő az egyetem Kísérleti Fizikai Intézetének szertárából, s kollégái ekkor kezdtek el idehaza és külföldön is Jedlik elsőbbségéért síkra szállni a dinamóelv tekintetében. A professzor már nem érhette meg, hogy nemes törekvésük eredményeként ősdinamója bemutatásra került a századfordító párizsi kiállítás magyar tanügyet bemutató osztályán.

Minderről így számol be a tárlat magyar emlékkönyve:[10] „…jóval Siemens és Wheatstone előtt, már 1852-ben,[11] a budapesti Kir. Magyar Tudomány-Egyetem physikai intézetében készített Jedlik Ányos tanár egy igazi, modern dynamogépet, elvében és hatásában tökéletesen ugyanolyat, a mely Siemensnek és Wheatstonenak nevét a találmányok történetében minden időkre megörökítette és az elektrotechnikai ipart egy csapásra megteremtette. A szerény magyar tudósnak találmánya azonban nem került ki annak idején a laboratóriumból, az egész dolognak nyoma veszett, az iparra semmiféle hatása nem volt. Csak a nyolcvanas évek vége felé találták meg a laboratórium lomtárában, s így annak a találmánynak, a mely



9. ábra. A dinamóhoz mellékelt leírás

hivatva lett volna 15 évvel a Siemens találmánya előtt szétterjedni az egész világon, egyetlen nagyobb útja ez a párizsi kiállítás volt, a hol a Tudomány-Egyetemünk physikai intézete azt a retrospektiv kiállítás keretében bemutatta.”

Az 1890-es években történt több, Jedlik Ányos elsőbbségét propagáló hazai megnyilvánulás után egy világkiállítás kereteit próbálta felhasználni a magyar tudóstársadalom a dinamó elsőbbségi kérdésében.[12]

Eötvös Loránd, valamint a Vallás- és Közoktatásügyi Minisztérium tanügyi kiállítása (Párizs, 1900)

A világkiállítások fejlődésének már azon szakaszában járunk ekkor, amikor az egyes államok szigorúan felülről szervezett keretek között több, számukra kiemelten fontos ágazat bemutatásával készültek fel az egyes tárlatokra. A magyar állam 1900-ban az addigi legteljesebb és legnagyobb kiállításával készült, főként az 1896-os Millenniumi Kiállítás alkotásaira alapozva. Az országimázs szempontjából kiemelten kezelték a magyar tanügy fejlődését prezentáló részleget, amelyet a Vallás- és Közoktatásügyi Minisztérium (VKM) rendezett. A VKM több nagydíjat kapott a köz-

[10] *Magyarország a párisi világkiállításon. 1900.* Szerk.: Hornyánszky Viktor és Erdélyi Mór. Budapest, 1901.

[11] Ez az évszám minden bizonnyal a Természettudományi Közlöny 1890. novemberi számában megjelent beszámoló alapján került be a tudósítás szövegébe. A beszámoló szerint Klupathy Jenő egyetemi magántanár ekkor mutatta be Jedlik dinamo-elektromos gépét, amelyet ismereteik szerint a tudós 1852–54 között készített. (*Természettudományi Közlöny,* 1890. november, 607–608.)

[12] Jedlik elsőbbségét Eötvös Loránd is kiemelte 1897-ben, a tudósra emlékező akadémiai beszédében: „A dinamógép … általánosan elfogadott történetével szemben vakmerőnek tűnhetik fel az az állításom, hogy Jedlik már évekkel Siemens előtt felismerte az ettől kimondott elvet, s … készített tényleg működő gépet is.”

10. ábra. A nemzeti pavilonok a Szajna mentén (1900)

oktatásügyi kiállításban, amelynek üvegtetős épülete az Eiffel-torony jobb oldalán, a Mars-mező egyik hosszanti oldalát teljes egészében elfoglaló palotában kapott helyet (tehát nem a magyar pavilonban, amelyben a történeti, néprajzi és a huszárságot bemutató tárlatok voltak láthatóak, *10. ábra*).

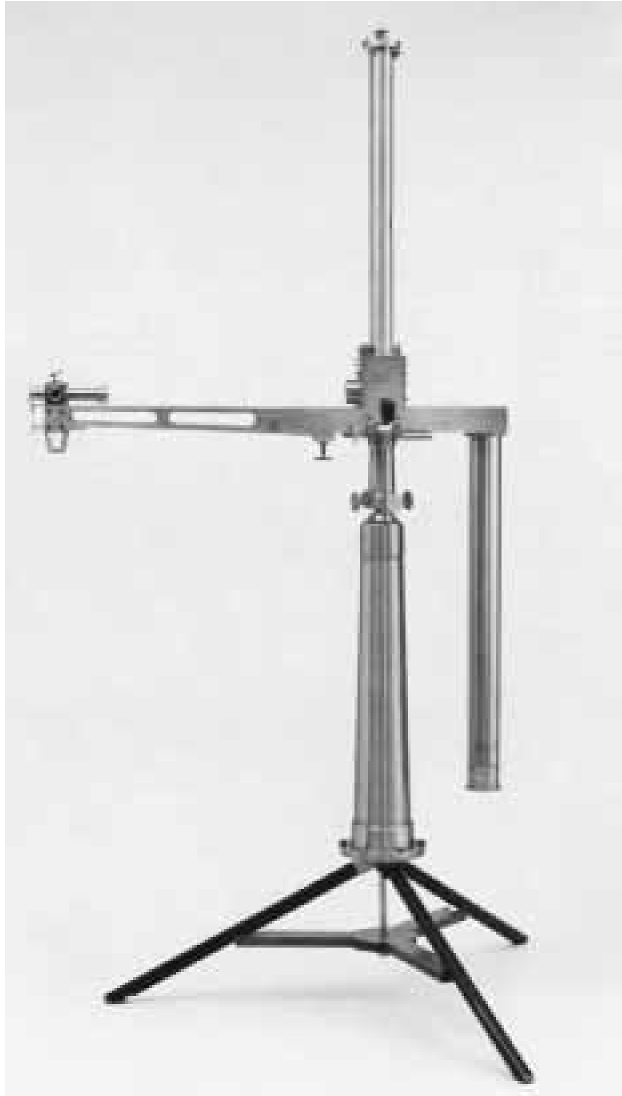
„A felső oktatás a földszinten a terület legszebb részét foglalta el, a főkaputól jobbra és balra. Jobbra volt a műegyetem és a kolozsvári egyetem, balra a budapesti tudomány-egyetem bölcsészeti és orvosi fakultása. … Az egyéni munka uralkodott … ezen osztálybeli egész kiállításon."[13]

Magyarország minden tanügyi csoportban képviseltette magát, így a közművelődési intézmények, a kisdedóvók, az alsó-, közép- és felsőoktatás, a nőnevelés és a speciális oktatási intézmények (pl. Vakok Intézete) révén is.

A külföldiek számára a VKM *Enseignement en Hongrie* (Magyarország oktatásügye) címmel 35 ív terjedelmű, francia nyelvű ismertetőt adott ki a kiállításról. A kiállítási zsűri nagydíjjal jutalmazta a felsőoktatás bemutatásáért a VKM-et, valamint a Műegyetem gyűjteményes kiállítását.

A fenti idézet rámutat, hogy (a többi csoportéval szemben) az egyetemek kiállítása jobbára a nemzetközi hírű professzorok kutatási eredményeit mutatta be. Többek között *Eötvös Loránd* gravitációs méréseinek adatai és torziós ingája is itt kapott helyet.

„[…] Dr. báró Eötvös Loránd már több mint egy évtizede behatóan foglalkozik oly kisérleti módszerek és eljárások kigondolásával és tökéletesítésével, melyek úgy a földnehézségi erőnek, mint a földmágnességi erőnek kicsiny, helybeli vagy időbeli elváltozásának lemérésére alkalmasak. Folytonos javítás és kisérletezés által e gyönyörű és elmésen szerkesztett eszközök egész sorozatát készíttette el a budapesti államilag segélyezett mechanikai tanműhely által, […] A felsorolt és kiállított néhány eszköz a fent említett sorozatnak mutatványaiul szolgált; pontosságuk és érzékenységük a maga nemében utolérhetetlen. A külföldi tudósok nagy érdeklődéssel szemlélték és tanulmányozták a precziziós eszközöket."[14]



11. ábra. Egyszerű nehézségi variométer, az Eötvös-inga

Eötvös egy 1898-ban – a *Süss Nándor* vezette Állami Mechanikai Tanműhelyben (a MOM elődje) – készített *egyszerű nehézségi variométert* (a torziós inga egyik korai változatát, *11. ábra*) mutatott be a tárlaton, s a műszer elméleti kidolgozásáért, valamint kísérleti eredményeiért nagydíjjal jutalmazták. (Az inga kivitelezője, Süss is külön aranyérmet kapott munkájáért.)

Eötvös maga is elutazott Párizsba, ahol első ízben tájékoztatta kutatási eredményeiről a nemzetközi szaktekintélyeket. Előadását a világkiállítás programjai közé iktatott fizikai kongresszuson tartotta meg, és a beszámolót francia nyelven is kiadta. Tanulmánya magyar nyelven a *Mathematikai és Physikai Lapok* hasábjain jelent meg még ugyanabban az évben.[15]

Eötvös komoly, több éves mérési munkája ellenére a kongresszus szkeptikusan fogadta a báró jelentését és a torziós inga jelentőségét sem értékelte kellőkép-

[13] *Magyarország a párisi világkiállításon. 1900.* Szerk.: Hornyánszky Viktor és Erdélyi Mór. Budapest, 1901, 57.

[14] Uo. 57.

[15] Eötvös Loránd: A nehézség és a mágneses erő nívófelületeinek és változásainak meghatározásáról. *Mathematikai és Physikai Lapok IX.* (1900) 361–385.

12. ábra. Az 1958-as brüsszeli expó magyar pavilonja

pen. Az igazi áttörésre e tekintetben 1906-ig kellett várni, amikor a földmérők nemzetközi szervezete (Internationale Erdmessung) Budapesten tartott kongresszusán Eötvös a résztvevők számára már 15 év mérési eredményeinek dokumentálása alapján tudta igazolni elméletének helyességét és a torziós inga gyakorlati jelentőségét.

Ugyanezen a kiállításon még két magyar fizikus mutatta be kutatási területéhez kapcsolódó eredményeit.

Egyikük, *Fröhlich Izidor* (1853–1931) a budapesti Tudományegyetem elméleti fizika professzora elsősorban az elhajlított fény polárosságának kísérleti és elméleti vizsgálatával foglalkozott – amelyhez Jedlik optikai rácsait is felhasználta –, ám fő szakterülete mellett elektrodynamométere révén is nagy elismertségnek örvendett. E szerkezetét, amelyet 1881-ben egy párizsi elektrotechnikai kiállításon mutatott be először, minden bizonnyal ismét elküldte a fény városába.

„Dr. Fröhlich Izidor évek hosszú során át foglalkozott electromossági absolut mérésekkel, az e közben szerzett eredeti eszközei közül kettőt állított ki, melyek a segítségükkel végezhető mérések biztonsága és pontossága tekintetében eddig másféle műszerek által nem voltak felülmúlhatók.”[16]

Fröhlichen kívül *Wittmann Ferenc* (1860–1932), a Műegyetem rádiótechnika- és távközlés tárgykörének első professzoraként „a technikai physikai előadásokhoz különböző jelenségek czélszerű objectiv bemutatására szerkesztett készülékeit” (ezek között minden bizonnyal szerepelt húros- és Braun-csöves oszcillográfja is) küldte el egyeteme gyűjteményes kiállításának fényét emelendő.

[16] *Magyarország a párisi világkiállításon. 1900.* Szerk.: Hornyánszky Viktor és Erdélyi Mór. Budapest, 1901, 58.

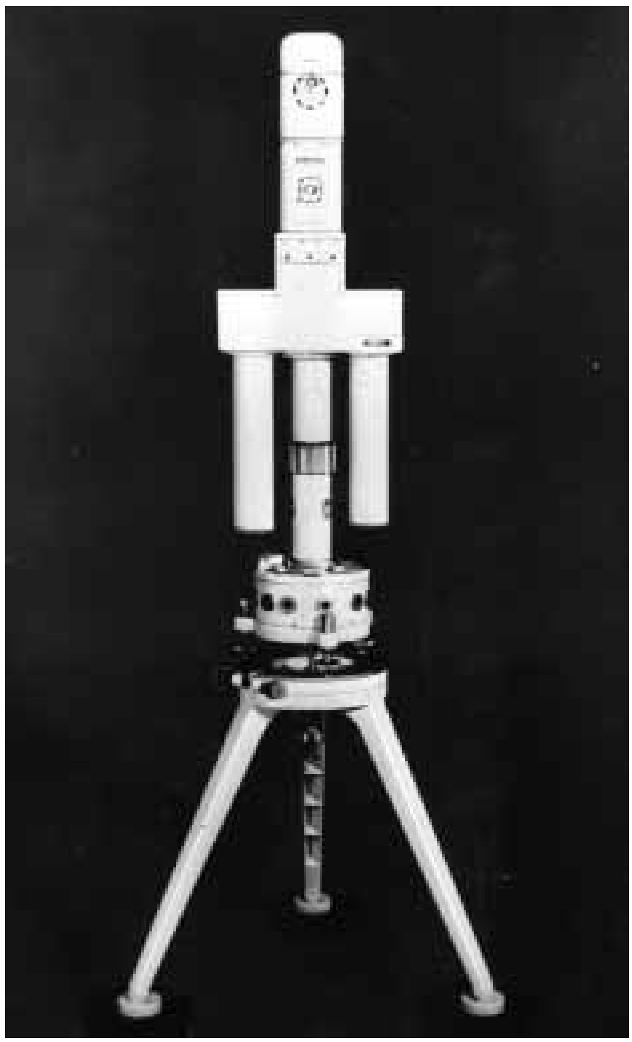
A torziós inga továbbfejlesztett változata (Brüsszel, 1958)

Eötvös Loránd gravitációs mérési kísérleteit, valamint a torziós inga fejlesztését komoly csapatmunka keretei között végezte, amelybe bevonta tapasztalt tanártársain kívül tehetségesnek tartott tanítványait is. Így többek között *Bodola Lajos* (műegyetemi tanár, geodéziai műszereiért díjat nyert 1900-ban) a mérések matematikai pontosításán fáradozott, míg *Pekár Dezső* és *Rybár István* a torziós inga tökéletesítésében játszott komoly szerepet.

Eötvös halála után, a róla elnevezett Geofizikai Intézetben (ELGI) Pekár Dezső, illetve az egyetem Gyakorlati Fizika tanszékén Rybár István révén folyt tovább az a munka, amelynek hatására több száz, a MOM elődjében (a Süss Nándor Precíziós Mechanikai és Optikai Intézet Rt.-ben) gyártott különféle torziós ingát (Original Eötvös Made in Hungary felirattal ellátva) adtak el külföldre. Az ELGI külföldi szakemberek oktatását is vállalta a készülék kezelésének elsajátítására.

Az inga továbbfejlesztésében Rybár István szerzett döntő érdemeket. A nemzetközileg is elismert tudós előbb az addigi platina-irídium torziós szálnak a meg-

13. ábra. A Rybár-féle E 54 típusú torziós inga



felelőbbnek bizonyuló volfrámötvözettel történő helyettesítését oldotta meg, majd megalkotta a mérések fotografikus regisztrálását, valamint az inga méretét jelentősen csökkentette. Ez, az „Auterbal” fantázianevű inga a két világháború között igen népszerűvé vált az egész világon.

A háborút követően, az 1952-ben publikált újabb kutatási eredményei alapján (a lecsökkentett lengésidőnek köszönhetően gyorsabb, pontosabb mérés) kifejlesztette az E 54 jelzésű ingát, melyet az 1958-as brüsszeli expó magyar pavilonjában mutattak be (*12. ábra*). A műszer elnyerte a világkiállítás nagydíját.

Az E 54 kifejlesztése (*13. ábra*) a korábbiakhoz hasonlóan az ELGI-ben történt, gyártása pedig a Süss-vállalat államosítását követően utódjában, a Magyar Optikai Művekben folyt továbbra is.

A FIZIKA TANÍTÁSA

XII. SZILÁRD LEÓ NUKLEÁRIS TANULMÁNYI VERSENY

Beszámoló, I. rész

Sükösd Csaba
BME Nukleáris Technika Tanszék

Szilárd Leó születésének centenáriuma alkalmából, *Marx György* professzor kezdeményezésére 1998-ban került először megrendezésre a Szilárd Leó Országos Középiskolai Tanulmányi Verseny. Azóta a Szilárd Leó Tehetséggondozó Alapítvány és az Eötvös Loránd Fizikai Társulat minden évben megrendezi a versenyt. 2006 óta határon túli magyar anyanyelvű iskolák tanulói részére is megnyitottuk a részvétel lehetőségét. Az idén ezzel három erdélyi iskola, a Berde Mózes Unitárius Kollégium (Székelykeresztúr), a János Zsigmond Unitárius Kollégium (Kolozsvár) valamint a Nagykárolyi Elméleti Líceum (Nagykároly) élt, ahonnan összesen hét első kategóriás (11–12. osztályos), és egy junior kategóriás tanulót neveztek be a versenybe. Sajnos, Felvidékről, Vajdaságból és Kárpátaljáról 2008-ban sem kaptunk nevezéseket. Összesen 220 első kategóriás (a már említett határon túliakon kívül 160 vidéki és 53 budapesti) valamint 169 junior kategóriás (vidékről 103, Budapestről 65) nevezés érkezett.

A 2009. március 2-án megtartott első forduló (válogató verseny) tíz feladatát az iskolákban lehetett megoldani három óra alatt. Kijavítás után a tanárok azokat a megoldásokat küldték be a BME Nukleáris Technika Tanszékére, ahol a 9–10. osztályos (junior) versenyzők legalább 40%-os, a 11–12. osztályos (I. kategóriás) versenyzők legalább 60%-os eredményt értek el. Az első forduló után 49 db I. kategóriás (38 vidéki, 11 budapesti) és 16 db II. kategóriás (15 vidéki és 1 budapesti) dolgozatot küldtek be a javító tanárok. Határon túlról sajnos egy dolgozat sem érkezett.

A beküldött dolgozatokat ellenőrizve egy egyetemi oktatókból álló bírálóbizottság a legjobb tíz junior versenyzőt és a legjobb húsz első kategóriás versenyzőt hívta be a paksi Energetikai Szakközépiskolában 2009. április 25-én megrendezett döntőre. A döntőn minden behívott versenyző megjelent. Az idén hét lány jutott be a verseny döntőjébe, öten az I. kategóriában, ketten a juniorok között. A verseny fordulóin (mobiltelefon és Internet kivételével) bármilyen segédeszköz használható volt.

✧

A döntőt megelőző napon a versenyzők és kísérő tanáraik üzemlátogatáson vettek részt a Paksi Atomerőműben, este pedig – kulturális programként – az érdeklődők megnézhették *Michael Frayn: Koppenhága* című színdarabját, amelyet a Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Természettudományi Karának három hallgatója állított színre.

Az alábbiakban ismertetjük a válogató verseny, valamint a döntő feladatait, és röviden a megoldásokat. Valamennyi feladatra 5 pontot lehetett kapni.

A válogató verseny (I. forduló) feladatai és megoldásuk

1. feladat

A ^{32}P foszforizotópot az orvosi gyakorlatban is használják radioaktív nyomjelzőként. A vizsgálathoz a kórház $6 \cdot 10^6$ Bq aktivitású ^{32}P-t tartalmazó preparátumot kap.

a) Mennyi ideig használhatják ezt, ha aktivitásának $3{,}7 \cdot 10^5$ Bq-re történő csökkenése esetén már nem alkalmazhatják?

b) A ^{32}P izotópot egy magyar tudós állította elő először. Ki volt ő? Mit tudsz még róla?

Adatok: A ^{32}P szükséges adatait a *Függvénytáblázat* tartalmazza.

Megoldás: a) A bomlási törvény alkalmazásával

$$3{,}7 \cdot 10^5 = 6 \cdot 10^6 \cdot 2^{-\frac{t}{14{,}2}}, \text{ azaz } 16{,}22 = 2^{\frac{t}{14{,}2}}.$$

Ebből

$$t = 14{,}2 \cdot \frac{\lg 16{,}22}{\lg 2} = 57 \text{ nap.}$$

b) A ^{32}P első előállítója *Hevesy György* (1885–1966), aki 1943-ban kapott Nobel-díjat a radioaktív nyomjelzéses vizsgálatok felfedezéséért.

2. feladat

A fénymikroszkóp felbontóképessége az a legkisebb távolság két pont között (Δx), amit még meg tudunk különböztetni. Ez arányos a mikroszkóphoz használt fény λ hullámhosszával ($\Delta x \sim \lambda$). Felgyorsított elektronokat elektromos és mágneses mezők úgy el tudnak téríteni, mint a fénysugarakat a lencsék. Ezt felhasználva elektronmikroszkópot készíthetünk. Tekintsünk egy olyan elektronmikroszkópot, ahol az elektronokat 10 kV feszültséggel gyorsítjuk.

a) Hányszor kisebb távolságokat lehet ezzel felbontani, mint a 340 nm hullámhosszúságra érzékeny fénymikroszkóppal?

b) Diszkutáljuk, hogy milyen elhanyagolásokkal, feltételezésekkel éltünk a megoldás során!

Megoldás: a) A de Broglie-összefüggés: $\lambda = h/p$, és az energiamegmaradás szerint (klasszikusan)

$$\frac{p^2}{2\,m} = e\,U.$$

Így

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2\,m\,e\,U}}.$$

Behelyettesítve a megfelelő értékeket, az elektron hullámhossza $1{,}23 \cdot 10^{-11}$ m.

A feladat szövege szerint a felbontóképesség egyenesen arányos a hullámhosszal, tehát a felbontóképességek aránya:

$$\frac{340 \cdot 10^{-9}}{1{,}23 \cdot 10^{-11}} = 27642.$$

b) Az egyik elhanyagolás az volt, hogy az elektronok lendületét nem relativisztikusan számítottuk ki. Másrészt feltételeztük, hogy az elektronmikroszkópra ugyanaz az arányossági tényező a hullámhossz és a felbontóképesség között, mint a fénymikroszkópnál. Ez nem feltétlenül van így.

3. feladat

Egy, a bőrgyógyászatban használt CO_2 lézer 10,6 μm hullámhosszúságú fényt bocsát ki, amely hegesedés nélküli beavatkozások elvégzésére alkalmas. A lézerfényt a bőrön egy 100 μm átmérőjű köralakú foltra fókuszálva ott 5 GW/m^2 teljesítménysűrűséget kapunk. Hány foton érkezik másodpercenként a bőrre?

Megoldás: A kör alakú folt területe: $A = r^2\pi = (5 \cdot 10^{-5})^2\pi = 7{,}85 \cdot 10^{-9}$ m^2. A bőrre a lézerfényből másodpercenként érkező energia (teljesítmény): $P = I \cdot A = 5 \cdot 10^9 \cdot 7{,}85 \cdot 10^{-9} = 39{,}25$ W. A lézerforrás által kibocsátott foton energiája:

$$E_0 = h\,\frac{c}{\lambda} = 1{,}876 \cdot 10^{-20}\ \text{J}.$$

A másodpercenként érkező fotonok száma:

$$\frac{E}{E_0} = \frac{39{,}25}{1{,}876 \cdot 10^{-20}} = 2{,}092 \cdot 10^{21}\ \text{db}.$$

4. feladat

A Föld természetes uránkészletét 2,2 megatonnára (Mt) becsülik. Ha ezzel az uránkészlettel termikus reaktorokban (hő formájában felszabaduló) energiát termelnénk, hány m^3 gázolajjal lenne ez egyenértékű? Csak a ^{235}U tömegszámú uránizotóp hasadásából nyerhető energiával számoljunk!

Adatok: Az uránkészlet 0,72 tömegszázaléka ^{235}U. A ^{235}U hasadásakor felszabaduló energiát vegyük 200 MeV-nek. A gázolaj adatait a *Függvénytáblázat* tartalmazza.

Megoldás: Az urán 235 atommagok száma:

$$N_1 = \frac{7{,}2 \cdot 2{,}2 \cdot 10^{12}}{235} \cdot 6 \cdot 10^{23} = 4 \cdot 10^{31}.$$

Ennek elhasításakor keletkező energia (amely hő formájában szabadul fel):

$$Q_1 = 4 \cdot 10^{31} \cdot 3{,}2 \cdot 10^{-11} = 1{,}28 \cdot 10^{21}\ \text{J}.$$

Ugyanennyi energiát

$$m_2 = \frac{Q_1}{L_f} = \frac{1{,}28 \cdot 10^{21}}{4{,}35 \cdot 10^{7}} = 2{,}94 \cdot 10^{13}\ \text{kg}$$

gázolajból nyerhetnénk. Ennek a térfogata

$$V_2 = \frac{m_2}{\rho_2} = \frac{2{,}94 \cdot 10^{13}}{840} = 3{,}5 \cdot 10^{10}\ \text{m}^3\ \text{lenne}.$$

5. feladat

A müon az elektron nagyobb tömegű változata, a tömege 207-szer nagyobb, mint az elektroné. Vegyünk egy olyan hidrogénatomot, amelyben az elektron helyét elfoglalja egy müon (ez a müónium). A hidrogénatom négy színt bocsát ki a látható fény tartományában, (Balmer-sorozat) ezek hullámhossza: ibolya: 410,1 nm; kék: 434 nm; világoskék: 486,1 nm, és piros: 656,3 nm.

Milyen hullámhosszúak a müónium által kibocsátott, ezeknek megfelelő elektromágneses hullámok? Hogy nevezzük a nagyságrendileg ilyen hullámhosszú sugarakat?

Megoldás: Az atommag körül keringő elektron n-edik pályájának energiája a következő képlettel határozható meg:

$$E_n = -\frac{m\,e^4\,Z^2}{8\,\varepsilon_0^2\,h^2} \cdot \frac{1}{n^2}.$$

Ebből látszik, hogy az atommag körül elhelyezkedő részecske energiája az m tömeggel egyenesen arányos. Valamely ($n \to k$) átmenet során kibocsátott fotonok energiája:

$$hf = E_n - E_k = m\,\frac{e^4 Z^2}{8\,\varepsilon_0^2\,h^2}\left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2}\right),$$

illetve hullámhossza:

$$\lambda = \frac{1}{m}\,\frac{h\,c}{\dfrac{e^4 Z^2}{8\,\varepsilon_0^2\,h^2}\left(\dfrac{1}{k^2} - \dfrac{1}{n^2}\right)}.$$

Mivel a müónium „Balmer-sorozatának” hullámhosszait keressük, ezért a képletben egyedül a tömeg különbözik, minden más paraméter ugyanaz marad. Így a második törtet összefoglalhatjuk egy K konstansba:

$$\lambda = \frac{1}{m}\,K.$$

Tehát a kibocsátott fotonok hullámhossza annyiszor kisebb lesz, ahányszor nagyobb tömeget kell ebbe a képletbe helyettesíteni.

A müontömeg az elektrontömeg 207-szerese, tehát a kibocsátott fotonok hullámhossza 207-szer kisebb, azaz

$$\frac{410{,}1}{207} = 1{,}98\ \text{nm}, \qquad \frac{434{,}0}{207} = 2{,}1\ \text{nm},$$
$$\frac{486{,}1}{207} = 2{,}35\ \text{nm}, \qquad \frac{656{,}3}{207} = 3{,}17\ \text{nm}.$$

Ezek már a röntgen-tartományba esnek.

Ha a tanuló a hullámmodell alapján jut arra a következtetésre, hogy a hullámhosszak 207-ed részükre csökkennek, azt is teljes értékű megoldásnak fogadjuk el.

Bár nem követelmény, de kiemelendő, ha a diák rájön arra, hogy a müóniumnál már figyelembe kell venni azt, hogy a proton és a müon tömege között nincs olyan nagy különbség, mint az elektron és a proton tömege között, ezért a fenti képletbe nem a müon tömegét, hanem a müon-proton rendszer redukált tömegét kell behelyettesíteni. Itt is célszerű a redukált tömeg és az elektrontömeg arányát kiszámítani (sőt, még pontosabb számításnál a müon redukált tömegének és az elektron redukált tömegének az arányát):

$$m_{r\mu} = \frac{m_p\,m_\mu}{m_p + m_\mu}, \qquad m_{re} = \frac{m_p\,m_e}{m_p + m_e},$$

tehát

$$\frac{m_{r\mu}}{m_{re}} = \frac{m_\mu}{m_e}\,\frac{m_p + m_e}{m_p + m_\mu} = 207\,\frac{1836 + 1}{1836 + 207} = 186{,}13.$$

Vagyis pontosabb értéket kapunk, ha 207 helyett ezzel az értékkel osztunk, azaz

$$\frac{410{,}1}{186{,}13} = 2{,}20\ \text{nm}, \qquad \frac{434{,}0}{186{,}13} = 2{,}33\ \text{nm},$$
$$\frac{486{,}1}{186{,}13} = 2{,}61\ \text{nm}, \qquad \frac{656{,}3}{186{,}13} = 3{,}53\ \text{nm}.$$

6. feladat

A CERN új gyorsítójában, a 26,7 km kerületű LHC-ben 7 TeV energiájú protonok keringenek és ütköznek. A teljes kerület mentén 2808 csomagban keringenek a protonok. Egy csomagban $1{,}15\cdot 10^{11}$ darab proton van.

a) Mekkora egy protoncsomag teljes energiája? Ha egy 150 kg tömegű kismotor ekkora mozgási energiával rendelkezne, mekkora sebességgel mozogna?

b) Mekkora a teljes kerület mentén mozgó protonok energiája? Mekkora tömegű 25 °C fokos aranytömböt lehetne megolvasztani ekkora energiával?

Adatok: az arany móltömege M = 197 g, mólhője: 25,418 J/(K·mol), olvadáspontja: 1337,6 K, olvadáshője pedig 12 550 J/mol.

Megoldás: a) 7 TeV = $7\cdot 10^{12}\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19} = 1{,}12\cdot 10^{-6}$ J egy darab részecske energiája. Egy csomag energiája tehát: $1{,}12\cdot 10^{-6}$ J $\cdot\, 1{,}15\cdot 10^{11} = 1{,}29\cdot 10^5$ J.

A kismotor sebessége

$$v = \sqrt{\frac{2E}{m}} = \sqrt{\frac{2{,}58\cdot 10^5}{150}} = 41{,}47\ \text{m/s} \approx 149\ \text{km/h}.$$

b) A teljes kerület mentén mozgó összes proton energiája: $E_{\text{össz}} = 1{,}29\cdot 10^5$ J $\cdot$ 2808 = 362,2 MJ. Nyilván $E_{\text{össz}} = c\cdot m\cdot\Delta T + L\cdot m$, amiből kapjuk:

$$m = \frac{E_{\text{össz}}}{c\,\Delta T + L} =$$
$$= \frac{3{,}622\cdot 10^8}{25{,}418\cdot(1337{,}6 - 298) + 12550} = 9293\ \text{mol}.$$

Ennek a tömege 1830,8 kg.

7. feladat

Egy 25 keV mozgási energiával rendelkező elektron esetén hány %-os relatív hibát követünk el de Broglie-hullámhosszának kiszámításakor, ha relativisztikus számolás helyett a klasszikus utat választjuk? És neutron esetén?

Megoldás: A de Broglie-hullámhossz: $\lambda = h/p$. A klasszikusan, illetve relativisztikusan számolt hullámhosszak annyiban térnek el, hogy az egyiknél a lendületet klasszikusan, a másiknál relativisztikusan kell meghatározni a részecske mozgási energiájának segítségével.

Klasszikusan

$$p_k = \sqrt{2\,m_0\,E_m},$$

ahol E_m a részecske mozgási energiája, m_0 pedig a (nyugalmi) tömege. Innen

$$\lambda_k = \frac{h}{\sqrt{2\,m_0\,E_m}}.$$

Relativisztikusan

$$E_m = \sqrt{p^2 c^2 + \left(m_0 c^2\right)^2} - m_0 c^2,$$

amiből átrendezés és négyzetre emelés után kapjuk:

$$p^2 c^2 = E_m\left(E_m + 2\, m_0\, c^2\right).$$

Végül tehát a lendület relativisztikus kifejezése a mozgási energiával:

$$p_r = \frac{1}{c}\sqrt{E_m\left(E_m + 2\, m_0\, c^2\right)}\ .$$

Ennek alapján tehát

$$\lambda_r = \frac{h\, c}{\sqrt{E_m\left(E_m + 2\, m_0\, c^2\right)}}.$$

A relatív eltérés:

$$s = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_r} = \frac{\lambda_k - \lambda_r}{\lambda_r} = \frac{\lambda_k}{\lambda_r} - 1 =$$

$$= \frac{\sqrt{E_m\left(E_m + 2\, m_0\, c^2\right)}}{\sqrt{2\, m_0\, c^2\, E_m}} - 1 = \sqrt{1 + \frac{E_m}{2\, m_0\, c^2}} - 1.$$

Ebből adódik elektron esetén:

$$\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)_e = \sqrt{1 + \frac{4\cdot 10^{-15}}{2\cdot 9\cdot 10^{-31}\cdot 9\cdot 10^{16}}} - 1 =$$

$$= 0{,}0123 = 1{,}23\%.$$

Neutron esetén:

$$\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right)_n = \sqrt{1 + \frac{4\cdot 10^{-15}}{2\cdot 1{,}67\cdot 10^{-27}\cdot 9\cdot 10^{16}}} - 1 =$$

$$= 0{,}0000067 = 0{,}00067\%.$$

8. feladat

A paksi atomreaktorokban a víz alulról felfelé áramlik keresztül az aktív zónán. A nyitott, „medence” típusú oktató- és kutatóreaktorokban viszont a sugárvédelmi szakemberek javaslatára felülről lefelé keringetik a hűtővizet. Mi lehet ennek az oka?

Megoldás: A reaktor belsejében keletkezhetnek radioaktív izotópok (aktivációs termékek), amelyek a hűtővízbe kerülhetnek, vagy már eleve a vízben voltak (pl. oldott sók). Ha lefelé kering a hűtővíz, akkor mire a víz körbeér, és ismét a felszínre kerül, addigra a rövid felezési idejű aktivációs termékek elbomlanak, így a környezetet érő sugárterhelés csökkenthető. Az energiatermelő reaktorokban a hűtővíz hermetikusan el van zárva a környezettől, így ez nem tervezési szempont.

9. feladat

A Nap fő energiatermelő folyamata az úgynevezett pp-ciklus, amelynek során (több részfolyamatban) végeredményben négy protonból hélium keletkezik: $4\,p \rightarrow {}^4\mathrm{He} + 2\,e^+ + 2\,\nu_e + 26$ MeV.

A Nap anyagának összetétele kezdetben: 75% (tömegszázalék) hidrogén, 25% hélium. A Nap működésének első 7 milliárd évében a kezdeti protontartalom körülbelül 10%-a alakul át a pp-ciklusban. A Nap átlagos sugárzási teljesítménye (luminozitása) $L \approx 3{,}86\cdot 10^{26}$ W. Ezek alapján becsüljük meg a következőket:

a) Kezdetben átlagosan hány proton lehetett a Napban?

b) Mekkora volt a Nap teljes tömege?

c) Mennyit változik a Nap tömege 7 milliárd év alatt a kisugárzott energia következtében?

Adatok: a proton tömegét vegyük a *Függvénytáblázat*ból!

Megoldás: Első lépésben azt határozzuk meg, hogy a Napban az adott energiatermelési szakaszban összesen hány pp-ciklus zajlott le. Ehhez a kisugárzott teljes energiát el kell osztani egyetlen pp-ciklus alatt felszabadult energiával:

$$N_{pp} = \frac{t\cdot L}{\Delta E} = \frac{7\cdot 10^9\cdot 365\cdot 24\cdot 3600\cdot 3{,}86\cdot 10^{26}}{1{,}602\cdot 10^{-19}\cdot 26\cdot 10^6} =$$

$$= 2{,}046\cdot 10^{55}.$$

Tudjuk, hogy egy pp-ciklusban 4 proton vesz részt, tehát a folyamat során összesen $4 N_{pp} = 8{,}183\cdot 10^{55}$ proton fogyott el. Mivel a Nap kezdeti protontartalmának mindössze 10%-a vett részt az energiatermelésben, könnyen kiszámíthatjuk a kezdeti teljes protonszámot:

a) $N = 8{,}183\cdot 10^{55}/0{,}1 = 8{,}183\cdot 10^{56}$.

Ennyi proton tömege: $M^p = 8{,}183\cdot 10^{56}\cdot 1{,}672\cdot 10^{-27} = 1{,}37\cdot 10^{30}$ kg. A protonok a Nap tömegének csak 75%-át tették ki, tehát a Nap kezdeti tömege:

b) $M = 1{,}37\cdot 10^{30}/0{,}75 = 1{,}82\cdot 10^{30}$ kg

c) A 7 milliárd év alatt kisugárzott teljes energia:

$$N_{pp}\cdot 26\ \text{MeV} = 2{,}46\cdot 10^{55}\,\frac{26\cdot 10^6}{1{,}602\cdot 10^{19}} = 8{,}522\cdot 1043\ \text{J}.$$

Ennek megfelelő tömeg:

$$\Delta M = \frac{E}{c^2} = \frac{8{,}522\cdot 10^{43}}{9\cdot 10^{16}} = 9{,}47\cdot 10^{26}\ \text{kg}.$$

Ez ugyan óriási tömeg (kb. százötvenszer akkor, mint a Föld tömege), de a Nap kezdeti tömegének mindössze 5 tízezreléke.

Megjegyzések:

1) A megoldás során feltételeztük, hogy a 7 milliárd év alatt a Nap luminozitása nem változik. Ez a valóságban nincs így.

2) Az irodalomban megtalálható (*Particle Physics Booklet,* 2004) naptömeg: $1{,}98844(30)\cdot 10^{30}$ kg. Látható, hogy ezzel az egyszerű gondolatmenettel is már nagyságrendileg jó eredményt kapunk.

10. feladat

Az úgynevezett „mikrorobbantásos” fúziós berendezésekben nagy, gömb alakú reaktorkamrába egyenként belőtt kicsiny üzemanyag-kapszulákat hevítenek lézerekkel, ily módon indítva be a fúziós reakciót. Egy 1 mm átmérőjű üzemanyag-kapszula térfogatának fele 1000 kg/m^3 sűrűségű deutérium-trícium (D-T) keverék, a másik fele egyéb anyag.

a) Számítsuk ki, hogy egy 1 GW termikus teljesítményű fúziós erőműnél másodpercenként hány kapszulát kell felrobbantani, ha az elégetett üzemanyag aránya 30%. Számoljunk csak a fúzióban felszabaduló energiával!

b) Milyen korrekciók lennének még az energiamérleghez, ha nem csak a fúziós reakcióban felszabaduló összes energiával számolnánk? (Nem számszerű eredményt várunk!)

c) A kapszula másik felét alkotó adalékanyagok elpárolognak, és egyenletesen lerakódnak a 10 m átmérőjű, gömb alakú reaktorkamra falán. Milyen vastag réteg képződik ezekből egy év alatt?

Adatok: a D-T (^{2}H + ^{3}H) fúziós reakció adatait vegyük a *Függvénytáblázat*ból!

Megoldás: a) Egy kapszula térfogata:

$$V = \frac{4\,r^3\pi}{3} = \frac{4\cdot\left(5\cdot 10^{-4}\right)^3\cdot\pi}{3} = 5{,}2\cdot 10^{-10}\ \mathrm{m}^3.$$

Ennek fele D-T keverék. A kapszulában lévő D-T tömege: $m = \rho\cdot V = 1000\cdot 2{,}6\cdot 10^{-10} = 2{,}6\cdot 10^{-7}$ kg. Ennek 30%-a vesz részt a reakcióban, ezért a reakcióban résztvevő tömeg: $7{,}8\cdot 10^{-8}$ kg. Egy D-T „pár” móltömege 5 g, ezért

$$\frac{7{,}8\cdot 10^{-5}}{5}\cdot 6\cdot 10^{26} = 9{,}36\cdot 10^{18}\ \text{részecskepár van.}$$

Egyetlen kapszulából keletkező energia:

$$E = 9{,}36\cdot 10^{18}\cdot 17{,}62\ \mathrm{MeV} = 26{,}4\ \mathrm{MJ}.$$

Innen a robbanások gyakorisága:

$$f = \frac{10^9\ \mathrm{J/s}}{26{,}4\cdot 10^6\ \mathrm{J}} = 38\ \mathrm{Hz}.$$

b) A fúzióban felszabaduló energia jelentős részét (kb. 80%-át) a neutronok viszik el. Bár a neutronok nagy részét a reaktort körülvevő köpenyben befogják, egy részük mégis kiszökhet a reaktorból. Az ezek által elvitt energia nyilván nem hasznosítható, csökkenti az energiamérleget. Másrészt azonban a köpenyben befogott neutronok nemcsak a mozgási energiájukat adják le, hanem további magreakciókat is létrehozhatnak, amelyek további (esetleg hasznosítható) energiaforrást jelenthetnek. Ez viszont növelheti a megtermelt energiát.

c) Egy év alatt $38\cdot 3600\cdot 24\cdot 365 = 1{,}2\cdot 10^9$ kapszulát kell „felrobbantani”. A kapszulák térfogatának fele rakódik le a reaktortartály felszínére, azaz

$$d\,4\pi R^2 = 1{,}2\cdot 10^9\,\frac{V}{2} = 1{,}2\cdot 10^9\cdot 2{,}6\cdot 10^{-10} = 0{,}312\ \mathrm{m}^3.$$

Mivel $R = 5$ m, ezért a lerakódott réteg vastagsága

$$d = \frac{0{,}312}{4\pi\cdot 5^2} = 1\ \mathrm{mm}.$$

✧

Az elődöntő feladatait 51 fő I. kategóriás, és 16 fő junior versenyző teljesítette olyan szinten, hogy dolgozataikat a javító tanárok tovább tudták küldeni a BME Nukleáris Technika Tanszékére további rangsorolás végett. A beküldött dolgozatokból választotta ki a zsűri a legjobb húsz I. kategóriás, és a legjobb tíz junior versenyzőt, akiket behívtak a döntőbe.

BECSLÉSI VERSENY AZ ÁRPÁD VEZÉR GIMNÁZIUM ÉS KOLLÉGIUMBAN

Bigus Imre
Árpád Vezér Gimnázium, Sárospatak

A matematikában és a természettudományokban, de a mindennapi életben is gyakran előfordulnak olyan problémák, feladatok, amikor valaminek az értékét nem határozzuk meg pontosan, vagy azért, mert nincs rá szükségünk, vagy azért, mert nem is tudjuk meghatározni. Ezekben az esetekben megpróbálunk valamilyen becsült értéket adni. Sok esetben az érzékelt (látott, hallott, tapintott) jelenségeket a bennünk kialakult képességek alapján igyekszünk térben és időben elhelyezni, becsüljük a nagyságot, a tőlünk való távolságot. Egyes emberekben nagyon pontos időérzék alakul ki, mások térbeli látása, tájékozódása kiváló.

Megtervezik, mennyi lesz a privatizációs bevétel vagy a gazdaság egyes ágazataiban a termelés, a fogyasztás, megbecsülik, mennyi jut az oktatásra a nemzeti jövedelemből. A mezőgazdaságban becsüljük a várható termést, a kárszakértő becsüli a kárt. Természetesen becsléskor bizonyos dolgoktól eltekintünk, így a becslési adatok nem minden esetben felelnek meg az adott terület szakemberei által igényelt szintnek.

Melyek azok az oktatási értékek, amelyek a becslési képesség növelésében rejtőznek?

Úgy gondolom, hogy a becslési képesség fejlesztése elősegíti a matematikai képességek és a mindennapi életben a helyes döntések számának növekedését. Ezért a tanulókat meg kell tanítani arra, hogy legyenek képesek a mindennapi életben használt méretek, mértékek, árak becslésére.

A Márai Sándor Gimnázium (Kassa) csapatának posztere

A mérést tanítjuk az iskolában, de a becslést nem, noha a becslési képesség fejlesztésének jelentős szerepe van az egyén más egyéb képességének fejlesztésében is. Az általános intelligencia, a matematikai képesség, készség olyan változók, amelyek kapcsolatban vannak a becslési képességgel.

Ha olyan becslési feladatot adunk, amelyben számolni is kell, akkor a számolási készségüket is növeljük.

Ha a tanuló jól becsül, növekszik az önértékelése, és természetesen az önkontrollja is: arra a kérdésre, hogy mennyi a gyalogos sebessége, nem fogadja el azt az eredményt, hogy 100 km/h, hanem keresi a hibát, hogy hol rontotta el a számolást.

Ezen tanulói képességek fejlesztésére vállalkozunk évek óta az Árpád Vezér Gimnázium és Kollégiumban (ÁVG), amikor megszervezzük ezt a nem mindennapi fizikai becslési versenyt. Becslési versenyt nem rendeznek sehol az országban, sőt a nagyvilágban sem rajtunk kívül. A verseny ötlete *Kolláth Éva, Szeder László* és jómagam fejében fogant meg, és *Radnai Gyula* egyetemi docens támogató közreműködésével jött létre.

Az első becslési versenyt 1995. január 25-én rendeztük Temesvár, Kassa, Királyhelmec, Nagykapos, Munkács, a Sárospataki Református Kollégium Gimnáziuma és az Árpád Vezér Gimnázium csapatának részvételével.

A 2001/2002-es tanévtől a Hátrányos Helyzetű Tanulók Arany János Tehetséggondozó Programjában (AJTP) tevékenykedő iskolák részvételével bővítettük a versenyt, így ma már egy időben, ám két – határon túli és AJTP-s – kategóriában versengenek a csapatok.

A versenykiírás szerint hagyományosan egy-egy neves fizikus személyiségéről, munkásságáról emlékezünk meg. Az évek alatt már felidéztük *Jedlik Ányos, Eötvös Loránd, Szilárd Leó, Mikola Sándor, Bolyai János, Öveges József, Lénárd Fülöp, Bánki Donát, Teller Ede* és a fizika évében *Albert Einstein* munkásságát. Ennek formái színvonalas előadások, a versenyzők részéről megoldott (életrajzi és fizikai) totók, illetve otthon elkészített poszterek voltak.

A versenyfeladatsor az évek során kreatív feladatokkal is bővült, így ma már saját kezű eszközkészítést is elvárunk a csapatoktól. A verseny záró részét szóbeli becslési feladatok jelentik.

A sárospataki Árpád Vezér Gimnázium és Kollégium 2009. október 9–10-én 15. alkalommal rendezte meg a fizika becslési versenyt a határon túli testvériskoláink részvételével, az AJTP-iskolák pedig 9. alkalommal jöttek el a versenyre.

A verseny népszerűségét bizonyítja az a tény, hogy évről évre nő a csapatok száma. Ebben az évben 20 csapat vetélkedett egymással.

A versenyt 2009. október 9-én 14 órakor *Tóth Tamás,* az ÁVG igazgatója nyitotta meg. Megnyitójában megemlékezett a Nobel-díjas *Békésy György*ről és arról, hogy ebben az évben 300 éves a kísérleti fizika oktatása Sárospatakon, hiszen *Simándi István* 1709. június 29-én már kísérleti fizikai bemutatót tartott *II. Rákóczi Ferenc* fejedelemnek.

Álljon most itt az idei év versenyprogramja és a versenyfeladatsora a becslési verseny egyediségének, hasznosságának bizonyítékaként.

Az első napon Radnai Gyula, az ELTE docense tartott érdekes előadást *Békésy György, a kutató* címmel.

Ezen a délutánon nyílt meg a poszterkiállítás is: a 3 fős csapatok még otthon posztert készítettek Békésy György tevékenységéről, megadott szakirodalom alapján (Békésy György életéről és munkásságáról a *Fizikai Szemle* 1999/7, 1999/10 számaiból, Radnai Gyula: A megfigyelés öröme – Békésy György születésének 100. évfordulójára. *Természet Világa* 1999. június, Cornides István: Békésy György, a budapesti egyetem fizikaprofesszora. *Természet Világa* 1999. október).

A kreatív munka másik eleme a saját kezűleg készített vizesrakéta bemutatása volt. Nagyon sok ötletes és ügyes megoldású rakétát láthatott a zsűri és a közönség. Kit ne bűvölt volna el az az egyedi készítésű rakéta, amelyet a levegő helyett a szódabikarbóna fejlesztette gáz hajtott?

A verseny második napján a gyakorlati becslési feladatokkal, valamint a Békésy-totó és a fizikai totó megoldásával folytatódott a verseny.

Értékelés nélkül nem zárulhat verseny: *Pántyané Kuzder Mária,* Borsod-Abaúj-Zemplén megyei szak-

Indul a vizesrakéta

tanácsadó, Radnay Gyula, az ELTE docense, *Härtlein Károly,* a BME Fizika Intézete demonstrációs laboratóriumának vezetője alkotta zsűri bírálta a csapatok feladat-végrehajtását.

A kiváló atmoszférájú vetélkedő versenyfeladatai a következők voltak.

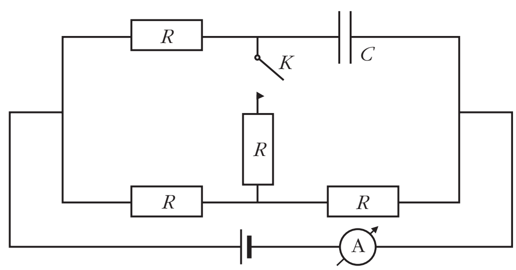
Békésy-totó

1. Milyen Nobel-díjat kapott Békésy György?
   1 fizikai
   2 kémiai
   X orvosi
2. Hol érettségizett Békésy György?
   1 Budapesten
   2 Bernben
   X Zürichben
3. Mikor választották a Magyar Tudományos Akadémia levelező tagjává?
   1 1933
   2 1939
   X 1940
4. Békésy 1946-ban Stockholmba kapott egyéves ösztöndíjat. Távozása után ki vette át a tanszéke ideiglenes vezetését?
   1 Cordines István
   2 Náray-Szabó István
   X Rybár István
5. Miből szerzett diplomát Békésy György Svájcban Bern egyetemén?
   1 kémiából, vegyészmérnökit
   2 fizikából, fizikusit
   X biológiából, orvosit
6. Hol található a „Békésy Laboratórium”?
   1 Stockholm
   2 Boston
   X Honolulu
7. Kinek a felesége lett a húga, Békésy Lola?
   1 Németh László
   2 Kertész Imre
   X Passuth László
8. Amikor az Amerikai Tudományos Akadémia tagja lett, válaszolnia kellett egy kérdőívre. „Fő érdeklődési köre?” Válasz:
   1 zene
   2 művészet
   X kutatás
9. Ki engedte át az interferenciális refraktort Békésy Györgynek doktori disszertációja elkészítéséhez?
   1 Tarnóczy Tamás
   2 Tangl Károly
   X Strauss Ármin
10. Melyik állítás igaz? Békésy a Posta Kísérleti Állomáson a telefonvonalak zajosságát vizsgálta. Hallás után meg tudta állapítani, hogy
    1 mi a hiba a vonalban.
    2 hol van a hiba a vonalban.
    X mi a hiba, és hol van a hiba a vonalban.
11. Mikor nevezték ki a Budapesti Tudományegyetem Gyakorlati Fizika Tanszékének vezetésére?
    1 1930
    2 1933
    X 1940
12. Harlan Cleveland szerint mi jelentett a legtöbbet Békésy Györgynek?
    1 hogy 1961-ben megkapta a Nobel-díjat
    2 hogy a Semmelweis Orvostudományi Egyetem díszdoktorává fogadta
    X hogy műkincseit a magyar múzeumoknak adományozhatta
13. Bárány Róbert 1928-ban meghívta Békésy Györgyöt Uppsalába tanársegédnek. Mivel utasította el a meghívást?
    1 „félek, hogy Uppsala még mindig nagyon hideg és sötét, esetleg összeszedek egy tüdőbajt”
    2 „hogy segíteni kell Magyarország újjáépítésében”
    X családi okokra hivatkozott

+1. Élete során hány tudományos dolgozatot publikált?
    1 kb. 100
    2 kb. 160
    X kb. 300

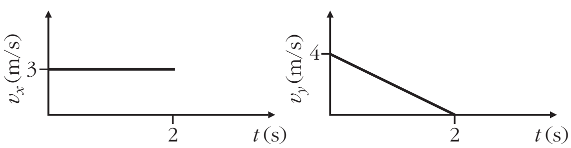
Fizikai totó

1. Az *ábrá*n látható kapcsolásban minden ellenállás *R,* a kondenzátor és az ampermérő ideális. Hogyan változik az ampermérő árama, ha a *K* kapcsolót zárjuk?
   1 nő
   2 nem változik
   X csökken

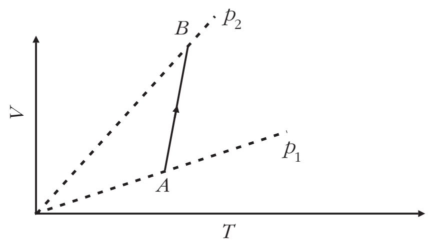


2. Egy poharat teljesen megtöltünk 4 °C vízzel. Mikor folyik ki a víz a pohárból? A pohár hőtágulásától eltekintünk.
   1 ha melegítjük
   2 ha hűtjük
   X mind a két esetben
3. Melyik állítás hamis?
   1 A nagyobb frekvenciájú hangot az ember magasabbnak hallja.
   2 Az ember csak a 20 Hz és a 2000 Hz közötti frekvenciájú hangokat érzékeli
   X Az emberi fülben csak azok a hangok keltenek különálló hangérzetet, amelyek között legalább 0,1 s idő telik el.

4. Hogyan változik a fény hullámhossza, ha üvegből lép a levegőbe?
   1 A fény hullámhossza nő.
   2 A fény hullámhossza nem változik.
   X A fény hullámhossza csökken.
5. Hányszorosa az első felharmonikus hang frekvenciája az alaphang frekvenciájának az egyik végén zárt sípban?
   1 másfélszerese
   2 háromszorosa
   X négyszerese
6. Egy V_0 sebességgel ellökött test s út megtétele után megáll. Mit mondhatunk a sebességről az út felénél?
   1 $V < V_0/2$
   2 $V = V_0/2$
   X $V > V_0/2$
7. Izobár állapotváltozás során a héliumgáz 500 J tágulási munkát végez. Hogyan változik a belső energiája?
   1 500 J-lal nő
   2 750 J-lal nő
   X 1250 J-lal nő
8. Egy test vízszintesen az Y,X síkban mozog. A test sebesség-idő grafikonja az *ábrá*n látható. Mennyi a test gyorsulása a t = 2 s pillanatban?
   1 2 m/s^2
   2 1 m/s^2
   X 1,5 m/s^2



9. Egy test sebessége V_0-ról a felére csökken, és közben 30 m utat tesz meg. Mennyi utat tesz meg még a megállásig, ha továbbra is ugyanúgy lassul?
   1 15 m
   2 10 m
   X 7,5 m
10. Homogén elektrosztatikus térben ugyanazon az erővonalon helyezkedik el A és B pont. A távolságuk d_{AB} = 20 cm és U_{AB} = 30 V a feszültség közöttük. Mennyi az elektromos mező térerőssége ugyanazon az erővonalon lévő C és D pontok között, ha a távolságuk d_{CD} = 10 cm?
   1 150 N/C
   2 75 N/C
   X 300 N/C
11. Egy körív alakú R = 40 m sugarú domború híd legfelső pontján 820 kg tömegű autó halad 72 km/h sebességgel. Mekkora erővel nyomja a hidat?
   1 F_{ny} = 8200 N
   2 F_{ny} < 8200 N
   X F_{ny} = 0 N
12. Az *ábra* állandó mennyiségű ideális gáz állapotváltozását mutatja a V–T grafikonon. Hogyan változik a gáz nyomása, ha A-ból B-be jut?
   1 növekszik a nyomás
   2 csökken a nyomás
   X nem változik a nyomás

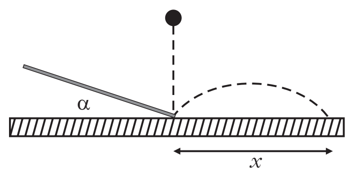


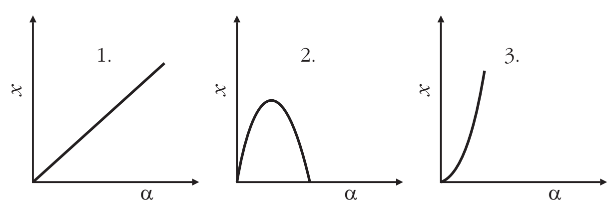
13. Az őrháztól vonat távolodik, és Δt = 5 s ideig hangjeleket ad. Menyi ideig hallja a hangjelzést az őrház mellett álló megfigyelő, ha a vonat távolodik tőle?
   1 kevesebb, mint 5 s ideig
   2 5 s ideig
   X hosszabb, mint 5 s ideig

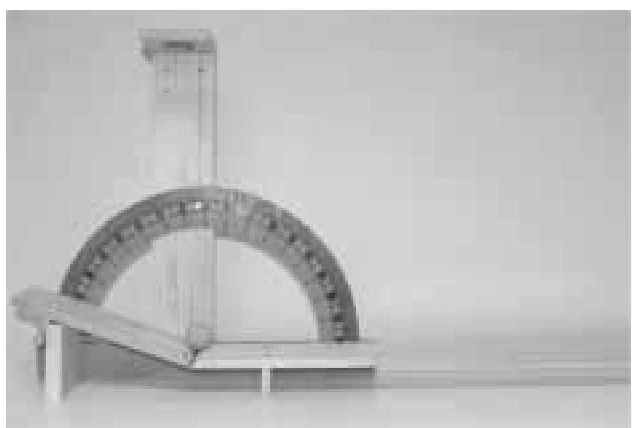
+1. A harmonikus rezgőmozgás kitérése az amplitúdó $\sqrt{2}/2$-szerese. Hányszorosa a gyorsulása a maximális gyorsulásnak?
   1 a fele
   2 $\sqrt{3}/2$-szerese
   X $\sqrt{2}/2$-szerese

Szóbeli feladatok

1. Ejtsünk h magasból pingponglabdát a lejtőre. Becsüljük meg, hogy mekkora α szög esetén fog a ping-







ponglabda a lehető legtávolabbra pattanni a lejtő aljától adott h magasság esetén!

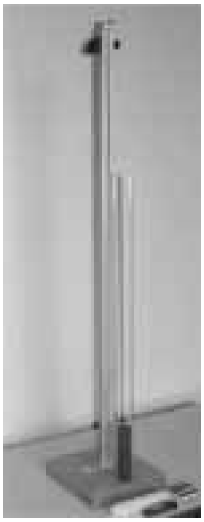
A becsült szög: α =

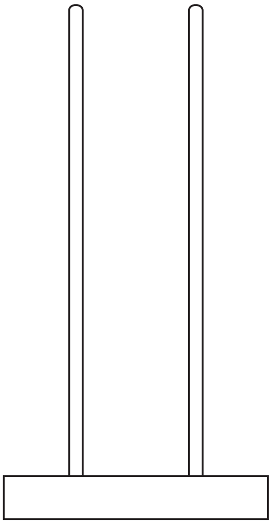
Végezd el a kísérletet!

Becsüld meg, hogyan változik az X távolság a lejtő α szöge függvényében!

2. Két 40-50 cm hosszú vékony üvegcsövet deszkába erősítünk. A két üvegcső közé égő gyufát tartunk. Mi történik a cső felső végével?

1 Semmi, távolságuk nem változik.
2 A két cső közeledik egymáshoz.
X A két cső távolodik egymástól.





Becsüld meg, hogy mennyi lehet a 320,8 m magas párizsi Eiffel-torony oldalirányú kitérése a nyári melegben az árnyékos oldalhoz képest!

A becsült érték: Δl = ……… cm

Becsüld meg, hogy a New Yorkban lévő 2040 m hosszú Verrazano-hídon az acélkábeleken függő úttest a nyári és téli hőmérsékletváltozás következtében mennyit süllyed!

A becsült érték: Δl = ……… cm

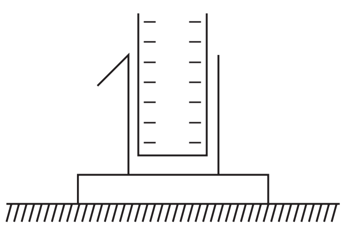
Becsüld meg, hogy a 314 m magas lakihegyi rádiótorony hossza mennyivel változik meg a téli −30 °C és a nyári 40 °C hőmérsékletváltozás következtében!

A becsült érték: Δl = ……… cm

3. Szigetelőállványra szerelt konzervdoboz külső oldalára alufóliacsíkot teszünk. Helyezzünk a konzervdobozba egy negatív töltésű műanyagpoharat.

Mi történik az alufóliával? Milyen töltés hatására? Indokold meg, miért!

A konzervdobozt érintsük meg a kezünkkel. Mi történik az alufóliával?



Vegyük ki a műanyagpoharat! Mi történik az alufóliával?

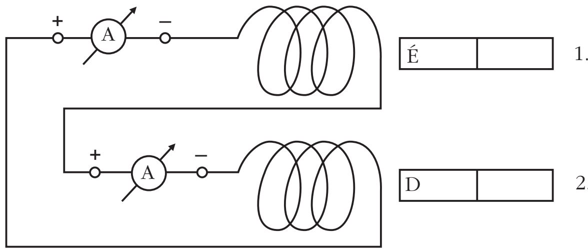
Végezd el a kísérletet!

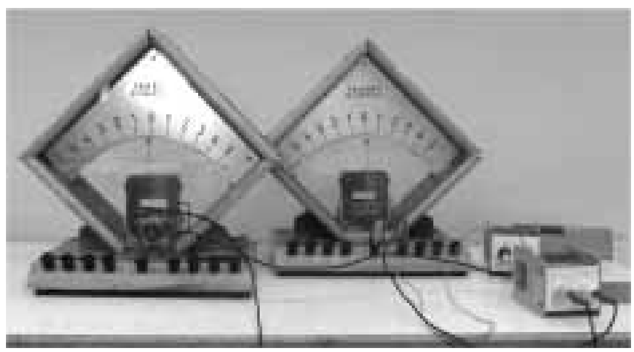
4. Két 1200 menetes tekercset és két ampermérőt az *ábrá*n látható módon kapcsolunk össze. Told be az 1-es mágnest! Figyeld meg, mi történik!

Mi történik, ha a 2-es mágnest betoljuk?

Mi történik, ha a két mágnest egyszerre betoljuk?

Becsüld meg, mi történik, ha az egyiket (1-es) betoljuk, a másikat (2-es) kihúzzuk a tekercsből!





5. Mérd meg a pénzérme tömegét a digitális mérleggel! A pénzérme tömege: m =

Ismerve a pénzérme tömegét a rendelkezésedre álló eszközök segítségével (pénzérme, vonalzó, ék) becsüld meg a vonalzó tömegét!

A vonalzó tömege: M =

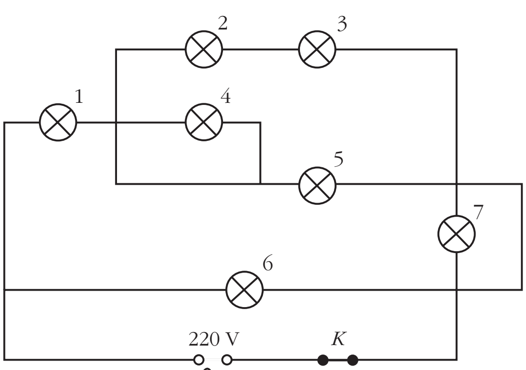
Röviden írd le az eljárásod, becslésed lényegét!

6. Keresd meg a térképen Békésy György szülőházát! A szülőháza száma:

Keresd meg Békésy György szobrát! Írd le a Békésy szobor sorszámát!

Ki készítette az itt látható szobrot Békésy Györgyről? A szobrot készítette:

7. Az *ábra* szerinti kapcsolásban mindegyik izzó azonos 220 V, 15 W.

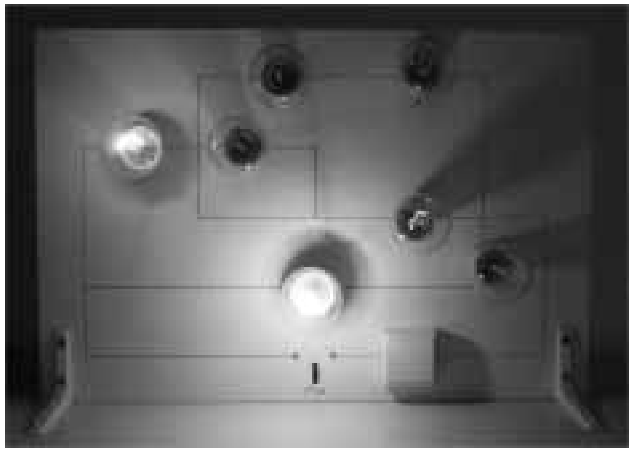


Állítsad sorba az izzók sorszámát a csökkenő fényerejük szerint! Kezdd azzal, amelyik legerősebben világít! Az izzók sorrendje csökkenő fényerő szerint:

Becsüld meg, lesz-e olyan izzó, amelyik nem világít! Nem világít:

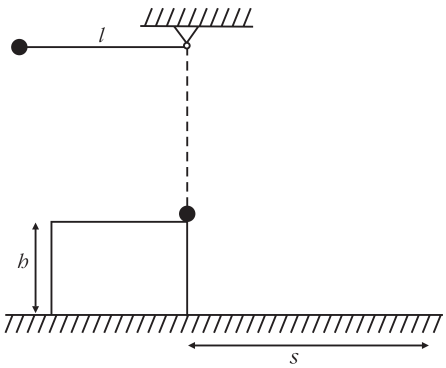
Becsüld meg, vannak-e olyan izzók, amelyek fénye azonos!

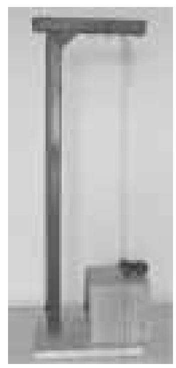
Kapcsold be és ellenőrizd becslésed!



8. Az l hosszúságú fonálingát 90°-kal kitérítjük, majd elengedjük. A fonálinga golyója tökéletesen rugalmasan ütközik egy vele azonos golyóval, az *ábra* szerint.

Becsüld meg, hogy mekkora s távolságra ér földet a golyó, ha $h = l/4$! A becsült érték: s = …… cm.





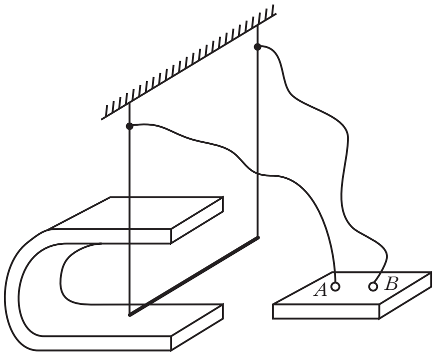
9. Békésy György doktori disszertációját Tangl Károlynál írta és vizsgálta, hogy az oldatok koncentrációváltozása következtében hogyan változik az oldatok törésmutatója. A rendelkezésedre álló eszközök segítségével mérd a törésmutatót!

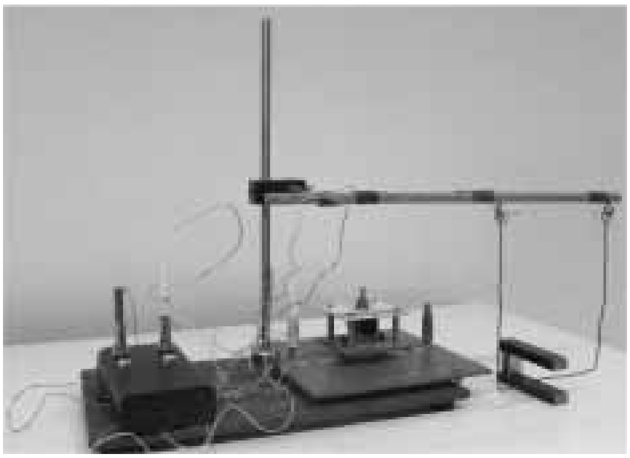
10. Becsüld meg, hogy melyik a feszültségforrás pozitív és negatív pólusa a feketedobozban!

A pozitív pólus:

A negatív pólus:

Röviden indokold meg állításod!



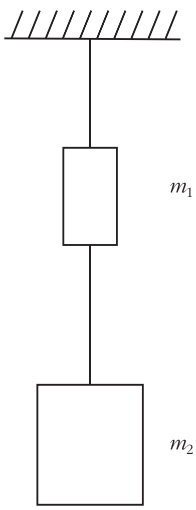


11. Az m és $2m$ tömegű testeket gumiszállal egymáshoz kötjük, majd fonállal felfüggesztjük őket az *ábrá*n látható módon. A fonalat az $m_1 = m$ tömegű test fölött elvágjuk. Mekkora lesz a testek gyorsulása közvetlenül a fonál elvágása után?

Az $m_1 = m$ tömegű test a_1 gyorsulása:

Az $m_2 = 2m$ tömegű test a_2 gyorsulása:

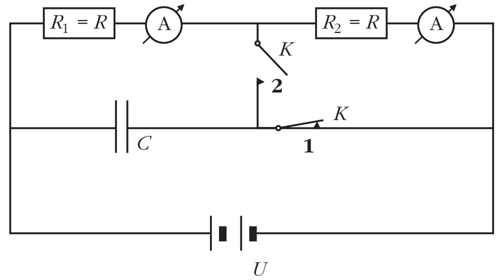
A rendszer tömegközéppontjának a gyorsulása közvetlen a fonál elvágása után:

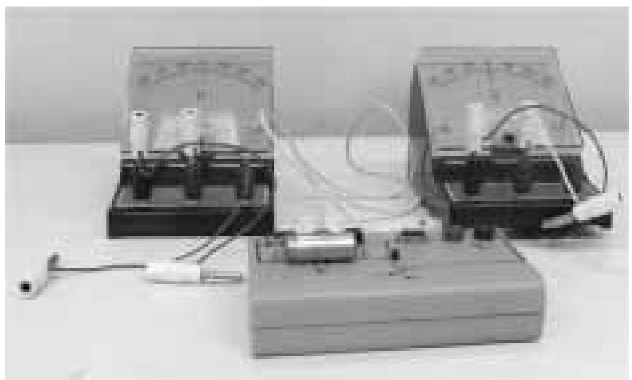


12. Az *ábrá*n látható kapcsolásban a kapcsoló 1-es állásban van már elég régen. $C = 1000\ \mu F$, $R = 30\ k\Omega$, $U = 9$ V. Mekkora lesz az egyes ellenállásokon átfolyó áramerősség a kapcsoló 2-es állásba kapcsolása után a) közvetlenül, b) hosszabb idő elteltével? Válaszoljunk a kérdésre, becsüljük meg, mi fog történni! Végezzük el a kísérletet!

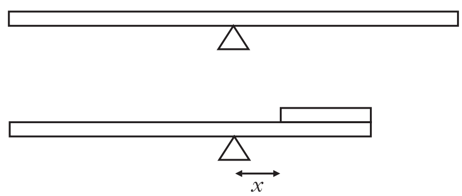
a) Közvetlenül átkapcsolás után:
   A becsült érték: I_1 = ……, I_2 = …….
   A mért érték: I_1 = ……, I_2 = …….

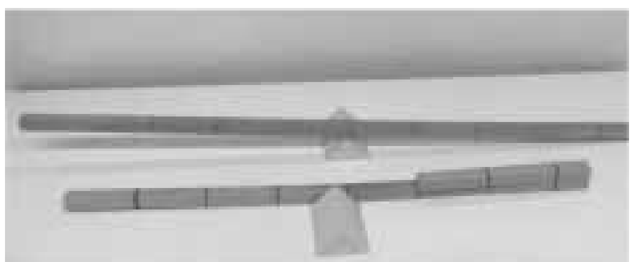
b) Hosszabb idő elteltével:
   A becsült érték: I_1 = ……, I_2 = …….
   A mért érték: I_1 = ……, I_2 = …….





13. 1 m hosszú egyenes keresztmetszetű méterrudat középen ékre támasztunk és vízszintes helyzetben kiegyensúlyozunk. A méterrúd egyik felét kettévágjuk és a levágott darabot a maradék részre helyezzük. Becsüld meg mennyivel kell eltolni az alátámasztást, hogy ismét egyensúlyban legyen! Végezd el a kísérletet!





14. Ha egy testet h_1 magasból márványlapra ejtünk, az v_1 sebességgel ütközik neki a márványlapnak és v_2 sebességgel pattan vissza h_2 magasra. A K ütközési tényező:

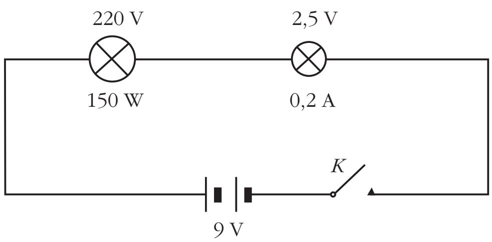
$$K = \frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}\,.$$

Mérd meg az ütközési tényezőt! K = ……

Ha 1 m magasból leejtünk egy golyót és az 50 cm-re pattan vissza, akkor becsüljük meg, hogy a golyó pattogva a teljes megállásig mennyi utat tesz meg!

1 2 m
2 3 m
X 4 m

15. Csavarjuk be a búra nélküli 150 W-os hálózati izzót a foglalatba! Sorba kapcsoltunk vele egy 2,5 V, 0,2 A-es zsebizzót és 9 V-os zsebtelepre kapcsoltuk. Az izzó halványan világít.



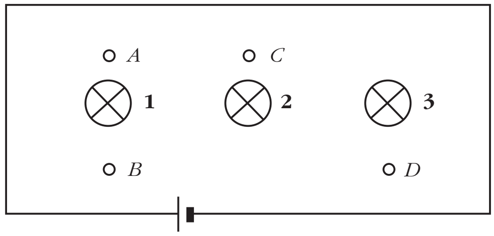
a) Fújjunk rá az izzószálra! Becsüld meg, mi fog történni!

b) Melegítsük az izzószálat! Becsüld meg, mi fog történni!

16. Becsüld meg, hogy milyen kapcsolás van az elektromos feketedobozban! Teszteld A–B, A–C, B–C, B–D és C–D összekapcsolásával!

a) Becsüld meg, mi fog történni, ha az A-t a C-vel és a B-t a D-vel összekapcsolod!

b) Becsüld meg, mi fog történni, ha az A-t a D-vel kapcsoljuk össze!



A fizika mindennel összefügg. Vajon felkelthetjük-e a sportot kedvelők érdeklődését a fizika iránt, ha azt kérdezzük tőlük, meddig javíthatók a rekordok a sportban? Hisszük, hogy igen, hisz az olimpiai jelmondatban is szerepel: „gyorsabban, magasabbra, erősebben”.

Szakszerűen így hangzik a feladat: Becsülje meg, mennyi lehet a magasugrás rekordja! A versenyző futással nekirugaszkodik, maximálisan 10 m/s sebességre gyorsul fel, ismerve a függőleges hajítás maximális emelkedési magasságára vonatkozó összefüggést

$$h_{\max} = \frac{v_0^2}{2\,g} = 5\ \text{m}$$

adódik. Ezt a magasságot még messze nem érték el sportolóink.

Tehát még van mit tenni a versenyzőknek, edzőknek, de úgy gondolom, nekünk fizikát tanító pedagógusoknak is.

Szerkesztőség: 1027 Budapest, II. Fő utca 68. Eötvös Loránd Fizikai Társulat. Telefon/fax: (1) 201-8682
A Társulat Internet honlapja http://www.elft.hu, e-postacíme: mail.elft@mtesz.hu
Kiadja az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, felelős: Szatmáry Zoltán főszerkesztő.
Kéziratokat nem őrzünk meg és nem küldünk vissza. A szerzőknek tiszteletpéldányt küldünk.
Nyomdai előkészítés: Kármán Tamás, nyomdai munkálatok: OOK-PRESS Kft., felelős vezető: Szathmáry Attila ügyvezető igazgató.
Terjeszti az Eötvös Loránd Fizikai Társulat, előfizethető a Társulatnál vagy postautalványon a 10200830-32310274-00000000 számú egyszámlán.
Megjelenik havonta, egyes szám ára: 780.- Ft + postaköltség.
HU ISSN 0015–3257 (nyomtatott) és **HU ISSN 1588–0540** (online)

Multimédiás alkalmazások a középiskolai természettudományos oktatásban

Az ELFT Csongrád Megyei Csoportja és az SZTE TTIK Fizikus Tanszékcsoportja 30 órás akkreditált továbbképzést szervez *Multimédiás alkalmazások a középiskolai természettudományos oktatásban* címmel (indítási engedély száma: OKM – 2/11/2006).

A továbbképzés célja:

1. A számítógépes szimulációk elvi és módszertani kérdéseinek megismertetése.
2. A számítógép mint mérőeszköz alkalmazásának bemutatása és megtanulása.
3. Segítség a digitális tudásbázisban való eligazodásban, a legújabb hazai és nemzetközi fejlesztések megismertetése.
4. Segítségnyújtás digitális oktatási anyag (pl. prezentáció, tanulói aktivitást igénylő segédanyag) készítéséhez.

A továbbképzés díja tartalmaz egy analóg/digitális konvertert, a hozzá csatlakoztatható szenzorokat – ezek teszik lehetővé mérések adatainak közvetlen bevitelét a számítógépbe –, valamint az adatok földolgozásához szükséges programot.

A továbbképzés első része Szegeden, 2010. március 19–20-án kerül megrendezésre, a http://www.kfki.hu/~elftcson honlapon olvasható program szerint.

A második részre 2010 augusztusának végén kerül sor Szegeden, ahol a résztvevők egy tesztet töltenek ki, illetve a márciusi forduló alkalmával kapott eszköz segítségével egy maguk által tervezett mérési feladatot mutatnak be, vagy egy szabadon választott természettudományos témáról készített prezentációjukat adják elő.

Várható részvételi díj: 28 000 Ft + ÁFA. Azoknak akik szállást is kérnek, további 6000 Ft/éj.

A jelentkezés határideje: 2010. február 15.

Jelentkezésüket a kopasz.kata@gmail.com címre várjuk, *Kopasz Katalin* (SZTE Kísérleti Fizikai Tanszék) további felvilágosítást is ad.

EURODIM 2010 – 11th Europhysical Conference on Defects in Insulating Materials

Pécs – 2010. július 12–16.

A konferenciát az MTA Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézet, valamint a Pécsi Egyetem Fizikai Intézet szervezi.

A konferencia a széles tiltottsávú kristályos és amorf tömb, réteg- és nanoszerkezetű anyagok hibaszerkezetével kapcsolatos legújabb tudományos kutatásokat mutatja be. A kísérleti és elméleti alapkutatások eredményein túlmenően nagy hangsúlyt fektet a gyakorlati alkalmazásokra is. A konferencia számít az akadémiai és ipari kutatóintézetek, valamint az egyetemek kutatóira és hallgatóira is.

Előadás-kivonat beküldési határidő: *2010. március 15.*

Honlap: http://eurodim2010.szfki.hu

Mágneses egér

Magyarország 149 pályázattal képviseltette magát a 2009 őszén megrendezett Géniusz-Európa Nemzetközi Találmányi Vásáron, amelyen húsz országból állítottak ki találmányokat. Az MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézetének tudományos munkatársa, Gasparics Antal, valamint két feltalálótársa, Szöllősy János és Farkas Tibor találmányukkal, a mágnesszenzorral egybeépített számítógépes egérrel kiemelkedő sikert értek el.

A mágneses képalkotás egyik legfontosabb nehézsége, hogy a mágneses tér nem forrásos, hanem örvényes szerkezetű, a mágneses teret önmagukban záródó erővonalak alkotják, így „távolról” nem lehet a teret érzékelni – nem úgy, mint egy izzólámpából vagy röntgenforrásból kisugárzott fotonokat. A mágneses tér eloszlásából tehát csak úgy lehet képet alkotni, ha helyben, pontról pontra feltérképezzük azt.

A roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek széles csoportját alkotják a kis energiájú elektromágneses vizsgálatok. Ezek közös jellemzője, hogy mágneses térrel gerjesztik a vizsgált anyagot és vizsgálják annak válaszát. Az anyag kölcsönhatásba lép a mágneses térrel, amelynek eredményeképpen vagy abszorbeálni (jellemzően jó mágneses vezetőképességgel rendelkező ferromágneses anyagok esetében) vagy viszszatükrözni (Lenz-törvény alapján az elektromos vezetőképességgel rendelkező anyagok esetében) próbálják azt – így a vizsgált anyag felületén a kölcsönhatás eredményeképpen egy eredő mágneses tér alakul ki. E kölcsönhatás mértéke természetesen az anyag mágneses és/vagy elektromos vezetőképességének függvénye. Ha kisméretű anyaghibák, például repedések, szerkezeti elváltozások (átkristályosodás) az anyag mágneses tulajdonságát és/vagy elektromos vezetőképességét helyileg megváltoztatják, akkor ezen a helyen a gerjesztő térrel való kölcsönhatás is megváltozik. Ez a lokális kiterjedésű változás az anyag felületén kívülről is érzékelhető mágneses perturbációt, mágneses téreloszlás-torzulást okoz az eredő mágneses térben, ami erre alkalmas mágneses érzékelővel mérhető. Így az anyag felületén mágneses tértorzulások után kutatva információt nyerhetünk arról, hogy az anyagban belül valamilyen elváltozás van.

Ha csak teljesen homogén szerkezetű anyagokat kellene vizsgálni, akkor elég lenne egy-két helyen mágneses mérőfejjel méréseket végezni. Egy ilyen mérőfej jellemzően valamilyen számértékkel jellemzett eredményt közöl. Ahol ez a számérték más, mint a többi helyen, ott elváltozás tapasztalható. Sajnos jellemzően nem ez a helyzet. A modern tervezés – ez különösen a repülés esetében igaz – arra törekszik, hogy a szükséges mechanikai funkciót (pl. szilárdság) a lehető legkevesebb anyaggal valósítsa meg. Ezért vezették be a repüléstechnikában igen gyakran alkalmazott méhsejtszerkezetet is, amely hihetetlenül könnyű, szinte csak vékony alumínium-fóliából megvalósított struktúra. A szerkezet azonban több tonnás terheléseket is el tud viselni annak köszönhetően, hogy az alumínium ott van, ahol a mechanikai feszültség fellép.

Az ilyen összetett szerkezetű alkatrészek esetében önmagában a belső struktúrából eredően számos tértorzulás figyelhető meg, ha egy mágneses mérőfejjel elkezdünk vizsgálódni. Ezért az ilyen anyagok esetében egy-két pontban való mérésből nem lehet szerkezeti hibák jelenlétére következtetni. Ilyenkor alkalmaznak képalkotó módszereket annak érdekében, hogy a szisztematikus (struktúrából adódó) mágneses tértorzulásokat és a nem szisztematikus, anyaghibák miatt keletkező tértorzulásokat meg tudják különböztetni egymástól. A gyakorlatban a mágneses képalkotás hosszan tartó folyamat, néha több négyzetméteres felületeket kell fél milliméteres lépésekben haladva pontról pontra lemérni, miközben jellemzően a felület alig 1%-ában találhatók hibák.

A találmány alapgondolata az, hogy ezt a lassú, nehézkes folyamatot tegyük lényegesen gyorsabbá azáltal, hogy olyan kézzel működtethető eszközt hozunk létre, amellyel durván, de gyorsan átvizsgálható a felület. Ahol hibát érzékel a felhasználó, azt a területet, ugyancsak kézzel, de lassabban és finomabban átvizsgálja. A találmány tehát nem a fizikai működési alapelvek szintjén hoz újdonságot, hanem jelentősen megnöveli a mágneses képalkotó berendezések használati értékét, különösen a roncsolásmentes anyagvizsgálati céllal használt berendezések esetében.

Gasparics Antal

ISSN 0015325-7