

Mérési adatainkból kiszámíthatjuk a beesési és a törési szögek szinuszainak hányadosát. Jól látszik, hogy ez a hányados állandó értéket vesz fel. Ezek után tolmérő segítségével megmérhetjük a plexilemezek távolságát:

$$d_1 = 9,98 \text{ mm és } d_2 = 4,4 \text{ mm.}$$

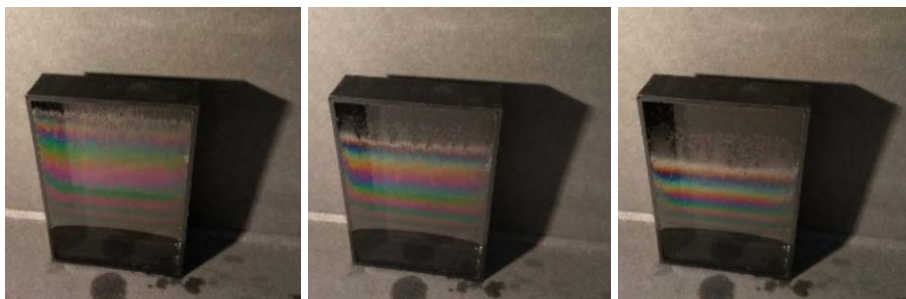
Ezek aránya:

$$\frac{d_2}{d_1} = 0,44,$$

tehát valóban visszakapjuk a mért szögek szinuszának hányadosát.

Középiskolában az állóhullámok tanításánál is szerepet kaphatnak a szappanhártyák. Réz forrasztó pálcából különféle kereteket készíthetünk. A kifevülő hártákat akár saját magunk, vagy egy rezgékeltetővel is rezgésbe hozhatjuk. Megfelelő frekvencia esetén nagyon látványos állóhullámokat kaphatunk (11. ábra). Az ábra jobb oldalán látható kör alakú keret megfelelő frekvenciájú le-fel mozgatásával akár 3-4 csomóvonallal rendelkező állóhullámot is létrehozhatunk.

Megpróbálhatjuk megmagyarázni a szappanhártyák színeit, ha megismerjük a vékonyréteg-interferencia minden részletét. Ha egy dobozt úgy állítunk be, hogy a rá feszített hártya függőleges legyen, akkor a visszavert fényben több érdekes jelenséget is megfigyelhetünk (12. ábra). A hártya színe sávonként vál-



12. ábra. Interferencia függőleges szappanhártyán.

tozik, a színes sávok szélessége időben változik, viszont a hártya legfelső része nem színes. Az értelmezés nem egyszerű feladat, a sávok színeinek és vastagságának alakításában sok tényező játszik szerepet.

Szappanhártyákkal könnyű kísérletezni, az óvodások is ezért szeretik a buborékokat, de a tudósok számára a szappanhártyák bonyolult fizikai-kémia nano-rendszerek, amelyek még ma is aktív kutatás tárgyát képezik, s takarnak még meglepetéseket.

#### Irodalom

1. Jarosievitz Beáta: Tehetség gondozás hazai és nemzetközi projektekkkel. *Budapesti Nevelő* (2009/4) 90–99.
2. Jarosievitz Beáta: Fordulj a társadhoz! Saját eszközökkel megvalósított interaktív tanítási módszer a fizika oktatásában. In: *Társadalom, kulturális báltér, gazdaság*. International Research Institute s.r.o, 2016, 396–403.
3. Bérces György, Főzy István, Holics László, Isza Sándor, Juhász András, Poór András, Rajkovits Zsuzsa, Skrapits Lajos, Tasnádi Péter: *Fizikai kísérletek gyűjteménye 1*. Typotex Kiadó, Budapest, 1994, 222–225.
4. <https://es.scribd.com/doc/78830427/The-Science-of-Soap-Films-and-Soap-Bubbles-Cyril-Isenberg> 58.
5. <https://archive.org/details/ontheproblemofpl029131mbp>

## TORRICELLI MEGIDÉZÉSE

Látványos barométer készült a Szegedi Tudományegyetem Juhász Gyula Pedagógusképző Kar főépületének udvarán az Általános és Környezetfizikai Tanszék gondozásában, a Kar támogatásával. Avatására 2016. november 8-án, a Tudomány Napja alkalmából szervezett kari rendezvényen került sor.

Farkas Zsuzsanna, Mező Tamás, Torma Gábor  
Szegedi Tudományegyetem, Juhász Gyula Pedagógusképző Kar  
Általános és Környezetfizikai Tanszék

A monumentális kísérleti eszköz – amely az ideai, Szegeden tartott, 61. Középiskolai Fizikatanári Anket és Eszközbemutatón különdíjban részesült – valójában a híres Torricelli-kísérlet „vizes” változata. A higan helyett vizet, illetve – a téli hidegre is gondolva – praktikusán fagyálló oldatot tartalmazó cső az alkal-



Farkas Zsuzsanna az SZTE Juhász Gyula Pedagógusképző Kar Általános és Környezetfizikai Tanszékének tanszékvezető főiskolai tanára. Tanulmányait – kémia-fizika tanári szakon – a JATE-n végezte, PhD-fokozatát fizikából a SZTE-n kapta. Fizika szakmódszertannal foglalkozik, több egyetemi jegyzet, középiskolai tankönyv szerzője, tudományos ismeretterjesztő feladatot lát el fizikából. Legutóbbi kitüntetései: Pro Juventute Emlékplakett 2015. JGYPK, Rektor Elismerő Oklevél 2017. SZTE.



Mező Tamás a Continental AG ContiTech IFS kutatás-fejlesztési csoportvezetője. Fizikusként végzett az SZTE-n, később a BME-n és az SZTE Mérnöki Karán gépészmérnök diplomát szerzett. A Szegedi Tudományegyetemen óraadóként az Elméleti Fizikai Tanszéken, besugárzás tervezőként az Onkoterrápiás Klinikán dolgozott, és tanársegéd volt az Általános és Környezetfizikai Tanszéken. Jelenleg folyamatban van PhD fokozatszerzése műszaki anyagtudományból a Miskolci Egyetemen.



megfelelően kisebb, mint a vízzel való feltöltéskor. Meg kell jegyezni, hogy a leolvadt értéket a hőmérséklet erősen befolyásolja, elsősorban a folyadék feletti gőznyomás hőmérsékletfüggésén keresztül. Eddigi méréseink alapján – amelyekről egy további cikkben szándékozunk részletesen beszámolni – azt állíthatjuk, hogy barométerünk átlagban 1,6%-nyi pontossággal alkalmas a légnyomás mérésére.<sup>1</sup>

## A Torricelli-cső üzembe helyezése

A kísérlet bemutatásának első lépéseként a cső alján elhelyezkedő golyós csapot elzárjuk, majd a csövet – lassan adagolva, hogy minél kevesebb buborék képződjön – a folyadékkal felülről, az épület

A fagyálló hűtőfolyadékkal feltöltött Torricelli-cső a Szegedi Tudományegyetem Juhász Gyula Pedagógusképző Kar főépülete udvari liftjének oldalán.

második emeleti Természetismereti Tudástár ablakából teljesen megtöltjük. Ezután membrános dugóval lezárjuk a cső tetejét, majd kinyitjuk alsó csapot. Ekkor a folyadék egy része visszafolyik a csőből a tartályba, a folyadék felett vákuum keletkezik, és jól látható módon a folyadék azonnal gyors párolgásba és forrásba kezd.

Ennek következtében már nem vákuum, hanem a folyadék gőze tölti ki a folyadék feletti teret, kellően hosszú idő elteltével pedig – a cső méretei, a lassú feltöltés stb. miatt<sup>2</sup> – *gyakorlatilag* az adott hőmérséklethez tartozó telített gőz jön létre, aminek nyomását a hidrosztatikai nyomás értékéhez hozzá kell adni.

A víz, illetve az etilénlikol-oidat sűrűségének megfelelően körülbelül 10, illetve mintegy 9,5 m-es magasságban állapodik meg a folyadék a csőben.

Munkafolyadékként etilénlikol-tartalmú fagyálló hűtőfolyadék 50%-os vizes oldatát használjuk, ezért a rendszer  $-36\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig állandóan feltöltve tartható és használható. A kereskedelmi forgalomban autók hűtőfolyadékként kapható Glicosam eleve színezett, így a folyadékszint jól látható a csőben. Az alkalmazott hígításnál az oldat sűrűsége 7,6%-kal nagyobb a víznél, ezért a folyadékoszlop magassága ennek

A Torricelli-csőről és üzembe helyezéséről Karunk tv-stábja (JGY TV) kisfilmet készített, amely az Interneten elérhető [4].

Az alkalmazott hígításnál körülbelül 85% vizet tartalmaz. Méréseink és számolásaink során – a korrekcióval együtt is – mindig kisebb értéket kapunk, mint a – szegedi – meteorológiai állomás adata. A tapasztalt eltérésben egyértelműen szerepet játszik, hogy a víznél nagyobb molekulatömegű oldat gőznyomása biztosan nagyobb, mint a vízé.

Meg kell jegyezni, hogy a csövet a fenti módon demonstrációs bemutatásnál töltjük fel, de folyamatos légnyomásmérés előkészítésekor több napot várunk a feltöltés és a teljes lezárás között, hogy a levegőbuborékok eltávozhassanak a folyadékból, sőt, többször megismételjük a lezárást-kinyitást, hogy a forrás előidézésével minimalizáljuk a folyadék levegőtartalmát. Ekkor mondhatjuk, hogy kellően hosszú idő elteltével gyakorlatilag a folyadék telített gőze tölti ki a cső feletti teret.

<sup>1</sup> Méréseinkben a korrekciót úgy végeztük el, mintha víz lenne a munkafolyadék, egyrészt azért, mert a víz telített gőze nyomásának hőmérsékletfüggése táblázatokból ismert, és azért, mert az alkalmazott Glicosam-oldat a használt hígításnál körülbelül 85% vizet tartalmaz. Méréseink és számolásaink során – a korrekcióval együtt is – mindig kisebb értéket kapunk, mint a – szegedi – meteorológiai állomás adata. A tapasztalt eltérésben egyértelműen szerepet játszik, hogy a víznél nagyobb molekulatömegű oldat gőznyomása biztosan nagyobb, mint a vízé.

<sup>2</sup> Meg kell jegyezni, hogy a csövet a fenti módon demonstrációs bemutatásnál töltjük fel, de folyamatos légnyomásmérés előkészítésekor több napot várunk a feltöltés és a teljes lezárás között, hogy a levegőbuborékok eltávozhassanak a folyadékból, sőt, többször megismételjük a lezárást-kinyitást, hogy a forrás előidézésével minimalizáljuk a folyadék levegőtartalmát. Ekkor mondhatjuk, hogy kellően hosszú idő elteltével gyakorlatilag a folyadék telített gőze tölti ki a cső feletti teret.



*Torma Gábor* az SZTE ötödéves fizika-matematika osztatlan tanárszakos hallgatója. Több féléve demonstrátor az SZTE JGYPK Általános és Környezetfizikai Tanszékén, valamint az SZTE TTIK Bolyai Intézetében is. Az SZTE Eötvös Loránd Kollégium lakója, a Kollégiumban működő Fizika Műhely és Matematika Műhely aktív tagja.

## Történeti előzmények

*Evangelista Torricelli* olasz természettudós – fizikus és matematikus – 1643-ban higanyt használva ugyanezen elven mérte meg a levegő nyomását. Emlékére a légnyomás egyik, ma is használt mértékegysége a torr, amely egy 1 mm magas higanyoszlop súlyából származó hidrosztatikai nyomással egyezik meg. A kísérlet fizikaoktatásunkba Torricelli-kísérlet néven került be. Magyarozatához, illetve megértéséhez az az kell tisztában lennünk, hogy minden gáz és folyadék a súlya miatt nyomást fejt ki az alatta lévő rétegre. Ez a  $p$  nyomás a folyadék  $\rho$  sűrűségétől és  $h$  magasságától, illetve a  $g$  nehézségi gyorsuláson keresztül a földrajzi magasságtól és szélességtől is függ:

$$p = \rho g h.$$

Torricelli 1608. október 15-én született Faenzában. Korán árvaságra jutott, ezért nagybátyja, a művelt szerzetes vette kezébe az ifjú Torricelli nevelését. Ő volt az, aki a fiú érdeklődését a tudományok és a kísérletezések irányába vezette. Nagybátyja közreműködésének hála, a tizenhét éves Torricelli *Galilei* egyik neves tanítványához, a Rómában matematikát tanító *Benedetto Castellibez* került, akinek nemcsak tanítványa, de jó barátja is lett. Castelli mellett legfőképpen matematikával, mechanikával foglalkozott, ügyességének köszönhetően távcsövekbe való lencsékét csiszolt. Castelli ajánlására 1641-ben az ekkor már előrehaladott korú – és főképp vaksága miatt segítségre szoruló – Galilei Firenzébe invitálta. A mester hívta fel figyelmét arra a gyakorlati problémára, hogy a toszkánai szivattyúk nem képesek a vizet tíz méternél mélyebbről a felszínre juttatni. Hasonló problémával küzdöttek a bányászok is: a bányászati szivattyúk sem voltak képesek tíz méternél nagyobb mélységből kiemelni a vizet. Galilei maga nem tudta a választ, elképzelése szerint a víz minden bizonnyal „elszakad” a saját súlya alatt. Torricelli volt az első, aki a levegő nyomásával magyarázta a kútások és a bányászok problémáját, és azt mondta, hogy valójában nem „csak” a szivattyú szívja fel a vizet, hanem a légnyomás nyomja fel, tehát a légnyomás aktuális értéke a legfontosabb tényező az említett jelenségekben. Ezen jelenség alapján már erősen sejtette, hogy a légnyomás körülbelül 10 m magas vízoszlop hidrosztatikai nyomásával tart egyensúlyt.



Torricelli arcképe Lorenzo Lippi<sup>3</sup> festményén [5] (balra), és Torma Gábor matematika-fizika szakos tanárjelölt, mint Torricelli egy R. Fuess Berlin–Steglitz márkájú higanyos barométerrel (jobbra).

Torricelli érdeme az is, hogy kitalálta, miként lehet a levegő nyomását kényelmesen és pontosan megmérni. A módszer lényege, hogy víz helyett higanyt használt. Mivel a higany majd 14-szer sűrűbb a víznél, ezért az aránynak megfelelően kisebb, 76 cm magas folyadékoszloppal már mérhető a légnyomás. Ekkora méretben pedig már üvegcső is létezett abban a korban, így látványosan demonstrálhatóvá vált a jelenség.

Torricelli, többször megismételve a kísérletet, észrevette, hogy a higanyoszlop magassága változik, amit a légnyomás *változásával* hozott összefüggésbe, tehát valójában feltalálta a légnyomás mérésére alkalmas eszközt, azaz a barométert. A történeti igazsághoz hozzátartozik, hogy először nem ő végezte el a higanyos kísérletet, hanem tanítványának, *Vivianinak* adta mintegy házi feladatul.

Sajnos mestere, Galilei tanítását és atyai pártfogását nem sokáig élvezhette Torricelli, mert Galilei három hónappal Torricelli érkezése után elhunyt. Halála után Torricelli vissza akart térni Rómába, de a toszkánai nagyherceg, *II. Ferdinando Medici* (1610–1670) a matematika professzorává és firenzei udvari matematikussá nevezte ki, s ezzel maradásra bírta őt Firenzében.

Az itt töltött idő alatt Torricelli legfőképpen távcsövek javításával, tökéletesítésével foglalkozott. Nevét őrzi a Torricelli-tétel – amely egy nagy térfogatú tartályból a tartály alján, kis nyíláson át kiömlő folyadék áramlási sebességét adja meg a folyadékmagasság függvényében –, továbbá a ciklois alatti terület kiszámítására alkalmas formula megadása is.

Fiatalon, 39 éves korában, 1647. október 25-én – valószínűleg hastífuszban – hunyt el Firenzében. Az egyik legöregebb és legnagyobb becsben tartott templomban, a Mediciék temetkezéséül is szolgáló San Lorenzóban helyezték örök nyugalomra.

<sup>3</sup> *Lorenzo Lippi* (1606–1665) itáliai költő és festő. Csak névrokonásban van a reneszánsz festőszeni *Filippo Lippivel* (1406–1469).

## Vákuum vagy nem vákuum?

Ne felejtjük el, hogy az 1600-as években vagyunk, amikor a „horror vacui”, azaz „a természet irtózik a vákuumtól” problémája is a köztudatban van, mint a természetfilozófusok egyik fontos megválaszolandó kérdése. Ezért volt a Torricelli-kísérletet követő évek központi problémája, hogy mi lehet a Torricelli-csőben a higany felett? Az Arisztotelész-hívők úgy gondolták, hogy ott nem lehet vákuum, a folyadék is azért emelkedik fel a csőben, mert így kerülhető el a vákuum kialakulása. A Descartes-hívők szintén azon az állásponton voltak, hogy ott nem lehet vákuum, de a felemelkedés okát – helyesen – már a légnyomásban látták.

*Blaise Pascal* francia természetfilozófus, matematikus (1623–1662) volt az, aki minden kétséget kizáróan, nagyon sok kísérletezés után, tisztán értelmezte a Torricelli-kísérletet. Ő volt az, aki a jelenség folyadéksűrűségétől való függésének bizonyítására látványos kísérletet tervezett és mutatott be, és így – megint csak kísérleti alapon – választ adott arra a kérdésre, hogy mi lehet a „Torricelli-úrben”. A sűrűségfüggés igazolására Pascal hajóárbochoz erősített 14 méter magas csövek egyikébe vizet, a másikba vörösbort szivattyúzott fel, nagy számú, ötszáz főnyi közönség előtt. Az Arisztotelész-hívők megbizonyosodhattak afelől, hogy a vörösbortban nem nagyobb a „szellem”, hanem ellenkezőleg, mivel a bor kisebb sűrűségű, mint a víz, ezért egységnyi hossza kisebb nyomást fejt ki, tehát a bor ezért kúszik magasabbra a csőben, mint a víz.

1648. szeptember 19-én Pascal útmutatása alapján Pascal sógora, *Florin Périer* történelmi kísérletet végzett el a Franciaország közepén, Párizstól délre, mintegy háromszáz kilométer távolságra elhelyezkedő Puy de Dôme hegyen, a hegy lábától 950 méter magasságban [6]. Pascal ugyanis úgy gondolkodott, hogy ha a Torricelli-csőben a higany elhelyezkedését a légnyomás határozza meg, akkor a kísérlet eredményének függenie kell a tengerszint feletti magasságtól. A gondos kísérlet azt mutatta, hogy a hegy lábánál és a hegytetőn elhelyezett üvegcsőben a megállapodó higanymagasság valóban nem azonos. A hegytetőn levő „barométer” kisebb légnyomást jelzett, a két higanymagasság között 8,1 cm volt az eltérés. Ez volt az *experimentum crucis*, azaz a döntő kísérlet, amely a jelenség lényegét bizonyította, a „horror vacui” elvet elvetette, és egyben megalapozta a később, *Halley* által leírt barométeres magasságformulát, ami ma is alapjául szolgál például a repülőgépek magasságmérésének.

A „Torricelli-úrben” egyébként nagyon rövid ideig van vákuum, azután pedig – bár nem azért, mert a természet irtózik az ürességtől, hanem a csövet kitöltő folyadék gyors párolgása miatt – az adott folyadék telített gőze tölti ki a felette lévő teret. A telített gőz nyomása erősen hőmérsékletfüggő, ezért a folyadék magassága – a levegő hőmérsékletétől függően – a 11 méteres csőben néhány tíz centimétert is változhat. Magasabb hőmérsékleten a folyadékmagasság kisebb, mert a gőznyomás nagyobb. Ezt a változást kísérleti eszközünk nagyon jól mutatja.

## A Torricelli-túra Karunkon

A Szegedi Tudományegyetem Juhász Gyula Pedagógusképző Kar főépületében található Természetismereti Tudástár Fizika Tárában további, a légnyomáshoz kapcsolódó kísérleteket láthatnak és végezhetnek el a látogatók.

Ezen kísérletek között szerepel több, vákuumszivattyú segítségével elvégezhető kísérlet: a léggömb viselkedésének vizsgálata csökkenő külső nyomás mellett, a víz forráspontja nyomástól való függésének bemutatása egy pohár víz segítségével, a gázokban fellépő felhajtóerő szemléltetése az úgynevezett dasy-méter (sűrűségmérő) segítségével, a magdeburgi-féltékés kísérlet stb., valamint a „legyőzhetetlen papír”-kísérlet, amely egy fémlapra helyezett papírlap okán gondolkodtatja el a látogatót a légnyomás nagysága felől. Továbbá találkozhatunk a nyomáskülönbség miatt összeroppanó konzervdobozzal, különböző nyomásmérő eszközökkel, és a gályatartó hal tapadókorongjának működését modellező praktikus eszközökkel is.

A légnyomással kapcsolatban szerzett tudás a látogatás végén egy 13+1 kérdést tartalmazó egyszerű totóval tesztelhető.

Az egész évben látogatható *Torricelli-túrán* kívül a fizika népszerűsítésére szervezett *Fizika Napja*, *A fizika mindenkié*, *Múzeumok Éjszakája*, *Kutatók Éjszakája* rendezvényeken a szerencsés látogatókat maga Torricelli fogadja, aki nemcsak bemutatja a monumentális udvari barométert, hanem életútjáról beszélve, fizikatörténeti előadást is tart. A természettudományok tanításának ez utóbbi módszere, az úgynevezett *out-door módszerek* közé tartozik, amely szakítva a hagyományos környezettel új terepre, tulajdonképpen színpadra viszi a fizikát. A színpadi elemek és fogások, a korhű jelmezek, parókák, az irodalmi nyelvezet, a fizikatörténeti momentumok mint drámapedagógiai eszközök mind-mind nagy szolgáltat tesznek a fizika népszerűsítéséért.

Megemlítjük, hogy a középiskolai fizikatanárok számára szervezett 2008-as CERN-i kirándulás során a fizikatanár-kollégák egy csoportja kálium-permanganáttal színezett víz és vörösbort segítségével is elvégezte a kísérletet a francia Alpokban. Erről és hazai – a Csongrádi Batsányi János középiskola aulájában végzett – méréseikről a *Fizikai Szemle* hasábjain számoltak be [7].

### Irodalom

1. Czöglér Alajos: *A fizika története életrajzokban*. Királyi Magyar Természettudományi Társulat, Budapest, 1882, <http://mek.oszk.hu/03500/03574/html> (2018-03-01)
2. Simonyi Károly: *A fizika kultúrtörténete*. Gondolat Kiadó, Budapest, 1986.
3. <http://www.puskas.hu/ttk/elet/85.html> (2018-03-01)
4. <https://vimeo.com/182173758> (2018-03-01)
5. [https://en.wikipedia.org/wiki/Evangelista\\_Torricelli#/media/File:Evangelista\\_Torricelli\\_by\\_Lorenzo\\_Lippi\\_\(circa\\_1647,\\_Galleria\\_Silvano\\_Lodi\\_%26\\_Due\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Evangelista_Torricelli#/media/File:Evangelista_Torricelli_by_Lorenzo_Lippi_(circa_1647,_Galleria_Silvano_Lodi_%26_Due).jpg) (2018-03-01)
6. [http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-0064\\_69\\_fizikatorteneti\\_szovegyujtemeny/ar01s04.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-0064_69_fizikatorteneti_szovegyujtemeny/ar01s04.html) (2018-03-01)
7. Szabó László, Szittyai István, Sükösd Csaba: A Torricelli-kísérlet. *Fizikai Szemle* 59/1 (2009) 20–25.