

Fig. 15.

Itt még néhány megjegyzést tennék:

1. Az az érdekes képlet, amelyet *Lindemann* úr velem egy időben tett közzé, csak akkor alkalmas kvantitatív következtetésekre, ha az elméletileg meghatározott konstansok helyett a tapasztalati értékeket helyettesítjük be. Ezen kívül még a végső maradékellenállást is számításba kell vennünk. Ha visszpillantunk a tényekre, vagyis, hogy a tiszta fém maradékellenállása gyakorlatilag nulla, akkor *Lindemann* úr képlete a Nernst úr által javasolt empirikus törvénnyé alakul, amelyben – hogy a tiszta fémmre alkalmazható legyen – a maradékellenállást elhagyjuk. Azok a maradékellenállások, amelyekről a tiszta fémek esetében még fennállhatnak, valószínűleg sokkal kisebb nagy-

ságrendűek, mint azok, amelyek az empirikus Nernst-formulában szerepelnek, és a még meglevő szennyeződések leírására szolgálnak.

2. Ami pedig a szennyeződések mértékétől függő maradékellenállás nagyon alacsony hőmérsékleteken való stagnálását illeti, megjegyzendő, hogy az ötvözetek esetén – bár ez elméletileg még nincs alátámasztva – hasonló viselkedés feltételezhető.”



Bár neve itthon nem közismert, hazájában kevesen kérdőjelezik meg, hogy Heike Kamerlingh-Onnes a 20. század egyik legkiválóbb kutatója volt. Hollandia huszonegy városában őrzi nevét utca vagy tér. Az elismerés nem túlzott [4].

Irodalom

1. *Die Theorie der Strahlung und der Quanten, Verhandlungen auf einer von E. Solvay einberufenen Zusammenkunft (30. Oktober bis 3. November 1911)*. Mit einem Anhang über die Entwicklung der Quantentheorie vom Herbst 1911 bis zum Sommer 1913, in deutscher Sprache herausgegeben von A. Eucken, Halle a. S., Druck und Verlag von Wilhelm Knapp, 1914.
2. Radnai Gy.: *Az első Solvay-konferencia*. 54. Országos Fizikatanári Ankét, Sárospatak, 2011. március
3. Radnai Gy.: *Az első Solvay-konferencia centenáriuma* – I., II. *Fizikai Szemle* 61/7–8, /9 (2011) 250., 316.
4. De Châtel P.: *Monsieur Zéro Absolu*. *Természet Világa* 140/4 (2009)
5. Zawadowski A.: Szupravezetés és szuperfolyékonyság a Nobel-díjak tükrében. *Természet Világa* 135/3 (2004)
6. *Britannica Hungarica világciklopédia*. Magyar Világ Kiadó Kft., 1994–2001.
7. K. Haven: *100 Greatest Science Discoveries of All Time*. Libraries Unlimited, 2007.
8. *História – Tudósnaptár* (KFKI); www.kfki.hu/physics/historia

LÁTVÁNYOS LÉGNYOMÁSMÉRÉS A SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEMEN

Farkas Zsuzsanna, Torma Gábor
SZTE, Juhász Gyula Pedagógusképző Kar
Általános és Környezetfizikai Tanszék

Korábbi cikkünkben [1] már beszámoltunk arról, hogy monumentális légnymásmérő eszköz épült a Szegedi Tudományegyetem Juhász Gyula Pedagógusképző Kar főépületének udvarán, az Általános és Környezetfizikai Tanszék gondozásában (1. ábra). A „vizes” Torricelli-

cső létrehozása lehetőséget ad a higannyal már nem elvégezhető, de klasszikus, fizikatörténetileg nagy jelentőséggel bíró kísérlet bemutatására. A higany helyett vizet, illetve – a téli hidegre is gondolva – praktikus döntésként fagyálló oldatot tartalmazó cső az alkalma-



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.



Torma Gábor matematika-fizika szakos tanár 2019-ben végzett a Szegedi Tudományegyetemen. 2018 óta tanít a szegedi Dugonics András Piarista Gimnáziumban (óraadóként, majd tanárként). Több évig volt demonstrátor az SZTE JGYPK Általános és Környezetfizikai Tanszékén, valamint az SZTE TTIK Bolyai Intézetében is. 2019 óta az SZTE Matematika- és Számítástudományok Doktori Iskolájának PhD-hallgatója.



1. ábra. A télen-nyáron működő Torricelli-cső a Juhász Gyula Pedagógusképző Kar főépületének udvarán (fotó: Karancsi Zoltán).

zott folyadék higanynál kisebb sűrűsége okán 11 méteres hosszban készült el. A cső átlátszó műanyag, hosszának több pontján az udvari lift oldalához acélrögzítéssel támaszkodik. Kilenc méteres magasságig méterenként, fölötte pedig deciméterenként, messziről is jól látható jelölést kapott. A munkafolyadék személyautókhöz vásárolható fagyálló folyadék 50%-os vizes oldata, amely közel 85%-ban tartalmaz vizet, sűrűsége 7,6%-kal nagyobb a vízénél. A speciális oldat használatával a rendszer $-36\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig fagyálló, így a cső folyamatosan és állandóan feltöltve tartható. A cső alul golyós csappal, felül membrános dugóval záródik.

Az eszköz megtekintése mellett a Természetismereti Tudástárban drámapedagógiai elemekkel kiegészített további, a légnyomáshoz kapcsolódó kísérletekkel tarkított, természettudomány-népszerűsítő előadásban lehet része a „Torricelli-túrára” bejelentkező csoportoknak [1].

A kísérleti eszköz létrehozásának azonban volt egy másik fontos célja: kvantitatív méréseket is lehessen végezni vele. Jelen cikkünkben a széles hőmérséklet-tartományban elvégzett méréseinkről, az eszköz validálásáról, a mérések pontosságáról és a hibaforrásokról számolunk be.

A mérés elméleti alapjai

A méréshez a hidrosztatikai nyomáson alapuló hagyományos Torricelli-kísérlet elméleti alapjaival kell tisztában lenni. A légnyomás meghatározásához a csőben lévő folyadékoszlop magasságát kell megmérni. Ez a Torricelli-csőünk melletti liftből, vagy akár az udvaron állva, az említett jelölések segítségével centiméteres pontossággal megállapítható. A folyadékoszlop magasságának tudtával, annak sűrűségének ismeretében a hidrosztatikai nyomás már meghatározható.

Amennyiben követjük az iskolai tárgyalást, és „megengedjük”, hogy a Torricelli-ürben – azaz a folyadék fölött – vákuum van, akkor az így számolt hidrosztatikai nyomást a levegő nyomásával, azaz a légnyomás értékével tesszük egyenlővé.

Nagyobb igényű mérésnél nem tekinthetünk el attól az ismert tényről, hogy egy folyadék zárt térben történő párolgása esetén a folyadék felett a folyadék adott hőmérsékletéhez tartozó telített gőze – tehát nem vákuum – tölti ki a teret. A gőznyomás értékének meghatározásával, az alábbi egyenlet felhasználásával, méréseink pontosabbá tehető:

$$p = p_{\text{bidr}} + p_{\text{gőz}} = \rho g h + p_{\text{gőz}},$$

ahol ρ a munkafolyadék sűrűségét, g a nehézségi gyorsulást, h a folyadékoszlop magasságát, $p_{\text{gőz}}$ pedig a Torricelli-ürben lévő gőznyomást jelöli.

A telített gőz hőmérsékletfüggő nyomásának meghatározása nem egyszerű feladat, számításainkban csak közelítés alkalmazásával élhettünk: úgy számoltunk, mintha a munkafolyadék víz lenne, és a Torricelli-ürt

1. táblázat							
A légnyomás meghatározása							
folyadék-magasság (cm)	hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$)	folyadék-sűrűség (kg/m^3)	hidrosztatikai nyomás (Pa)	gőznyomás (Pa)	számolt légnyomás (Pa)	légnyomás „időkép” (Pa)	relatív eltérések (%)
938	3,2	1076,0	99 010	769	99 779	101 280	0,022 0,015
938	12,5	1075,4	98 951	1450	100 401	101 886	0,029 0,015
933	15,8	1075,1	98 397	1796	100 193	101 296	0,029 0,011
933	18,0	1074,5	98 348	2064	100 412	101 627	0,032 0,012
925	21,3	1073,9	97 446	2535	99 980	101 165	0,037 0,012

annak telített gőze töltene ki. Ezt azért te(he)ttük, mert a használt oldat körülbelül 85% vizet tartalmaz, a víz – gyakorlatilag – telített gőzének nyomása pedig táblázatokból ismert [2]. A hőmérsékletfüggésre vonatkozó táblázat a szükséges tartományban csak Celsius-fokonként tünteti fel a gőznyomásértékeket, a tizedfokpontossággal mért hőmérsékletértékekhez lineáris interpolációt alkalmaztunk. Továbbá, mivel a hőmérséklet nemcsak a gőznyomás értékét, hanem a munkafolyadék sűrűségét is befolyásolja, így ennek figyelembevétele is szükséges volt a pontosabb méréshez [3].

A számolt légnomáseredmények összevetése a szegedi meteorológiai adatokkal

Mérési eredményeinkből az 1. táblázatban egy reprezentatív mintát mutatunk be. Az általunk elvégzett 30 mérés során a legalacsonyabb hőmérséklet $-0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, míg a legmagasabb mért érték $27,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt, így a mérest ilyen szempontból megbízhatónak tekinthetjük.

A táblázat első oszlopában a munkafolyadék leolvasott magassága, a másodikban az infra hőkamerával mért hőmérséklet, a harmadik oszlopban a munkafolyadék sűrűsége (amely a víz adott hőmérséklethez tartozó sűrűségének 1,076-szorosa), a negyedik oszlopban a ρgh képlettel számolt hidrosztatikai nyomás, az ötödikben a gőznyomás értéke található. A hatodik oszlopban található a gőznyomással korrigált légnomás (az előző két érték összege), a hetedik oszlopban a – Szeged-Gyálaréti – meteorológiai állomás légnomásadata. Az utolsó oszlopban a gőznyomással nem korrigált és a gőznyomással korrigált értékek irodalmi (azaz a meteorológiai állomáson mért) értéktől való relatív eltéréseit adtuk meg.

A mérés kivitelezése, pontosságának becslése

Minden mérés során négy hőmérsékletértéket rögzítettünk: az első hőmérsékletértéket egy Dewalt DCT416S1 infra hőkamera, a másodikat egy Mastech MS6530 infra hőmérő segítségével határoztuk meg, míg a harmadik és negyedik hőmérsékletet az SZTE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék („adatok.geo”) [4], illetve a Szeged-Gyálaréti mérőállomás („időkép”) [5] adatai alapján jegyeztük fel. Ennek megfelelően a négy különböző hőmérséklethez négy különböző gőznyomásértéket rendeltünk, így négy különböző számított légnomásértéket kaptunk. A mérési pontosság meghatározásához ezen értékeket hasonlítottuk össze a két szegedi meteorológiai állomás (SZTE Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék és Szeged-Gyálaréti mérési állomás) interneten elérhető mérési adataival. Így a nyolcféle párosítás

Mérés fajtája (hőmérséklet – meteorológiai adat származása)	Relatív eltérések átlaga (százalék)
Dewalt – adatok.geo	1,14
MS6530 – adatok.geo	1,60
adatok.geo – adatok.geo	1,13
időkép – adatok.geo	1,17
Dewalt – időkép	0,85
MS6530 – időkép	1,15
adatok.geo – időkép	0,75
időkép – időkép	0,84

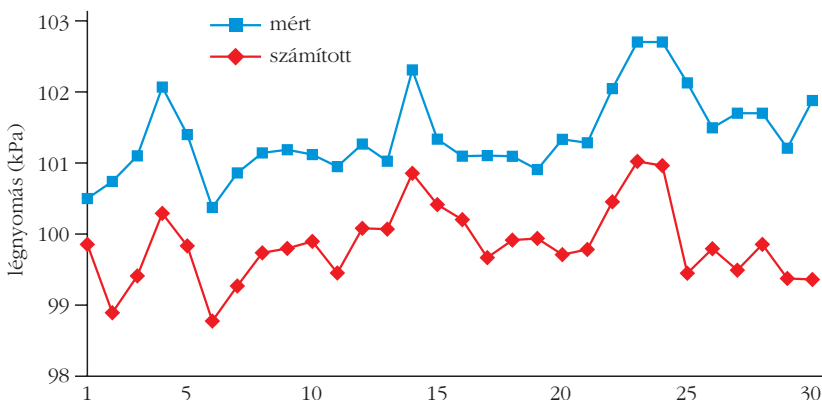
miatt egy mérésből nyolc relatív eltérés értéket kaptunk, lásd a 2. táblázatot. Az összes relatív eltérés átlaga 1,08%, amelyből azt a következtetést vontuk le, hogy kísérleti eszközünk vállalható hibahatáron belül, és megbízhatóan működik, alkalmas a légnomás mérésére [6].

A 2. ábrán 30 mérés gőznyomásértékkel korrigált számolt és mért légnomásértékeit tüntettük fel. A bemutatott adatsorban hőmérsékletmérésre a Dewalt DCT416S1 infra hőkamera adatát használtuk, az „irodalmi” légnomásértékeket a Szeged-Gyálaréti mérőállomás szolgáltatta. A bemutatott mérések 2018 februárja és májusa között történtek.

Hibaforrások

Hibaforrást jelent a csőben lévő folyadékoszlop magasságának nem eléggé pontos leolvasása, valamint a hőmérséklet változásából adódó, a cső függőleges hőtágulása által okozott hiba. Tapasztaltunk az, hogy a Torricelli-cső melletti liftből a leolvasás pontossága 0,5 és 1 cm közötti, ez 0,05-0,1% hibát okoz, a hőtágulás által okozott hiba pedig – számításaink szerint – kevesebb, mint 1%.

2. ábra. Az ábrázolt két adatsor közötti legnagyobb eltérés 2678 Pa, ami kisebb, mint 3%. A mért légnomásértékek nagyobbak, mint a gőznyomással korrigált értékek. Ennek oka az lehet, hogy az alkalmazott oldat gőznyomása valójában nagyobb a tiszta víz gőznyomásánál.



Továbbá hibaforrás, hogy a csőben lévő folyadék a feltöltéskor légbuborékokat tartalmaz, az ebből származó hiba jelen van, és teljesen nem is küszöbölhető ki. De, amint az [1] cikkben is utaltunk rá, ezen probléma okozta hiba minimalizálása érdekében kvantitatív mérésünk esetén több napot várunk a cső – szándékosan lassú – feltöltése és teljes lezárása között annak érdekében, hogy a folyadékból a levegőbuborékok eltávozhassanak, sőt, a lezárást-kinyitást többször megismételjük, hogy a forrás előidézésével minimalizáljuk a folyadék levegőtartalmát. Ily módon eljárva azt mondhatjuk, hogy a folyadék feletti zárt teret kellően hosszú idő után *gyakorlatilag* a folyadék telített gőze tölti ki. Állításunkat megerősíti az a bemutatott, számokkal igazolt tény, hogy méréseink hibája – minden, ebben az eljárásban általunk nem kiküszöbölhető körülményt vállalva – a 2. táblázat adatai szerint 1,6%-nál nem nagyobb.

A jelenlevő, mérésből származó hibaforrások elemzése mellett azonban érdemes szem előtt tartani kezdeti célkitűzésünket, hogy a Torricelli-cső egy nagyon látványos jelenség, egy „outdoor fizikai kísérlet” bemutatására készült. E jelenség mind általános, mind középiskolában része a NAT-nak, de a mérgező higanyal történő bemutatása már nem engedélyezett. Célunk az volt, hogy a látogatókban kérdésként első-

sorban az fogalmazódjon meg, vajon mi „ragasztja” a folyadékot egy 10 méteres csőbe? Miért nem folyik ki a munkafolyadék az alul nyitott csőből? Változik-e, ha igen, miért és mennyit a folyadék magassága? Ezt a célt elértük. Több száz általános, illetve középiskolás diák látogatott már el karunkra, hogy csodálkozva megtapasztalja a légnyomás jelenlétét és „erejét”.

Jelen cikkünkben azt kívántuk bemutatni, hogy a cső kvantitatív mérésre is alkalmas. A tanuló – leolvasva a folyadék magasságát – a szükséges összefüggés, illetve adatok (folyadék sűrűsége és a nehézségi gyorsulás) ismeretében, akár a helyszínen ki tudja számolni a már mindig zsebben lévő okostelefonnal a légnyomás aktuális értékét, és az okostelefonnal szintén elérhető helyi légnyomással össze is tudja hasonlítani. Az így számolt relatív eltérés átlaga sem lesz több 4%-nál.

Irodalom

1. Farkas Zsuzsanna, Mező Tamás, Torma Gábor: Torricelli megidézése. *Fizikai Szemle* 68/5 (2018) 176–179.
2. [https://hu.wikipedia.org/wiki/Víz_\(adatlap\)](https://hu.wikipedia.org/wiki/Víz_(adatlap)) (2019. december 17.)
3. <https://fizipedia.bme.hu/images/2/29/Tablazatok.pdf> (2019. december 17.)
4. <http://adatok.geo.u-szeged.hu> (2019. december 17.)
5. https://www.idokep.hu/automata/omme_szeged_gyalaret (2019. december 17.)
6. Torma Gábor: *Légnyomásmérés egy látványos barométerrel*. Szakdolgozat, Szegedi Tudományegyetem, 2019.

HÍREK – ESEMÉNYEK

JELÖLÉSI/PÁLYÁZÁSI FELHÍVÁS

az Eötvös Loránd Fizikai Társulat kitüntető érmeire,
valamint felsőoktatási és tudományos díjaira

Az ELFT Díjbizottsága jelöléseket, illetve pályázatot vár a Társulat 2020. évi kitüntető érmeire, valamint felsőoktatási és tudományos díjaira. Kérjük a Társulat szakcsoportjait, területi csoportjait és valamennyi tagunkat, hogy a kitüntetésre érdemes kollégákat és tudományos eredményeiket bemutató javaslataikat legkésőbb **2020. március 6-ig** szíveskedjenek eljuttatni a Társulat titkárságára (1092 Budapest, Ráday utca 18. földszint 3., elft@elft.hu). A tudományos díjakat a kutatók saját kezdeményezésükre is megpályázhatják.

A Társulati díjakra a jelölések/pályázatok benyújtására szolgáló adatlapok letölthetők az ELFT honlapjának díjszekciójából (<http://elft.hu/tarsulattrol/dijak>), ahol egyben az elbírálási eljárás részleteire vonatkozó ismertetés is megtalálható. Kérjük, hogy a jelölések megfogalmazásában vegyék figyelembe az ismertető információit. Az ismertetés minden díjat hozzákapcsol legalább egy szakcsoport kutatási területéhez, amely

szakcsoport ajánlásának beszerzése ajánlatos, de nem kötelező. A tudományos díjak elnyerésének nem előfeltétele a társulati tagság.

A mellékletek nagy részének elegendő a nyilvános (speciális esetben a Díjbizottság tagjaira korlátozott) adatbázisokból történő elérhetőségének megadása.

A társulati kitüntetéseket, valamint a tudományos és felsőoktatási díjakat az ELFT 2020. májusi Küldöttgyűlésen osztjuk ki.

Társulati kitüntetések

Eötvös Loránd Fizikai Társulat Érem adományozható a Társulat azon tagjának, aki a fizika területén hosszú időn keresztül folytatott kutatási, alkalmazási vagy oktatási tevékenységet, valamint a Társulatban kifejtett munkásságával kiemelkedően hozzájárult a fizika hazai fejlődéséhez.