

kompenzációs módszerrel. Ekkor már súlyos beteg volt, nemsokára kórházba került és június 13-án meg is halt. Miközben a cikket írta, Békésy már valószínűleg tudta, hogy nem sok ideje van hátra. Semmi közvetlen utalás nincs erre a cikkben, egyedül a szokásosnál kissé bővebb irodalmi visszatekintés, valamint a hivatkozások széles spektruma jelzi, hogy ezt az írást a szerző összegzésnek is szánta.

Ugyanakkor maga a kompenzációs módszer ötlete teljesen „Békésy-szerű”: egyszerű és zseniális egyszerű. Úgy méri a Mach-sávok erősségét, hogy azon a helyen, ahol a Mach-sávok megjelenének a forgatott csillagon, kissé megváltoztatja a csillag alakját. Világos Mach-sáv esetén egy kicsit több feketét tesz oda, sötét sáv esetén kicsit több fehéret. Addig változtatja ezt a kompenzációs alakot, amíg eltűnik a Mach-sáv. Ennyi. Megmérte a mérhetlent.

Ez az eszköz a csillagokkal együtt benne volt abban a hagyatékban, amely Magyarországra került, és ma már újra működésükben látható Diósdon, a Békésy Emlékkiállításon.

Irodalom

1. Radnai Gyula: Einstein Nobel-díjáról négy tételben. *Fizikai Szemle* 65 (2015) 413.
<http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1512/RadnaiGy.pdf>
2. A. Einstein: *A speciális és általános relativitás elmélete*. Gondolat kiadó, Budapest (1967) 181. o.
3. R. S. Cohen, R. J. Seeger (eds.), Ernst Mach: *Physicist and Philosopher*. D. Reidel Publishing Comp., Dordrecht (1970)
4. Patkós András: Egy kutató középiskolai tanár Kassán a múlt század végén. *Fizikai Szemle* 30 (1980) 159.
<http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz8004/patkos8004.html>
5. <http://tudosnapar.kfki.hu/historia/egyen.php?nanev=mach>
6. Karl Antolik: Das Gleiten elektrischer Funken. *Annalen der Physik und Chemie* 154 (1875) 14–37.
<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k15238m/f23.item>
ábrák: <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k15238m/f170.item>
7. Morovics Miroslav Tibor: Egy múlt századi kísérletező fizikus, Antolik Károly életművéről. *Fizikai Szemle* 34 (1984) 222.
<http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1984/morovicsantolik.html>
8. E. Mach: *Az érzetek elemzése*. (Fordította Erdős Lajos) Franklin Társulat, Budapest (1927)
http://web.archive.org/web/20091013142018/http://www.fil.hu/uniworld/egyetem/restricted/filtort/Mach_cont.htm
9. Radnai Gyula: A megfigyelés öröme. Békésy utolsó tudományos vállalkozása a Mach-sávok kutatása Hawaii szigetén. *Természet Világa* 130 (1999) 314.
<http://www.termeszetvilaga.hu/tv99/tv9907/bekesy2.html>

A FIZIKA TANÍTÁSA

LICHTENBERG-ÁBRÁK KELTÉSE BOLYAI FARKAS IDEJÉN ÉS MA – 2. RÉSZ

Gündischné Gajzágó Mária
Hatvan

Lichtenberg-ábrák keltése saját készítésű eszközökkel

2014 nyarán *Csegzi Sándor*, az EMT Fizika Szakosztálya elnökének felkérésére az erdélyi fizikatanárok szeptemberi konferenciájára, a Körmöczi János Fizikus Napokra készültem *Bolyai Farkas fizikája...*¹⁵ könyvbemutatójával. Mivel az elektromosságot tárgyaló Bolyai-kéziratok első oldalai, az érdekesnek ígérkező Lichtenberg-ábrákkal együtt, csak a könyv elkészülte előtt nem sokkal kerültek elő az MTA Könyvtárának Mikrofilmtárában, felébredt bennem az óhaj a Lichtenberg-ábrák előállítására és bemutatására.



Gajzágó Mária a kolozsvári Babeş-Bolyai Egyetem Fizika Karán szilárdtestfizika szakon végzett, majd 1980-ban ugyanott szerzte az I. tanári fokozatot. 1986-ig, 15 éven át a marosvásárhelyi Bolyai Farkas Líceumban, 1987-től Szombathelyen, Békéscsabán és Hatvanban tanított. 1983-tól kutatja Bolyai Farkas kéziratban maradt fizikajegyzeteit. 2013-ban jelent meg – férjével, Gündisch Györggyel és Szenkovits Ferencsel írt – *Bolyai Farkas fizikája és csillagászata* című könyve.

Emlékeztem, hogy *Bíró Tibor* 10-15 éve Marosvásárhelyen már bemutatta a régi szertárban őrzött, saját kezűleg restaurált elektroforot és egy saját készítésűt is. Így természetesen hozzá fordultam a problémával. Bíró Tibor beszerezte a szükséges speciális anyagokat és az említett elektroforok igénybevételével Lichtenberg-ábrák keltésével próbálkozott. Sikeres! Így a lakásán kialakított laborban a Körmöczi Napok előtt már videofelvétel készülhetett a Lichtenberg-ábrák létrehozásáról. A cikkünkben mellékeltem Lichtenberg-ábrák fotóinak is fele Bíró Tibor házi laborjában készült, a többi utóbb Hatvanban.

A 8. ábra fényképein az 1913-ból származó elektrofor¹⁶ látható a Marosvásárhelyi Bolyai Farkas Elméleti Líceum szertárából. Jól felismerhető a szigetelő nyéllal ellátott fémfedél (ónkorong). A kör alakú fémtálcát újraöntötték olvasztott gyantával. A második fotó éppen az elektrofor kisütésének pillanatát örökíti meg: az előzőleg megdörzsölt gyanta pogá-

¹⁵ Gündischné Gajzágó Mária, Szenkovits Ferenc, Gündisch György: *Bolyai Farkas fizikája és csillagászata. Másfél évszázada lappangó kéziratok*. Magyar Tudománytörténeti Intézet, Budapest, 2013. (Beszerezhető a MATI-nál, e-mail: tudomanytortenet@gmail.com).

¹⁶ Készült: Erdély és Szabó laboratóriumi felszerelések és tanszerek gyára, Budapest, 1913.



8. ábra. Az 1913-ban gyártott elektrofor restaurálás után.

zó kábelt félretéve, a szigetelő nyéllal megfogott fémfedéllel pozitív töltés szállítható a kívánt helyre.

A Bíró Tibor által készített elektrofornál a „forma” egy inoxtálca, a „pogácsa” vagy „lepény” egy PVC-, illetve plexi- vagy sztiroflexlap, a töltést szállító „fedél” – vagy Bolyai szavaival élve a „berzvivő” – egy befőttes üveg fedeléből és egy műanyagtöl-

csára rátették a fémfedelel, és épp ekkor érintik hozzá a fémformához csatlakozó kábelt. (Bolyai elektrofor-leírásánál ezt a kisütési műveletet az óntányér ujjal történő megérintése helyettesítette.) A csatlako-

csérből vagy egy szigetelő rúdból alakítható ki, amint az a 9. ábra fényképein is látható.

A PVC-lemez dörzsöléssel negatívan, a plexi- és sztiroflexlemez pedig pozitívan töltődnek fel. Nyilvánvaló tehát, hogy ha az inoxtálcára tett PVC-lemezt megdörzsöljük, és a töltést szállító fedelet ráhelyezzük majd kisütjük, a fedél szigetelő fogantyúját megfogva pozitív töltést szállíthatunk a kívánt helyre.

Ha plexi- vagy sztiroflexlapot teszünk az inoxtálcára, dörzsölés és kisütés után negatív töltés szállítható a szigetelő nyéllal ellátott fedéllel.

9. ábra. Bíró Tibor házilag összeállított elektroforja.



10. ábra. Rézcsövek, amelyeken keresztül az elektrofor fedeléről töltések jutnak a szigetelő felületére, kúszókisülést okozva rajta.



Lichtenberg-ábrák létrehozása

A kísérletek elvégzésénél az 1. részben már idézett, itt megismételt, 1847-ből származó Bolyai Farkas leírásokot követtük.

I. kísérlet¹⁷

„Ha egy simán öntött spanyolviasz vagy szurok táblára két gyűrű tételik, egymástól bizonyos távra; az egyik berzített üveggel, a másik berzített spanyolviaszszal érintetik, s péld. licopodium hintetvén reá, a felesleg lefuvatik, az üveggel érintett kerekén sugárzó alakú lesz, a másik magába vonulo hold. Honnan amazt üvegberzinek, ezt szurokinak hívják; sőt azt napinak, ezt holdinak Franklin azt +ε, ezt –ε nek nevezte.” B. F.

Lassú melegítéssel megolvasztottuk, majd vízszintes fémtálcára kiöntöttük a spanyolviaszt, illetve gyantát úgy, hogy közel 2 mm vastag, sima felszínű réteg képződjön. A Bolyai által említett két gyűrű helyett egy 8–15 mm átmérőjű, 10–20 mm magasságú, vékony falú rézcsődarabot használtunk (10. ábra), amelyet a spanyolviasz vagy gyanta, esetleg írásvetítőnél használatos fólia bal oldali részére állítottunk.

Az elektrofort a már ismert módszerrel pozitívan feltöltöttük, és a töltést szállító fedéllel hozzáértünk a rézcsőhöz úgy, hogy az ne mozduljon el. Ezután a rézcsövet megfogtuk, áttettük jobb oldalra és az elektroforról negatív töltéseket vittünk rá, majd eltávolítottuk a csövet. Végül az egész felületre finom port: likopodiumot, kénport stb. szórtunk. A tálcát közel függőleges helyzetbe hoztuk és könnyedén kopogtattuk.

¹⁷ Lásd a könyv 189. oldalát, B 561/6v

Ekkor láthatóvá váltak a Lichtenberg-ábrák, esetünkben bal oldalt a csillagszerűen elágazó, jobb oldalt pedig koncentrikus körökre emlékeztető, Bolyai szavaival a „napi”, illetve „holdi” alakzatok.

Vegyük észre, hogy a Bolyai által leírt kísérleti módszer előrelépés a Baumgartner által javasolthoz képest, mert ő az elektromozott üveget, illetve elektromozott gyantát nem közvetlenül a simára öntött spanyolviasz vagy gyanta felületéhez érinti, mint Baumgartner, hanem egy-egy fémgyűrűhöz és ez nagyobb mennyiségű töltés átvitelét teszi lehetővé. Persze az elektrofor „berzvivő”-jeként szolgáló öntányérral nagyságrendileg több töltés vihető át, és fémgyűrű vagy vékony falú rézcső használata esetén egy körkerület mentén nagy töltéssűrűséggel jut a spanyolviasz vagy gyanta felületére. A latin jegyzetből közölt Lichtenberg-ábrák rajza fölé nyilván nem véletlenül írta a jegyzetíró az „electrophorum” szót, bizonyára elektrofort használtak előhozásukhoz.

Különben, mint láttuk nevezetes előadásában, Lichtenberg is használt elektrofort, leideni palackot és kis fémcsöveket ábráinak előállításánál. Tekintsünk meg néhány ilyen módon létrehozott Lichtenberg-ábra fényképét (11–15. ábrák)!

Megállapítható, hogy az ábrák alakját, minőségét jelentősen befolyásolja az alaplap minősége, a rézcső átmérője, a használt por szemcsézettsége, az elektrofor megfelelő működése, és ezen kívül elengedhetetlenül szükséges a levegő alacsony páratartalma!

II. kísérlet¹⁸

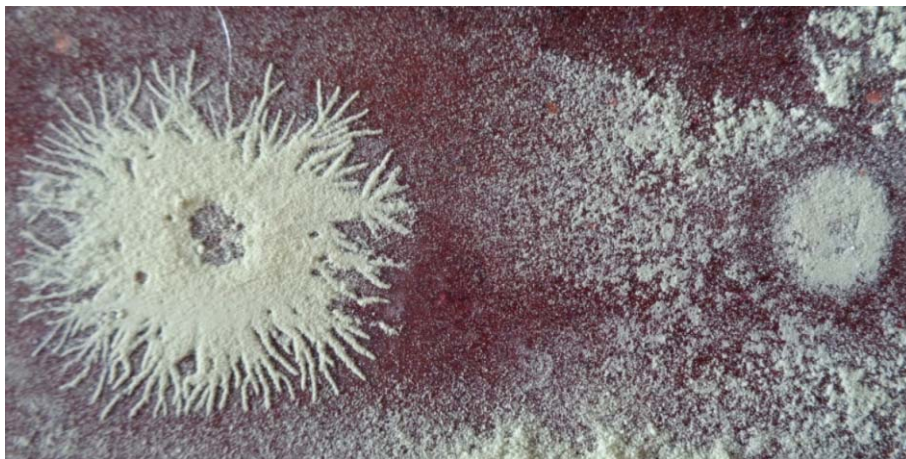
„Továbbá ha egy simán öntött spanyolviasz vagy szurok táblára, egymás után betűk irodnak, az első berzített üveggel, a másik berzített spanyolviaszszal s ugy tovább; és minium s kénvirág elegyül szitáltatik reá, az 1, 3, 5-ik esat. betű veressen jelenik meg; a 2, 4-ik esat. sárgán, ha a feleslegi por lefuvatik.” B. F.



11. ábra. Lichtenberg-ábrák fémtányérra öntött zöldes színű spanyolviaszon, likópódiumporral.



12. ábra. Lichtenberg-ábrák fémtányérra öntött zöldes színű spanyolviaszon, kénporral.



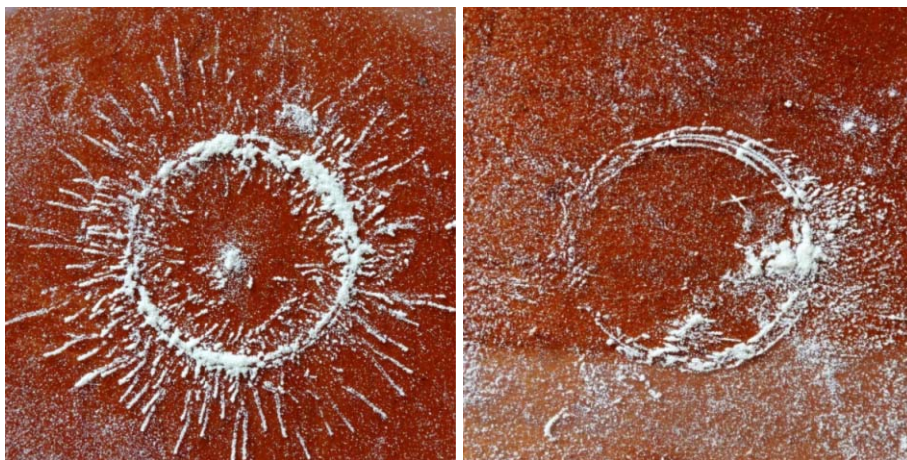
13. ábra. Lichtenberg-ábrák fémtányérra öntött bordó-barna spanyolviaszon, kénporral, kisebb átmérőjű rézcső esetén.

A II. kísérletet is módosítva végeztük, különböző színű betűk helyett különböző színű Lichtenberg-ábrákat hoztunk létre a következőképpen: írásvetítőnél használatos átlátszó fólia felső felére helyeztük a rézcsövet, és elektroforról pozitív töltést vittünk rá, azután a rézcsövet áttettük a fólia alsó felére és ekkor

¹⁸ Lásd a könyv 189. oldalát, B 561/6



14. ábra. Lichtenberg-ábrák fémtányérra öntött hegedűvonó-gyantán, kénporral.



15. ábra. Lichtenberg-ábrák barna asztalra tett írsvetítő-fólián, kénporral.

A 17. ábrán a mínium- és kénpor keverékével beszórt fóliát látjuk megkopogtatása – a fölösleges porkeverék eltávolítása – előtt és után. Az alsó ábrán jól látható, hogy a fólia felső részén, ahová a pozitív töltéseket vittük, sugárszerűen elágazó, sárga színű, „napi” ábrát rajzolt a kénpor, a negatív töltésű alsó részen pedig behúzódnó, vörös színű, „holdi” ábrát írt a míniumpor.

Cikkünk elején, a II. kísérletben leírt sorokat újból elolvasva, megállapíthatjuk, hogy elírás történt a Bolyai-szövegben, mert a „szurok táblára berzített üveggel írt” betűknek sárgán, a „berzített spanyolviaszszal” írtaknak pedig vörösre kellene megjelenüek – a fentebb tapasztalt kísérleti megfigyeléseink szerint. Ezzel egybehangzik a II. kísérletnek Baumgartner által adott leírása is (cikkünk 1. részének elején), amely szerint a sima gyantafelület pozitívan feltöltött részeit a kénpor, a negatíván feltöltötteket pedig míniumpor fedi be, ha bizonyos magasságból mínium- és kén-

már negatív töltést szállítottunk a csőre. A rézcsovet eltávolítva a fólia egész felületére mínium- és kénpor keverékét szórtuk egy teaszűrő segítségével. Ezt a mozzanatot örökíti meg a 16. ábra. Megfigyelhetők a kialakuló Lichtenberg-ábrák, de még a teaszűrőt elhagyó, leszálló por is.

16. ábra. Mínium- és kénpor keverékének szórásakor alakulnak ki a Lichtenberg-ábrák.



17. ábra. Lichtenberg-ábrák a fölösleges mínium- és kénpor keverékének eltávolítása előtt (föül) és lefújás után (alul).



por keveréket szítalunk rá, amint a 18. ábrán látható.

Felhívnam a figyelmét azon a kollegáknak, érdeklődőknek, akik esetleg kedvet kaptak a Lichtenberg-ábrák előhozására, hogy nem szükséges pecsétviaszsal, gyantával bajlódniuk, próbálkozzanak inkább különféle fóliákkal, sőt fóliák helyett CD- vagy DVD-lemezekkel; finom porként kézenfekvő a kénpor használata, miniumot csak végső esetben és vigyázva használjanak, mert mérgező.



18. ábra. Lichtenberg-ábrák fémtányérra öntött zöldes színű spanyolviaszon, kén- és miniumporral.

KÖZÉPISKOLÁBAN TANULT MOZGÁSOK ELEMZÉSE DOPPLER-EFFEKTUSSAL – AVAGY »LÁTNI A HANGOT«

Stonawski Tamás, Gálik Tamás
Nyíregyházi Egyetem

A középiskolai természettudomány-oktatásban előforduló mozgástípusok időbeliségének megjelenítésére különböző $x-t$, $s-t$, $v-t$, $a-t$ grafikonokat használunk. A grafikonok egy bizonyos időintervallum elvileg végtelen sok időpillanathoz rendelik az említett fizikai mennyiségeket, ezáltal értelmezhetővé válik a mozgás folyamata. Ezen fizikai mennyiségek mérése visszavezethető egyszerű távolság- és időmérésre, és ezzel kapcsolatosan a különórákon



Stonawski Tamás a Nyíregyházi Egyetemen főiskolai adjunktus, óraadó az Ecsedi Bátor István Református Gimnáziumban. Az ELTE Fizika Tanítása doktori program doktorjelöltje. Kutatási területe a digitális média alkalmazása a tanulói kreativitás, problémamegoldás és önálló kísérletezés fejlesztésére általános és középiskolában.



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

mélyebb matematikai összefüggések is feltárhatók (idő szerinti differenciálás). A diákok későbbi tanulmányaik során viszont olyan fizikai mennyiségekkel is találkozhatnak (például hőmérséklet), amelyek közvetlenül nem, csak a makroszkopikus test valamilyen más fizikai tulajdonságának változásán keresztül mérhetők. Ez a fajta közvetett szemlélet, amikor például egy folyadékos hőmérő használatánál már nem a térfogatot, hanem egy hőmérsékletre kalibrált értéket olvasnak le a tanulók, bizonyos absztrakciót követel. A diákok már a fizikatanulmányaik előtt is használtak folyadékos hőmérőt, de annak alkalmazhatósági korlátait csak a hőmérséklet és hőtágulás fenomenologikus tárgyalásakor érthetik meg. A hőmérők más típusainál további közvetett mérésre alkalmas fizikai jelenségeket is tárgyalhatunk, mint például az ellenállás- vagy a frekvenciaváltozás. Hogy az anyag milyen tulajdonságát választhatjuk ki egy bizonyos fizikai mennyiség mérésére, azt a vele kapcsolatosan feltárt összefüggés határozza meg (hasonlóan a skálázást és az érvényességi határokat is). Azaz a matematikai összefüggésekből mérési eljárásokat dolgozhatunk ki. A képletek kreatív felhasználása gazdagíthatja a tanórák, szakkörök anyagát. Érdemes tehát a hőmérsékletméréshez hasonló, más közvetett méréseket is bemutatni a tehetséges tanulóknak, és ha van rá lehetőség, igazolni is az összetartozó mennyiségek kapcsolatát. A különböző témakörök szakkörön történő összekapcsolása növeli a problémamegoldó-képességet, élénkíti a kreativitást és a memorizálásban is sokat segít.