

Szerző neve, szakja, képzési szint:

Balázs Szabolcs

Fizika BSc szakos hallgató

Pályamű címe:

Otto von Guericke a fizikaórán

Légnyomással kapcsolatos kísérletek és feladatok középiskolás diákok számára

Tudományos diákköri dolgozat

Küldő intézmény:

Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kar

Témavezető neve, tudományos fokozata és beosztása:

Dr. Farkas Zsuzsanna PhD

tanszékvezető főiskolai tanár

SZTE JGYPK Általános és Környezetfizikai Tanszék

Lezárás dátuma:

2014. december 7.

TARTALOMJEGYZÉK

1.	BEVEZETÉS	3
2.	HORROR VACUI ÉS OTTO VON GUERICKE	7
2.1.	A vákuum fizikai megvalósítása.....	7
2.2.	Otto von Guericke	10
2.3.	XI. századi ismeretek a Föld légköréről és a vákuumról.....	16
3.	OTTO VON GUERICKE ELŐADÁSA A KUTATÓK ÉJSZAKÁJÁN	19
4.	LÉGNYOMÁSSAL KAPCSOLATOS KÍSÉRLETEK ÉS FELADATOK A KÖZÉPISKOLAI OKTATÁSBAN	30
5.	ÖSSZEFOGLALÁS	45
6.	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	47
7.	IRODALOMJEGYZÉK	47
8.	ÁBRAJEGYZÉK	48
9.	MELLÉKLETEK	50

1. BEVEZETÉS

Egy találmány, s az azt övező tudományterület bemutatását közvetlen és színpadias formába önthetjük, ha a találmány megalkotóját, a fizikusnak nevezett „éteri” lényt hús-vér emberré varázsoljuk. Ekkor a vázolni kívánt fizikai problémát már történet övezi s konkrét, létező személyhez kapcsolható, akit – akárcsak bárki mást – kudarcok, töprengés és végeláthatatlan próbálkozások sorai vezettek sikerhez, találmány megalkotásához.

Otto von Guericke, az első légszivattyú megalkotója. Dolgozatomban célom Otto von Guericke felfedezéseit oly módon bemutatni, mely a „láthatatlan és érezhetetlen” levegőt láthatóvá és érezhetővé teszi a mesterségesen előállított vákuum minőségi vizsgálatával.

Eszközeim a jelmez, kísérletek, gondolkísérletek és problémamegoldó feladatok.

A 16. századi tudós jellegzetes öltözkékét magamra öltve, mint Otto von Guericke mutatom be – elsősorban középiskolás diákok számára – a fizikatörténet vákuumfizika és aerosztatika megalapozásához tartozó fejezeteit. A jelmez segítségével a légszivattyú és a vákuum megalkotásának története a felfedező kalandos életútján keresztül, megszemélyesítve látható, hallható. Mindazonáltal figyelemfelkeltés szempontjából sem elhanyagolható egy 16. századi tudós jelenléte a fizikaórán.

A kísérletek felépítését több ismeretterjesztő előadás tapasztalata alapján szerkesztettem. A kísérleti tudáselemek egymásra épülnek, amelyekben fontos a könnyű érthetőség, a látványosság és a gyors reprodukálhatóság.

A gondolkísérletek nagyszabású, nehezen vagy egyáltalán nem megvalósítható körülmények, képzeletbeli szélsőségek közé terelik a diák gondolatait, így segítve benne az összefüggések képének egyéni kialakítását.

A problémamegoldó feladatok kiválasztásánál figyelembe kell venni a célközönség feltételezett előismereteit. Elsősorban fizikai, kémiai és matematikai ismeretekre támaszkodva, jelen esetben középiskolai tanulmányokat folytató diákok számára állítottam össze az előadást. A válogatott feladatok először a légnyomással kapcsolatos alapvető összefüggésekre vezetnek rá, majd példát láthatunk légnyomással kapcsolatos alkalmazásokra is.

Az előadás egésze fizikatörténeti szálra fűzve hozza elő a témához tartozó kísérleteket és feladatokat. A történet maga pedig Guericke élete mellett az előzményeket, érdekességeket, gondolatmeneteket, s a felfedezés szerteágazó útját is a közönség elé tárja.

A tudomány a színpadon „életre keltett” tudósokkal nagy hatást gyakorol a közönségre, legyen az ismeretterjesztő előadás, vagy akár tanóra. E dolgozat ötletet ad és példát mutat más tudományos témakörök saját felfedezőik által megvalósítandó prezentálására.



1. ábra

Galilei, Guericke, Arkhimédész, Newton – Kutatók Éjszakája, JGYPK Általános és Környezetfizikai Tanszék 2011.

(forrás: Dr. Farkas Zsuzsanna felvétele)

A Kutatók Éjszakája az Európai Bizottság támogatásával 2008. óta Európa-szerte, minden év szeptember végén megrendezésre kerülő, egész napos, fesztivál-jellegű eseménysorozat. A rendezvény célja a tudomány, a tudományos eredmények és a tudományos életpálya népszerűsítése elsősorban a 10-18 éves fiatalok körében. A nyitott egyetemi kutatói laboratóriumok, a játékos ismeretterjesztő előadások, vetélkedők, kiállítások, interaktív bemutatók a remények szerint a tudomány olyanfajta kommunikációját jelentik, amelyek a Facebook, az Internet, az iWiW és más kommunikációs csatornák mellől is képesek felállítani a fiatalokat, legalább egy fél napra. A Kutatók Éjszakája rendezvénysorozat mottója egy

Einstein-idézet: „Nem vagyok különösebben tehetséges, csak szenvedélyesen kíváncsi.”
(Farkas: 2011. 267)

E rendezvényre a Szegedi Tudományegyetem JGYPK Általános és Környezetfizikai Tanszék tanszékvezetője, Dr. Farkas Zsuzsanna érdekes és egyedülálló programot hirdetett, Fizika a színpadon – Tudósok csarnoka címmel. Első alkalommal (2010 őszén) a tanárnő három fizikus MSc szakos hallgatójával arra vállalkozott, hogy színpadi jelenettel idézzék meg a fizikatörténet óriásait. Arkhimédész (Major Balázs), Galileo Galilei (Nagy Andrea) és Isaac Newton (Gajdos Tamás) „személyesen” mutatta be felfedezéseit és kísérleteit a tanszék előadótermében ahol még az állóhelyeket is betöltötte az érdeklődő tekintetű közönség, zömében általános- és középiskolások, és sok felnőtt. 2011-ben az előadáson már maga Otto von Guericke (személyem, Balázs Szabolcs) is jelen volt, így népszerűsítve a fizika tantárgyat és a fizika tudományát (1. és 2. ábra).



2. ábra

Otto von Guericke voltam. (forrás: Dr. Farkas Zsuzsanna felvétele)

A tudósok megszemélyesítése nagy népszerűsége tette, így egyetemi tanulmányaim során lehetőségem nyílt számos további, a fizika népszerűsítését (is) célzó ismeretterjesztő programokon szerepelni ebben a jelmezben, Otto von Guerickeként.

Így: a Kutatók Éjszakáján, Fizika Napján, Pályaválasztási kiállítás és vásár rendezvényén (Szeged, Ifjúsági Ház), és a Múzeumok éjszakáján. Ezen kívül a Játsszunk

Tudományt foglalkozásokon (Szeged, Agóra) játékos kísértekkel mutattam be a fizika törvényeit az általános iskolás korosztálynak, valamint a Képes Ifjúság vajdasági hetilap részére *Érdekes fizika feladatok* című rovatot írtam saját ötlet alapján a középiskolás korosztálynak, ahol a légnyomással kapcsolatos feladatok is szerepelnek.

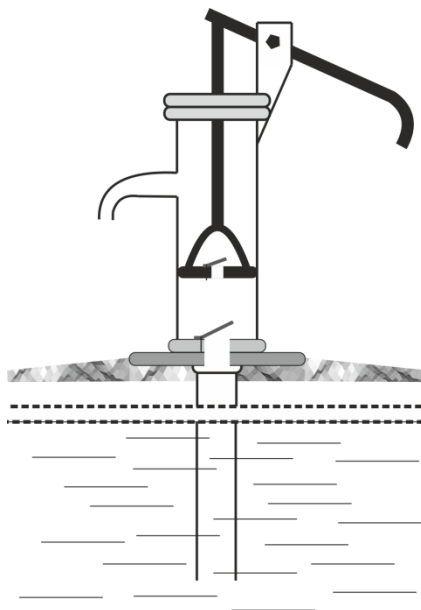
A fizika BSc képzésen szakirányom a tanári szakirány, melyet azért is választottam, mert szeretek tanítani, előadni és látni az érdeklődő tekinteteket s a mentális fejlődést. A korosztálynként eltérő oktatási módszerek felfedezése és alkalmazása számomra öröm, ugyanúgy egy ismeretterjesztő előadás tematikájának továbbfejlesztése a tapasztalat és az ismeretanyag bővülésével.

2. HORROR VACUI ÉS OTTO VON GUERICKE

2.1. A vákuum fizikai megvalósítása

Arisztotelész és Platón tanai a vákuum előállításának lehetőségét tagadták, tanaik lényege a „horror vacui” elmélet, azaz, hogy a természet egyszerűen irtózik a vákuumtól. Ezen filozofikus állítás általánosan elfogadottá vált egészen a 17. századig.

Velük szemben az atomizmus megalkotói (Démokritosz és követői) lehetségesnek tartották a vákuum megalkotását, legalábbis elméleti szinten. Az összes atom eltávolítása egy térrészből a vákuum, véleményük szerint lehetséges. Ilyen térrészt azonban előállítani nem tudtak. Vákuum előállítására közel kétezer évet kellett várni.



3. ábra

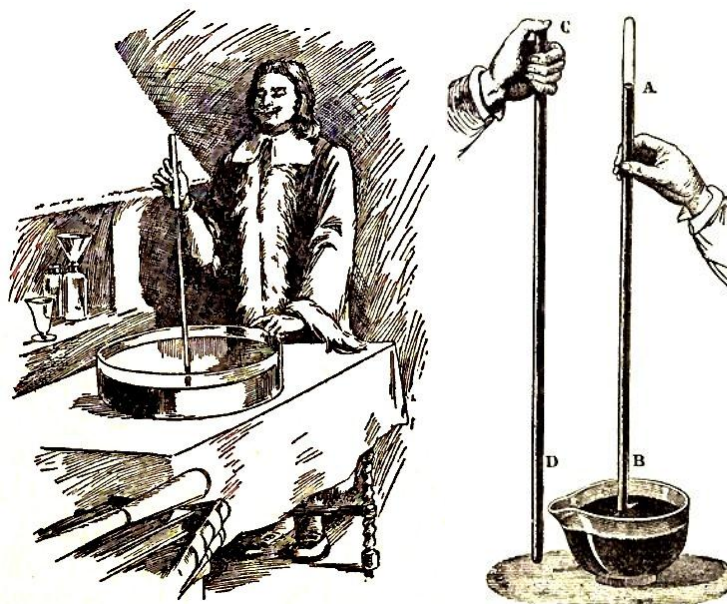
Vízpumpa vázlatos rajza. (forrás: saját szerkesztés)

A 17. században szerteágazó kutatást végzett több fizikus is a vákuum előállításával kapcsolatban. Először a légszivattyú előállítása volt a cél, a vízszivattyú (3. ábra) mintájára. Utóbbi esetében is akadt probléma, hiszen bármely vízszivattyú csövében a víz csak bizonyos magasságig emelkedett, a bizonyos magasság pedig kb. 10,5 méter. Sok fizikusnak okozott

fejtörést a probléma. Az már nem volt kielégítő válasz, hogy a természet 10,5 méter után irtózik a vákuumtól. „Vajon miért irtózna a természet 10,5 méter magasságtól kezdve, de hamarabb nem?” (Barrow 2005:103), hangzott el a 17. századi kérdéssor.

Galileo Galilei (1564-1642) tanítványaival, Evangelista Torricelli (1608-1647) és Vincenzo Viviani (1622-1703) közösen, s egyénileg is foglalkozott a vízpumpa problémájával. Először Galilei tett kísérletet a „horror” megmérésére: Egyik oldalán zárt hengerbe vizet töltött, a henger másik oldalát pedig dugattyú zárta el. A dugattyú aljára egyre több súlyt akasztva – egy meghatározott súlynál – a dugattyú megindult lefelé. A súly a mértéke a „horror vacui”-nak, azaz Galilei révén kvantitatív fizikai mennyiséggé válik a hiedelem. Galilei értelmezése viszont nem célravezető, hiszen azt állítja, hogy a víz elszakad saját súlya alatt.

A fentebb vázolt kút-problémával kapcsolatban Torricelli kísérletezett tovább. Látható, hogy legalább 11 m magas vízoszlop szükséges a fentebb vázolt kút-probléma elemzéséhez. Ezen oknál fogva Torricelli a víznél sűrűbb folyadékot keresett, és a higany bizonyult megfelelőnek. A híres Torricelli kísérlet ezen gondolatmenettel készült el 1643-ban.



4. ábra

Torricelli, a róla elnevezett kísérlet megfigyelése közben (forrás: (3)).

Az olasz fizikus vett egy kb. 1 m hosszú, egyik végén leforrasztott üvegcsövet és színültig megtöltötte higannyal. Azért alkalmazott üveget, hogy láthassa, mi történik az „ürességben”. A cső végét befogta az ujjával, és azt függőlegesen, nyitott végével lefelé egy higannyal teli edénybe helyezte (4. ábra). Az üvegcsőben a higany szintje valamennyire lesüllyedt és üres térrész keletkezett a cső tetejénél. A kérdés az, hogy mi van ott? Torricelli azt sejtette, hogy a higany feletti térrészben vákuum¹ van, s a higanyoszlop magassága az aktuális atmoszférikus nyomással van összefüggésben. A higanyoszlop magasságáról azt állapította meg, hogy az kb. 76 cm. Meg kell jegyezni, hogy Galileit ez évben (szintén 1643-ban) ítélte az egyház házi őrizetre heliocentrikus tanai miatt, így teljesen világos, hogy a kor fizikusai állításait nagy óvatossággal fogalmazták meg.

Blaise Pascal, a kor egy francia polihisztorja tette meg a következő nagy lépést. Tudomást szerezve a Torricelli kísérletről, tovább folytatta annak körülményes vizsgálatát. Szintén azt feltételezte, hogy a higany szintjét a levegő súlya, nyomása tartja egyensúlyban, s hogy erre példát adjon, 1648-ban, a Puy-de-Dôme hegy lábánál és 1465 m magas csúcsánál is elvégezték Torricelli kísérletét. Az eredmény 8,25 cm higanyszint különbség volt, mely lenyűgözte a kísérlet résztvevőit. A kísérletből okulva, ha a hegycsúcson kevesebb a levegő, akkor feljebb tovább kell csökkennie. Pascal arra következtetett, hogy a Földet a légkör, mint gömbhéj veszi körül, s annak súlya nehezedik a higanyoszlopra, és hogy a higany fölötti üres térrészben vákuum van. Sejtése ellenére Pascal igen óvatosan fogalmazott és vélekedett minden tényállásáról, hiszen még mindig az ókori „horror vacui” elmélet volt elfogadott. Ennek ellenére sem hagyta őt figyelmen kívül az egyház figyelmeztető szava, s válaszul Pascal a következőt jegyezte le:

„...szorítsuk józan korlátok közé az ókori szerzők tekintélyét. (...) Mivel Ők csak arra használták a régi ismereteket, hogy új ismereteket szerezhessenek, s ez a szerencsés merészségük nagy dolgok felé nyitott utat számukra...”

Pascal: Gondolatok, Fónagy Iván fordítása (Simonyi 1986:221)

Pascal munkája sokban hozzájárult a hidrosztatika és a hidrodinamika fejlődéséhez. A légköri nyomással kapcsolatos eredményeinek állít emléket a róla elnevezett nyomás mértékegysége is.

¹ Ma már tudjuk, hogy a Torricelli úrban higanygőz van, melynek nyomása szobahőmérsékleten kb. 0,13 Pa.

Torricelli és Pascal kísérleteivel párhuzamosan, egy német fizikus eközben a vákuum előállításán fáradozik.

2.2. Otto von Guericke

Otto Gericke (5. ábra) néven született 1602. november 20-án, a németországi (akkori Német-római Birodalom) Magdeburg városban. Apja, Hans Gericke és anyja, Anna von Zweidorff nemesi családból származtak, így Gericke jómódú körülmények között nevelkedett. Szerteágazó tanulmányokat folytatott Európában, melyek helyszíneit a 30 éves háború erősen befolyásolta.



5. ábra

Otto von Guericke portréja (forrás: (4))

1617-től a lipcsei egyetemen tanult természettudományi alapokat, majd 1620-tól Helmstedben a Júlia Akadémián. 1621-től a jénai egyetemen jogot, 1622-től a leideini egyetemen geometriát, csillagászatot, jogot, továbbá hadmérnöki tanulmányokat folytatott. Idegen-nyelvi képzettsége a holland, francia és angol nyelvekre terjedt ki. Tanulmányai végeztével angol és francia területeket érintő utazása kezdődött. Majd 1631-től a svéd király, II. Gusztáv Adolf hadmérnöke volt.

1632-ben, családjával (első feleségével és fiával) visszatért szülővárosába, Magdeburgba, hogy újjáépítse azt az 1631-es lerombolását követően. Jó kapcsolatai és kiváló diplomáciai érzéke révén elérte, hogy 1646-ban városa polgármesterévé nevezzék ki. 1666-ban nevét Gericke-ről Guericke-re változtatta, ráadásul I. Lipót királytól főnemesi rangot kapott, így lett a neve végül Otto von Guericke.

Polgármesteri teendői mellett magánkutatásokkal töltötte idejét. Megismerkedett Kopernikusz világszemléletével és Torricelli kísérletével is. A vákuum létrehozása felkeltette érdeklődését. Guericke számára a légköri nyomás és a vákuum fogalma magától értetődő volt. Tudta, hogyha egy térrészből eltávolítjuk a levegőt (vagy éppen a vizet), akkor ott vákuum keletkezik. E célból olyan szivattyút épített, mely egy hosszú menetterű dugattyúhoz hasonló, működési elve pedig a térfogatnövelésen alapul. Adott mennyiségű részecske egyre nagyobb térrészben – ez nyomáscsökkenéshez, vákuum közeli állapothoz vezet. **Ez volt a világ első légszivattyúja.** Célja megvalósításához olyan zárt eszközre volt szüksége, melyből az anyagot (levegőt, vizet) eltávolítja. Először fahordóból szivattyúzta ki a vizet (6. ábra), de a hordó apró résein a levegő betódult. Ezt követően fémgömböket készíttetett, de az első darabok igen vékony falú gömbök voltak, így a levegő kiszivattyúzása a gömb összeroppanását vonta maga után. Ez további tapasztalatot nyújtott számára a légkör súlyával kapcsolatban.



6. ábra

Víz szivattyúzása fahordóból, vákuum előállításának céljából (sikertelenül) (forrás: (5)).

Végül sikerült megfelelő gömböket készíttetnie, melyek a **magdeburgi féltekék** címet érdemelték ki. 1654. május 8-án Regensburgban, a Német-római Birodalom császára birodalmi gyűlést tartott, ahol különféle látványosságokkal szórakoztatták az egybegyűlteket. Köztük volt Otto von Guericke, aki a mutatványáról (1. melléklet) a következőt jegyezte fel:

„Rendeltem két rézből készült félgömböt, melyek átmérője háromnegyed magdeburgi rőf² (kb. 40 cm) volt. Az egyik félgömbre szelepet szereltek, amelyen át kivonhattam a levegőt a gömb belsejéből. Ezen kívül mindkét félgömbre vasgyűrűt illesztettek, melybe kötelet fűztek, hogy lovakat foghassanak hozzá. Ezután rendeltem egy bőrgyűrűt, terpentiben³ oldott viasszal itattam át, hogy ne eressze át a levegőt. Ezt a gyűrűt a félgömbök közé illesztettem és a gömbből gyorsan kiszivattyúztam a levegőt. Eközben a félgömbök oly erősen tapadtak a bőrgyűrűhöz, hogy azokat nyolc-nyolc ló vagy egyáltalán nem tudta szétválasztani, vagy csak nagy erőfeszítés árán. Amikor a gömb kettévált, ágyúlövéshez hasonló erős hang hallatszott. S ha a gömbök terébe levegő hatolt, akkor már könnyűszerrel szét lehetett venni azokat.”
(Kudrjavcev 1951:192)

Légszivattyúja segítségével Guericke már kézzel foghatóan be tudta bizonyítani a légkör nyomását.

Az üres tér kvalitatív jellemzése újabb kísérletekre ösztönözte (7. ábra) a légszivattyú megalkotóját: kitapasztalta, hogy a hang nem terjed vákuumban, és hogy az égéshez, valamint az élethez is levegő szükséges.

² Különböző fizikatörténeti szakirodalmak a $\frac{3}{4}$ magdeburgi rőf hosszát 37 és 42 cm közötti értékre becsülik.

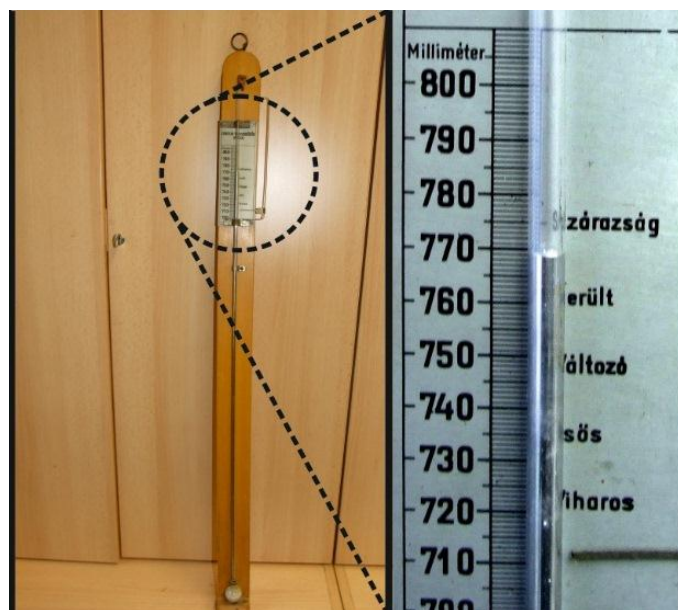
³ Terpentin: fenyőgyantából készült balzsam.



7. ábra

További kísérlet a magdeburgi féltekékkel (forrás: (6))

Guericke baroszkópot is szerkesztett: egy kb. 30 cm átmérőjű rézgömbből kiszivattyúzta a levegőt, ezt egy kicsi, de súlyos nehezékkal kiegyensúlyozta egy mérleg karján. Ha a légnyomás megváltozott, a mérleg egyensúlya is megbomlott, annak mutatója kitért. Torricelli nyomán pedig víz-barométert készített a légnyomás további tanulmányozására. Mindazonáltal, a vízzel működő barométerhez legalább 10 m hosszú, függőleges helyzetű üvegcső szükségeltetik, így e barométer vége Guericke házának a tetejéig ért. A cső védőburokban volt, csak a vége látszott ki ebből, ahol a víz felszínén egy kis fafigura úszott. Eső közeledtével a vízszinttel együtt a kis fafigura is lesüllyedt a védőperem takarásába. Ez által összefüggésbe tudta hozni a légnyomáscsökkenést az esős időjárással. Így Guericke kiérdemelte az első meteorológus címet is: először használt barométert (8. ábra) időjárás előrejelzésre. Feljegyzés maradt arról, hogy 1650-ben a „nagy vihar” közeledtét jelezni tudta.



8. ábra

Ma is használatos higanyos barométer és skálabeosztása, adott légnyomásra jellemző időjárási jelenségek neveivel (a légnyomás csökkenésével sorra: szárazság, derült, változó, esős, viharos). (forrás: saját felvétel, SZTE JGYPK Általános és Környezetfizikai Tanszék)

Guericke látványos és hasznos kísérleteiről nem csak a Magdeburghoz közeli területek lakói hallhattak. A kísérletező polgármester találmányairól 1658-ban, Gaspar Schott jezsuita atya, *Mechanica hydraulico-pneumatica* című könyvéből olvashattak. Otto von Guericke saját kötetet is szerkesztett, hisz igen aktív kutató volt diplomáciai és adminisztratív jellegű feladatai mellett. Könyvének címe *Ottonis de Guericke: Experimenta Nova (ut vocantur) Magdeburgica de Vacuo Spatio (Új magdeburgi kísérletek a légüres térben)*, melyet, habár 1663-ban sikerült megírnia, kiadására csak 1672-ben került sor. Robert Boyle ezen könyv segítségével szerzett tudomást Guericke légszivattyújáról, majd azt továbbfejlesztve felfedezte az ideális gázok törvényeinek egy speciális esetét.

Kötetében Guericke nem csak vákuummal és légnyomással kapcsolatos eredményeiről olvashatunk. A fizikusnak a világon *mindenről* van mondanivalója. Műve hét fő fejezetből áll. Az első a világrendszeréről általában, a második az üres térről, a harmadik erre vonatkozó saját kísérleteiről, a negyedik az elektromosságról és világerőkről,⁴ az utolsó három rész a Földről, a Holdról, a bolygókról és az állócsillagokról szól. Ábrákat láthatunk a heliocentrikus világképről, csillagászati megfigyelésekről; optikai szerkesztésekről. Guericke a teret

⁴ Guericke a bolygók és a Nap közötti vonzást elektromos kölcsönhatással magyarázta

végtelennek tartotta és úgy gondolta, hogy azt a miénkhez hasonló világok népesítik be.
(forrás: (1))

Akik ismerték művét, csodálatukat fejezték ki iránta:

*„Ha megenged egy kis tréfát elmondanám, hogy bár Ön
bebizonyította a vákuum létezését,
az űrnek az Ön könyvében nyomát sem látom!”*

Johannes von Gersdorf (Barrow, 2005. 111. o.)

32 év polgármesteri hivatása után, 1681-ben, a pestis járvány elkerülése érdekében fiához költözött Hamburgba, ahol később, 1686-ban elhunyt.

A tudomány szempontjából Guericke legnagyobb érdeme a légszivattyú elkészítése, az időjárás és a légnyomás közötti kapcsolat kimutatása. Kortársaival, gyönyörű kísérletekkel bizonyították, hogy egy levegőtenger alján élünk, s a „horror vacui” ókori elméleteit a fizikához illő determinizmussal rombolták le, és új tudományágot építettek helyére.

Magdeburg egyeteme őrzi a tudós nevét, a városban épült fel az Otto von Guericke Egyetem, ahol például Franz Emil Melde fizikus is oktatott. Könyvének eredeti példánya Budapesten, a Ráday Műemlékkönyvtárban is fellelhető.

2.3. XI. századi ismeretek a Föld légköréről és a vákuumról

A Föld légkörét bolygónk gravitációs vonzása biztosítja. A nagy sebességgel mozgó gázcsepecskéket vonzáskörében tartja, s a légkör együtt forog a Földdel. Ahhoz, hogy ilyen nagy kiterjedésű és folyamatosan változó gázhalmazt jellemezni tudjunk, elengedhetetlen annak definiálása és állapothatározóinak ismerete.

gáz	relatív térfogat [%]	relatív sűrűség (levegő = 1)	relatív tömeg [%]
nitrogén	78,08	0,9670	75,52
oxigén	20,95	1,1053	23,15
argon	0,93	1,379	1,28
széndioxid ⁵	0,03	1,529	0,046

1. táblázat

A légkör fő alkotóelemeinek eloszlása. (Dési és Rákóczi 1970:19)

réteg neve	alsó és felső határának átlagos magassága [km]
troposzféra	0-10
sztratoszféra	11-50
mezoszféra	55-80
termoszféra	85-500
exoszféra	500-3000

2. táblázat

A légkör rétegei (Tverszkoj-féle felosztás). (Dési és Rákóczi 1970:18)

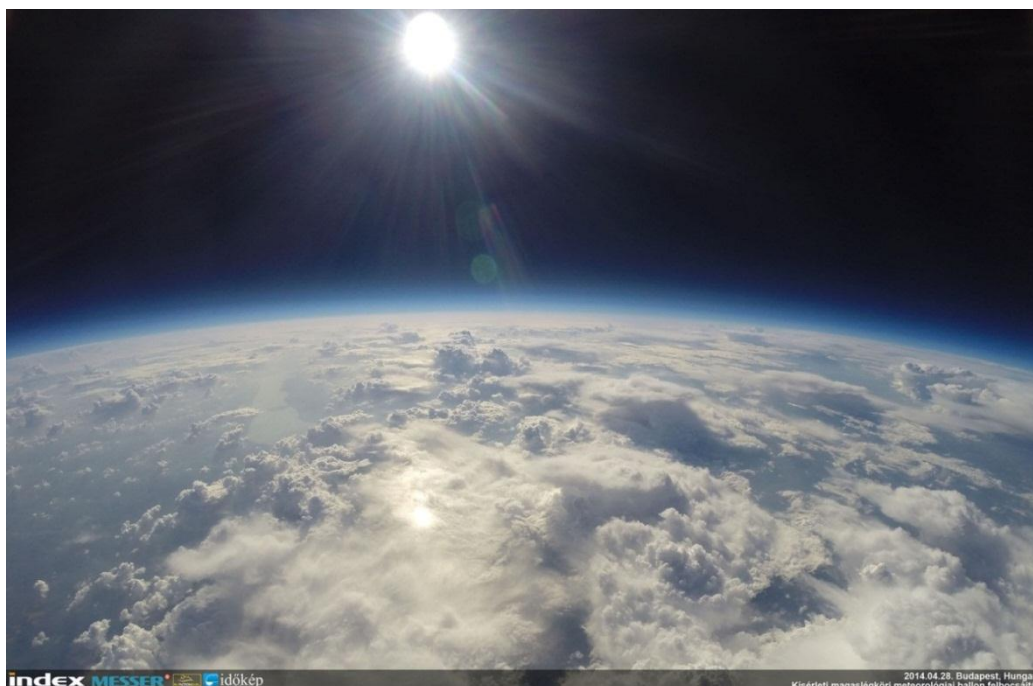
Levegőn (földi légkörön) olyan gázelegyet értünk, amelyben a gázalkatrészek térfogatainak aránya közel állandó. Fő alkotóelemei a nitrogén, oxigén, argon, széndioxid.

⁵ A széndioxid mennyisége térben és időben változhat, a századforduló (1900) óta progresszív növekedés van – tehát nem olyan állandó jellegű gázalkatrész, mint három társa.

Továbbá igen csekély mennyiségben hélium, neon, kripton, radon, ózon, hidrogén is. A fő alkotóelemek eloszlása az 1. táblázatban található. Ezen eloszlás kb. 100 km magasságig áll fenn.

A légkör több rétegre osztható, mivel a magasság növekedésével annak fizikai jellemzői változnak, de egy-egy réteg (2. táblázat) közel azonos fizikai tulajdonsággal bír.

A Föld légkörében a levegő sűrűsége és nyomása nem állandó; a magasság növekedésével egyre csökken, mégpedig úgy, hogy 5,5 kilométerenként a gáz sűrűsége és a légnyomása megfeleleződik. 5,5 km magasság alatt található a Föld légkörének 50%-a, 38,5 km alatt pedig a 99%-a. Ebből látszik az is, hogy a légkörnek nincs éles felső határa (9. ábra), folyamatosan ritkul addig, míg el nem éri a bolygóközi részecskesűrűség értékét, ami néhány részecske köbcentiméterenként. A légkört egészében 3-400 km magasságúnak tekintjük (például a műholdak ezen magasság felett keringenek a Föld körül, hiszen ekkor nincs jelentős közegellenállás, mely fékezne mozgásukat).



9. ábrás

Földünk és légköre kb. 25 km magasból (forrás: (7)).

Más naprendszerbeli bolygóknak is van légköre. A Vénusz és a Mars légkörét is túlnyomórészt szén-dioxid alkotja, utóbbi felszíni hőmérséklete $-53\text{ }^{\circ}\text{C}$, nyomása 640 Pa. A

Plútó kisbolygónak is van légköre (metángáz), annak ellenére, hogy az égitest kisebb, mint a Hold (mely nem rendelkezik légkörrel).

Az ideális vákuum olyan térfogat, ami nem tartalmaz anyagot. Valóságban még soha nem figyeltek meg ideális vákuumot és a kvantumelmélet szerint ez nem is lehetséges. A vákuum minőségét azzal jellemezzük, hogy mennyire közelíti meg az ideális vákuumot.
(forrás: (2))

3. OTTO VON GUERICKE ELŐADÁSA A KUTATÓK ÉJSZAKÁJÁN

Otto von Guericke jellegzetes öltözkébe bújva (10. ábra), légnyomással kapcsolatos kísérleteket mutattam be a publikumnak a Kutatók Éjszakája rendezvényeken, a *Fizika a színpadon* címmel, kb. másfél órás előadásban. Mind a négy tudós (Arkhimédész, Galileo Galilei, Otto von Guericke, Isaac Newton) megtestesítői Farkas Zsuzsanna tanárnő konzultálásával elkészítették szerepük forgatókönyvét úgy, hogy a tudósok legnevesebb felfedezésein és látványos kísérletein legyen a hangsúly.



10. ábra

Otto von Guericke voltam – Kutatók Éjszakája előadás.

(forrás: Dr. Farkas Zsuzsanna felvétele)

A kísérleti eszközöket a tanszék biztosította, előadásunkat diavetítés kísérte, megértést segítő ábra, néhány korabeli metszet, vagy egyéb érdekesség bemutatása céljából. Az időkorlát mellett figyelembe kellett venni, hogy a közönség korcsoportjainak eloszlása nagyon vegyes, így az előadások jellege – a szigorú definíció- és tételkimondás vagy hosszadalmas számítás helyett – az érdekességre, látványra törekedett, kellő magyarázattal, összességében megőrizve a fizikus pontosságot. A könnyebb megértés és áttekinthetőség érdekében az előadás meghatározott tematikát követ, egymásra építi az addig bemutatott részelemeket, s ebből kifolyólag egy bizonyos logikai útvonal, gondolkodásmód is átadható a publikumnak, természetesen a felejthetetlen élmény mellett. Alapvetően az egyes szám, első személy („én fedeztem fel a...”) használata a tudósokat, azok felfedezéseit és a fizika törvényeit közelebb hozta az előadás résztvevőikhez.

Előadásomat a következő mondattal kezdtem:

„Tiszteletem! Otto von Guericke a nevem.

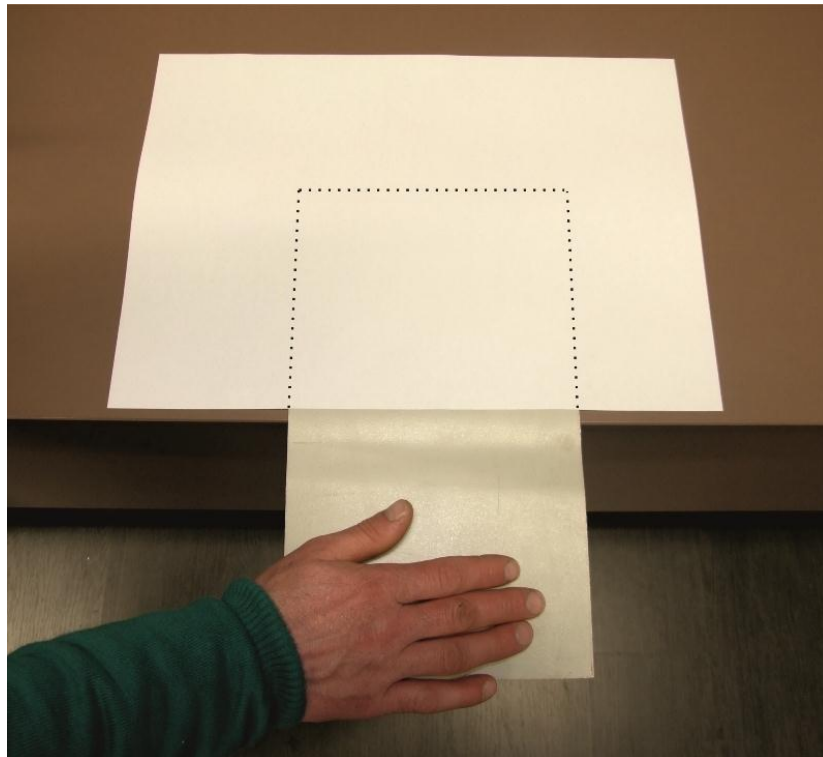
1602-ben születtem, jó 409 évvel ezelőtt. Magdeburg város polgármestereként, kötelező teendőim mellett akadt időm a tudománnyal foglalkozni, kutatásokat végezni, főként légnyomással kapcsolatosakat. Számomra a vákuum fogalma magától értetődő volt, ámbár a népnek bizonyíték kellett. Szerettem volna megmutatni a légnyomás erejével, hogy a vákuum bizony létezik.”

Az előadások során a következő kísérletek kerültek bemutatásra:

3.1. Légnyomás szemléltetése papírlappal és fémlappal.

Eszközök: A3 méretű papírlap, kb. A4 méretű fémlap

Helyezzük egy sima felületű asztalra a fémlamezt, úgy hogy az asztal szélétől tenyérszerű méretű rész kilógjon belőle, erre pedig egy A3-as méretű normál vastagságú papírlapot helyezünk, mely az asztal lapján kívülre nem eshet (11. ábra).



11. ábra

Légnyomás szemléltetése fémlappal és papírlappal

(szaggatott vonal jelöli a fémlap papírlap alá nyúló részét). (forrás: saját felvétel, SZTE

JGYPK Általános és Környezetfizikai Tanszék)

A fémlapot emelőként használva, hirtelen nyomással lefelé taszítjuk és megpróbáljuk a papírlapot megemelni. Azt tapasztaljuk, hogy a vékony papírlap a nyomásnak ellenáll – azaz

a papírlapra nehezedő légoszlopot hirtelen nem tudjuk megemelni, vagy csak nagyon kis mértékben. A fémlapot lassan mozgatva azonban a papírlap könnyen felemelhető.

Egyszerű számítással megbecsülhetjük a lapra nehezedő légoszlop súlyát:

Az A3-as papírlap felülete: $A = 0,125 \text{ m}^2$

A légkör számottevő magassága (troposzféra magassága): $h \approx 10 \text{ km} = 10000 \text{ m}$

A levegő sűrűsége: $\rho \approx 1,2 \text{ kg/m}^3$ (20 °C)

Így:

$$m_{\text{légoszlop}} = A \cdot h \cdot \rho = 0,125 \text{ m}^2 \cdot 10000 \text{ m} \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1500 \text{ kg} \quad (1)$$

A számítás mutatja, hogy a papírlapra kb. egy személyautónyi súlyú légoszlop nehezedik.

3.2. Gondolatkísérlet a levegő és súlyának érzékelésére

Képzeld el, hogy egy mély medence alján állunk. Lábunkat rögzíthetjük, hogy ne emelkedjünk fel a felszínre.

Ha a kezünket elkezdjük fel-le mozgatni, érezzük, hogy a valami igyekszik lefékezni a kezünk mozgását. Sőt, minél gyorsabban tesszük ezt, annál nehezebb dolgunk van. Persze tudatában vagyunk annak, hogy bennünket víz vesz körül. Víz nehezedik ránk. A víz pedig részecskékből áll, melyek súlyuknál fogva nyomást gyakorolnak egymásra és testünkre is.

Tegyük meg ugyanezt a mozdulatot a medencéből kiemelkedve, a levegőben. Lassú kézmozgás esetében alig, de gyors „hadonászás” közben már érezzük, ahogyan a levegő átszökik az ujjaink között. Zárt tenyerünket pedig – habár igen kis mértékben – de fékezi.

Ebből arra következtethetünk, hogy a levegő – hasonlóan a vízhez – részecskékből áll, és a részecskék nyomást gyakorolnak tenyerünkre mozgásukból és súlyukból adódóan.

Képzeljük el ismét a fenti (papírlapos) kísérletet. Gondoljuk át először azt, hogy a papírlappal vízréteget próbálunk megemelni. Ugye nehéz? Gondolatban tegyünk a papírlapra 10000 m magas légoszlopot, majd emeljük meg. Ez – amit a papírlapos kísérletben is érzünk – a levegő súlyából adódó nyomás, a légnyomás.

3.3. A magdeburgi féltekék

Eszközök: magdeburgi féltekék kicsinyített mása, légszivattyú

Otto von Guericke által Regensburgban bemutatott kísérletét félgömbök kicsinyített másával mutattam be a közönségnek, légszivattyút használva. Jelen esetben a félgömbök műanyagból készültek, gumi karika biztosítja a szigetelést, valamint egy elzárható csap található az egyik félgömbön (12. ábra). Ennek köszönhetően a szivattyúhoz vezető gumicsövet el is lehet távolítani szivattyúzás után, s a közönség bátran vetélkedhet a félgömböket összeszorító légnyomással.



12. ábra

A magdeburgi féltekék. A nyilak a kezek által kifejtett erőhatások irányát mutatják. (forrás: saját felvétel, SZTE JGYPK Általános és Környezetfizikai Tanszék)

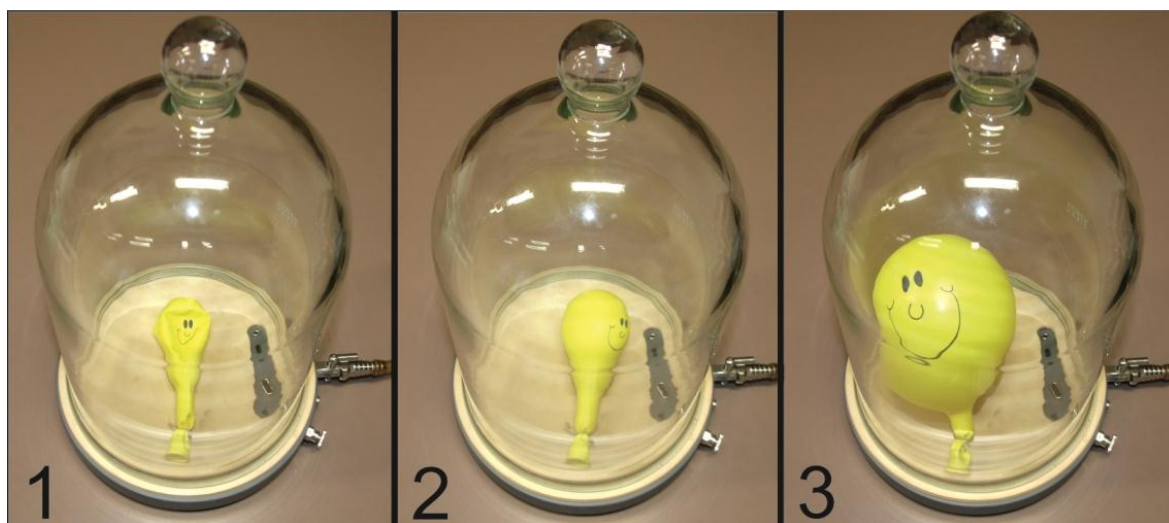
3.4. Üvegharang és légszivattyú

További, vákuumban fellépő jelenségeket és érdekességeket kísérhetünk figyelemmel, üvegharang (üvegbúra) használatával. A légszivattyú segítségével kiszivattyúzhatjuk a levegőt a búra alól. Üveg mivolta lehetővé teszi a légnyomásváltozás által előidézhető jelenségek vizuális érzékelését.

3.4.1. Lufi felfújás

Eszközök: lufi, üvegbúra, légszivattyú.

Az üvegharang alá egy lufit helyezünk, melynek a vége be van kötve, ügyelve arra, hogy maradjon benne némi levegő. A búra alól kiszivattyúzva a levegőt a lufi folyamatosan nő, „felfújja magát” (13. ábra).



13. ábra

Lufi felfújása légszivattyú segítségével. (forrás: saját felvétel, SZTE JGYPK Általános és Környezetfizikai Tanszék)

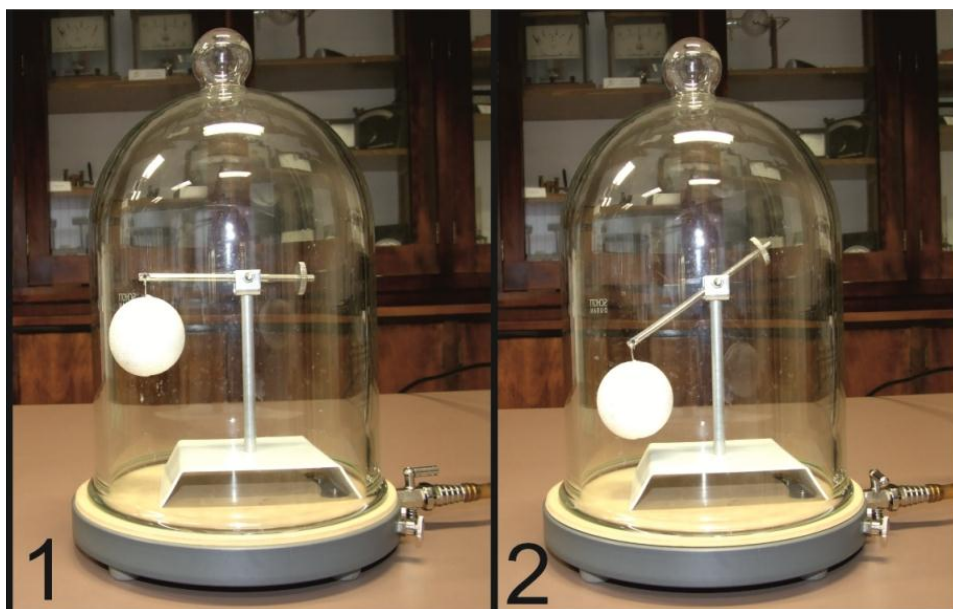
Magyarázat: először érdemes azon elgondolkodni, mi is történik, amikor a lufit ajkunkra helyezve felfújjuk. A lufiban lévő levegő mennyiségét növeljük, azaz a lufiban lévő

levegő nyomása megnő külső a légnyomáshoz képest. Ugyanez történik az üvegharang alatt is. Ha megfigyeltük, a lufit zárt állapotban csomóztuk be, s a benne maradt kis mennyiségű levegő nyomása a normál légnyomás. A szivattyút bekapcsolva, a lufiban lévő levegő nyomása a búra alatti – csökkenő – nyomással tart egyensúlyt. Ez pedig csak úgy lehetséges, ha a lufi térfogata nő; a benne lévő levegő nyomása pedig a búrán belüli nyomással arányosan csökken. A kísérlet a Boyle-Mariotte törvény segítségével is magyarázható, miszerint egy zárt térrészben kisebb nyomáshoz nagyobb térfogat tartozik.

Ugyanez a kísérlet elvégezhető egy nyúlékony (laboratóriumi) gumikesztyűvel is. A lufihoz hasonlóan becsomózott véggel helyezzük a kesztyűt a bura alá, mely – ha jól is igazítottuk – mint egy életre kelt kézfej nyílik szét és nő egyre nagyobbra.

3.4.2. Felhajtóerő szemléltetése

Eszközök: kétkarú mérleg, hungarocell golyó, kisméretű csavar, üvegbúra, légszivattyú.



14. ábra

A felhajtóerő szemléltetése (levegő kiszivattyúzása előtt (1) és után (2)).

(forrás: saját felvétel, SZTE JGYPK Általános és Környezetfizikai Tanszék)

E kísérletben az üvegbúra alá egy kétkarú mérleget egyensúlyozunk ki, melynek egyik karján egy kb. 6 cm átmérőjű hungarocell labda lóg, a másik oldalon pedig egy tömör csavar található (a térfogata sokkal kisebb, mint a labdáé). A légszivattyút működésbe hozva azt tapasztaljuk, hogy a mérleg egyensúlya felbomlik, és a golyó felőli oldal irányában „nehezebb” lesz (14. ábra).

Magyarázat: A levegő által a golyóra ható felhajtóerő az, amit megszüntetünk a kísérlet során. A kiinduló állapotban a levegő „könnyít” a labda súlyán. Légritka környezetben azonban ez az erő csökken, a levegő általi „alátámasztást” kiszivattyúzzuk, így a mérleg karja a golyó felé lesüllyed.

Ezen az elven működik Otto von Guericke ún. baroszkópja.

3.4.3. A víz forráspontjának csökkentése

Eszközök: főzőpohár, víz, üvegbúra, légszivattyú.

Ha csökken a folyadékfelszínre nehezedő levegő súlya, akkor a folyadék (pl. víz) forráspontja $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ alá csökken. A telített vízgőz nyomása így hamarabb eléri az öt körülvevő rendszer nyomását. Ezt a kísérletet könnyű elvégezni egy – a búra alá helyezett – szobahőmérsékletű vízzel töltött lombikkal. A szivattyú bekapcsolásával azonnal megkezdődik a buborékképződés, és másodperceken belül látható a szobahőmérsékleten forró víz.

3.4.4. Folyadék közlekedése lombikból lombikba

Eszközök: üveglombik, főzőpohár, U alakú üvegcső, üvegbúra, légszivattyú.

Egy a lombikot töltünk meg vízzel, s egy dugóval a lombik teteje legyen úgy lezárva, hogy csak az üvegcsövön át juthasson ki belőle a folyadék. A főzőpohár a tartály szerepét tölti be.

Ezen elrendezést üveggarang alá helyezzük. Amint a légszivattyút működésbe hozzuk, a víz az üvegcsövön áramlik a vizes lombikból a főzőpohárba, az üvegcsövön keresztül. Ha a szivattyúzást kikapcsoljuk, a folyadék áramlása is megszűnik (15. ábra).

Magyarázat: A dugóval lezárt lombikban lévő víz felett és az üvegcsőben levegő van, mely nyomása a normál légköri nyomás. Ezen lombik körül lévő rendszerből a levegőt kiszivattyúzva a lezárt lombik és környezete között légnyomáskülönbség jön létre. Ebből adódóan a lezárt lombik levegőjének nyomása kipréseli a vizet az üvegcsőn keresztül.



15. ábra.

A folyadék közlekedése kísérlet lépései

(azonos nyomás (1); nyomáscsökkentés és folyadékáramlás (2), (3)).

(forrás: saját felvétel, SZTE JGYPK Általános és Környezetfizikai Tanszék)

3.4.5. A hang nem terjed légüres térben

Eszközök: csengő, üvegbúra, légszivattyú.

Az üvegbúra alatt működésbe hozott csengő hangját igaz tompán, de halljuk. A levegő fokozatos kiszivattyúzásával a csengés hangereje csökken, majd teljesen elcsendesül. A levegő visszaengedésével pedig e folyamat fordítottja észlelhető, a levegő – a rezgéseket szállító közeg – visszatérésével a csengő hangja eljut fülünkbe.

Magyarázat: A hang mechanikai hullám, terjedéséhez valamely rugalmas és folytonos közeg szükséges, legyen az levegő, víz, acélgerenda. Az említett közeg hangterjedéshez való szükségességét igazoltuk eme kísérlettel. Ehhez kapcsolódóan, a kísérlet elvégezhető például mobiltelefonnal is. Érdekes, ha éppen a közönség egyik tagja telefonálhat a közeli vákuumba.

Ebben az esetben kétszeresen beláttuk, hogy a hanggal ellentétben az elektromágneses hullám terjedéséhez semmi szükség közvetítő közegre, hiszen mobiltelefonunk változatlanul fogadta és küldte a kb. 900 MHz-es frekvenciájú hullámokat.

Megjegyzés: a Kutatók Éjszakáján ezt a kísérletet mobiltelefonnal végeztük el.

3.5. Üdítős doboz összeroppantása a légnyomás erejével

Eszközök: üres üdítős doboz, fogó, borszeszgő, hideg vízzel teli üvegcád vagy edény.

A fogóra erősített üdítős dobozban lévő ujjhegynyi vizet a borszeszgővel addig melegítjük, míg a benne képződő vízpára a dobozban lévő levegő nagy részét ki nem szorítja onnan (intenzív párolgás látható ekkor a doboz nyílásánál). Gyors mozdulattal a dobozt nyílásával lefelé az üvegcád vízébe fordítjuk. Az üdítős doboz összeroppan (16. ábra).



16. ábra

Üdítős doboz összeroppantása a légnyomás erejével

(a roppantás pillanata (1); végeredmény (2)). (forrás: saját felvétel, SZTE JGYPK Általános és Környezetfizikai Tanszék)

Magyarázat: A roppantást a légnyomás viszi véghez. Az üvegkádba fordított dobozban lévő vízpára hirtelen lehűl, s ennek következtében lecsapódik (ismét víz lesz), térfogata lecsökken, hirtelen üres hely keletkezik a dobozban, azaz vákuum.⁶ Az üvegkádban lévő víz megakadályozza a levegő beáramlását, a víz maga, tehetetlensége miatt pedig nem tud hirtelen felszökni a dobozban lévő „üres helyre”, mivel a külső légnyomás összeroppantja a dobozt.

⁶ Valójában nem teljes vákuum keletkezik, csupán csökken a levegő nyomása

4. LÉGNYOMÁSSAL KAPCSOLATOS KÍSÉRLETEK ÉS FELADATOK A KÖZÉPISKOLAI OKTATÁSBAN

E fejezetben olyan légnyomással kapcsolatos kísérleteket és feladatokat válogattam össze, melyek meghatározó szerepet töltenek be a középiskolás fizikaoktatásban. Ezen feladatok és kísérletek specifikusak, konkrét tananyaghoz kapcsolódnak. Korcsoportra szűkítve a diákok előismeretét könnyebb behatárolni s lehetőség nyílik már meglévő tudáselemekre építkezni (ellentétben egy nyílt előadással).

Hetedik osztályban ismerkednek meg a tanulók a nyomás fogalmával, definíciójával (nyomóerő és nyomott felület). Ezt követően a szilárd testek, a folyadékok (hidrosztatikus) és gázok nyomásával, majd konkrétan a légnyomással. Ezen felül a tananyag részét képezi az elemi szintű erőtan ismeret is.

A tanulók 9. osztályban megismerkednek Newton törvényeivel, így a tömegvonzással kapcsolatos elemi ismereteket is elsajátítják. 10. osztályban az ideális gázok állapothatározói és állapotváltozásai kerülnek bevezetésre, valamint a molekuláris hőelmélet értelmezése.

A feladat olyan helyzet, melynek célja és az ahhoz vezető út ismert. A dolgozatban található feladatok egy része e kategóriába tartozik, és a szemléltetést helyezik előtérbe. A konkrét tartalomnak és kontextusának van kiemelkedő szerepe.

A probléma olyan helyzet, melyben a célhoz vezető utat nem ismerjük, ám a rendelkezésünkre álló ismereti, tapasztalati, gondolkodási sémákat alkalmazva megkonstruálhatjuk a „hidat” a kezdeti (problémafelvetés) és a végállapot (megoldás) között. Ezt pedig egyedül a diák képes megalkotni önmagában. A dolgozatban szereplő összetettebb feladatok és versenyfeladatok célja a fizikus gondolkodásmód és tudás kialakítása. (Radnóti 2014:465)

4.1. Kísérlet: Nyomás és a nyomott felület közötti összefüggés kvalitatív szemléltetése
(Bonifert és Kövesdi 2008:92)

Ha egy alumínium hasábot különböző oldalával lefelé állítunk finomlisztbe, láthatjuk, hogy a hasáb a legkisebb felületű lapjával süllyed legmélyebbre, legkevésbé pedig a legnagyobb felületű lapjával (17. ábra).



17. ábra

Nyomás és nyomott felület (forrás: (8))

4.2. Feladat: A nyomás és a nyomott felület közötti összefüggés kiszámítása (Bonifert, Kövesdi és Sós 2012:77)

Sítalpon állsz hóban. Súlyod 700 N, egy síléc talpának $0,2 \text{ m}^2$ a felülete. Mekkora a sítalpak alatt a nyomás, ha két sílécen siklasz? Hasonlítsd össze eredményed azon esettel, mikor síléc nélkül állsz a hóban! A hócipő talpának a felülete kb. $0,025 \text{ m}^2$.

$$G = 700 \text{ N}$$

$$A_{\text{síléc}} = 0,2 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{hócipő}} \approx 0,025 \text{ m}^2$$

$$p_{\text{síléc}} = ?$$

$$p_{\text{hócipő}} = ?$$

Megoldás:

A nyomás definícióját felhasználva:

$$p = \frac{F}{A} \quad (2)$$

$$p_{\text{sílec}} = \frac{G}{A_{\text{sílec}}} = \frac{700 \text{ N}}{0,2 \text{ m}^2} = 3500 \text{ Pa} \quad (3)$$

$$p_{\text{hócipő}} = \frac{G}{A_{\text{hócipő}}} = \frac{700 \text{ N}}{0,025 \text{ m}^2} = 28000 \text{ Pa} \quad (4)$$

Megállapíthatjuk, hogy a sílec nagyobb felületének köszönhetően 8-szorosára csökkenti az általad, a hó felszínére kifejtett nyomást, a hócipőhöz képest.

4.3. Kísérlet és feladat: A Torricelli-kísérlet (Bonifert és Schwartz 2008:91)

Egyik végén zárt, kb. 1 m hosszú üvegcsövet színültig megtöltöttünk higannyal, majd nyitott végével lefelé egy szintén higanyt tartalmazó edénybe helyeztük. Azt tapasztaljuk, hogy a higany szintje lesüllyedt, az edényben lévő higanyszintjétől mérve 76 cm-re (18. ábra). Mekkora a légnyomás értéke?

$$h = 76 \text{ cm}$$

$$\rho = 13600 \text{ kg/m}^3$$

$$g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$p = ?$$

Megoldás:

A h magasságú, A keresztmetszetű, ρ sűrűségű folyadékoszlop súlyából származó hidrosztatikai nyomás:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{A} = \frac{A \rho h \cdot g}{A} = \rho g h \quad (5)$$

A higany sűrűsége: $\rho_{Hg} = 13600 \text{ kg/m}^3$

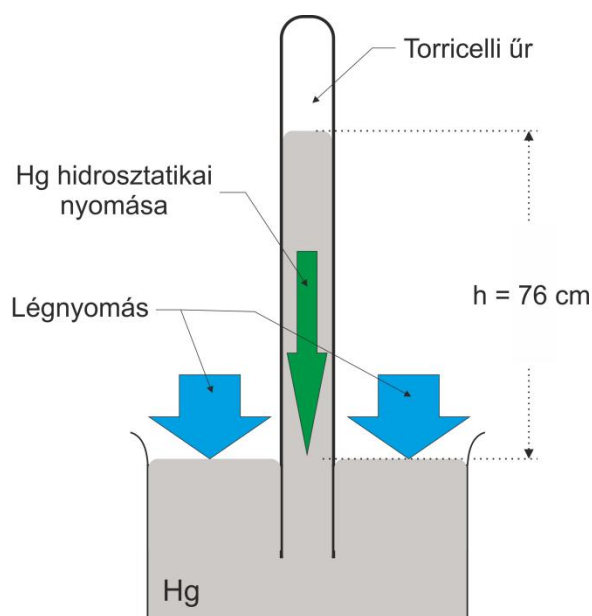
(5) alapján a légnyomás értéke:

$$p = 13600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,76 \text{ m} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 101325 \text{ Pa} \approx 10^5 \text{ Pa} \quad (6)$$

Megjegyzés: A levegő nyomását Torricelli olasz fizikus határozta meg először.

Videofelvétel a Torricelli-kísérletről:

Url: <https://www.youtube.com/watch?v=drI0d6An84g>



18. ábra

Torricelli-kísérlet (forrás: saját szerkesztés).

4.4. Kísérlet: Tojásszippantó (Juhász 1992:184)

Eszközök: főtt tojás, kb. 1 literes lombik (vagy üveg), papírdarab, gyufa

Gyűjtsunk meg egy darab papírt, majd dobjuk az üvegbe. Mikor a papír elégett, tegyük a tojást az üveg szájára (célszerű akkorát választani, melynek a szájára a tojás kényelmesen illeszkedik).

Magyarázat:

A tojás „légmentesen” zárja az edényt. Az üvegben kihűlő levegő nyomása csökken, és a külső nyomás a tojást belenyomja az üvegbe.

Visszafelé pedig, ha a tojást az üveg nyílásához igazítjuk, és meleg vizet engedünk a palackra, a fenti folyamat fordítottját játszhatjuk el.

4.5. Elgondolkodtató kérdés (Bonifert és Schwartz 2008:91)

Miért áramlik be a folyadék a fecskendőbe a dugattyú felhúzásakor?

Válasz: Kiindulási állapotban a dugattyú teljesen be van tolva a fecskendőbe, így ott nagyon kevés hely maradt a levegőnek. Mikor a dugattyú végét felhúzzuk, a dugattyúban lévő levegő térfogatát megnöveljük, így nyomása lecsökken. A külső nyomás a kiegyenlítődést a folyadékra nehezelve végzi el, azaz beáramlik a folyadék a fecskendőbe.

Érdekesség: képzeljük el, hogy fecskendőnk kb. 11 m hosszú, és függőlegesen folyadékba merítve az előző kísérletet folytatjuk. Ekkor a folyadékszint maximum 10,5 m magasra fog elérni, hiába húzzuk a dugattyút tovább, hiszen ekkora folyadékoszlop súlya van egyensúlyban a légnyomással. E gondolkísérlettel pedig visszatértünk Galilei kút-problémájához.

4.6. Kísérlet – Cartesius bűvár (Juhász 1992:167)

Eszközök: műanyag palack, kémcső

A műanyag palackot és a kémcsövet is töltjük meg színültig vízzel, majd a kémcsövet nyitott végével lefelé helyezzük úgy a palackba, hogy az abból kifolyó víz helyére pont annyi levegő kerüljön, mely a palack tetejébe úsztatja a kémcsövet. A palackot zárjuk le. Ekkor a kémcső függőleges helyzetét változtathatjuk. Ha palack oldalára nyomást gyakorolunk, lemerül, mint egy bűvár.

Magyarázat: Amikor a palackot összenyomjuk, a kémcsőben lévő levegőt a víz kisebb helyre szorítja, így térfogata csökken, de a bűvár átlagsűrűsége nő a vízhez viszonyítva, így lesüllyed a palack aljáig. A nyomóerőt megszüntetve a bűvár felúszik kiindulópontjába, a palack tetejéhez.

4.7. Feladat: Boyle-Mariotte törvény alkalmazása (Jurisits és Szűcs 2012:29)

Egy orvosi fecskendő végét befogva a hengerben lévő levegő térfogatát 60%-ára préseljük össze. Mekkora lesz a levegő nyomása, ha a külső nyomás 10^5 Pa?

$$p_1 = 10^5 \text{ Pa}$$

$$V_2 = 0,6 \cdot V_1 \text{ m}^3$$

$$p_2 = ?$$

Megoldás:

A Boyle-Mariotte törvény alapján:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \quad (7)$$

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot 0,6 \cdot V_1 \quad (8)$$

$$p_2 = \frac{p_1}{0,6} = \frac{10^5 \text{ Pa}}{0,6} = 1,67 \cdot 10^5 \text{ Pa} \quad (9)$$

4.8. Kísérlet és feladat: Melde-cső (Farkas és Horváth 2007:55)

(légnomás meghatározása a Boyle-Mariotte törvény alapján)

A Melde-cső egy vékony, állandó keresztmetszetű, egyik végén zárt, kb. 50 cm hosszú üvegcső. A csőben x hosszúságú higanyoszlop levegőt zár el (19. ábra).

Ha a csövet vízszintesen tartjuk, akkor a bezárt levegő p_1 nyomása megegyezik a p_0 külső légnyomással. Ha a csövet nyitott véggel felfelé állítjuk, akkor a bezárt levegő p_2 nyomása a külső légnyomás és a higanyoszlop hidrosztatikai nyomásával (p_{Hg}) lesz egyenlő; ha pedig nyitott véggel lefelé állítjuk a csövet, akkor a gáz nyomása utóbbiak különbségével lesz egyenlő:

$$p_1 = p_0 \quad (10)$$

$$p_2 = p_0 + p_{Hg} \quad (11)$$

$$p_3 = p_0 - p_{Hg} \quad (12)$$

A Melde-csőben lévő levegő eleget tesz a Boyle-Mariotte törvénynek, azaz teljesül a $p \cdot V$ szorzat állandósága.

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \quad (13)$$

$$p_1 \cdot V_1 = p_3 \cdot V_3 \quad (14)$$

Átrendezéssel:

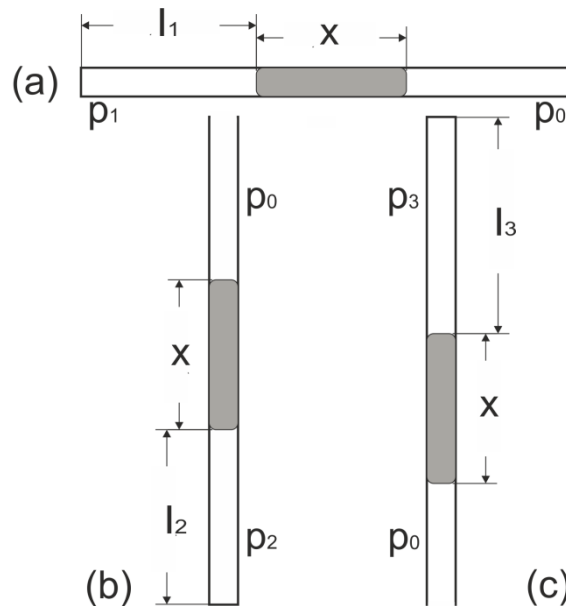
$$p_0 \cdot V_1 = (p_0 + p_{Hg}) \cdot V_2 \quad (15)$$

$$p_0 \cdot V_1 = (p_0 - p_{Hg}) \cdot V_3 \quad (16)$$

S a légnyomás értéke (két független) méréssel is meghatározható:

$$p_0 = \frac{p_{Hg} \cdot V_2}{V_1 - V_2} \quad (17)$$

$$p_0 = \frac{p_{Hg} \cdot V_3}{V_3 - V_1} \quad (18)$$



19. ábra

Melde-cső a három mérési helyzetben (forrás: Farkas és Horváth 2007:55).

4.9. Feladat: Számítsd ki a Föld légkörének tömegét (Jurisits és Szűcs 2012:38)

A tenger szintjénél mért légnyomás kb. 100 kPa, ami azt jelenti, hogy a földfelszín egy négyzetméterére a légkör 100 kN erőt fejt ki súlyából adódóan. A Föld teljes felszíne 510 millió km².

$$p = 100 \text{ kPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$A = 510 \cdot 10^{12} \text{ m}^2$$

$$g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$p_2 = ?$$

A légkör tömegét közelíthetjük a következő számítással:

$$G_{\text{légkör}} = p_{\text{légkör}} \cdot A_{\text{Föld}} = 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 510 \cdot 10^{12} \text{ m}^2 = 5,1 \cdot 10^{19} \text{ N} \quad (19)$$

$$m_{\text{légkör}} = \frac{G_{\text{légkör}}}{g} = \frac{G_{\text{légkör}}}{10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 5,1 \cdot 10^{18} \text{ kg} \quad (20)$$

A Föld légkörének tömege $5,1 \cdot 10^{18} \text{ kg}$. Ez a Föld tömegének 1 milliomod része ($m_{\text{Föld}} = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$).

4.10. Feladat: Molekulaszám vákuumban (Csiszár és Farkas 2012:87)

Hány molekula van a legjobb laboratóriumi vákuum ($p \approx 0,01 \text{ } \mu\text{Pa}$) 1 cm^3 -ében, $20 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékleten?

$$p \approx 0,01 \text{ } \mu\text{Pa} = 10^{-8} \text{ Pa}$$

$$V = 1 \text{ cm}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$T = 20 \text{ }^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$N = ?$$

Megoldás:

Az ideális gázok állapotegyenlete alapján:

$$p V = N k T \quad (21)$$

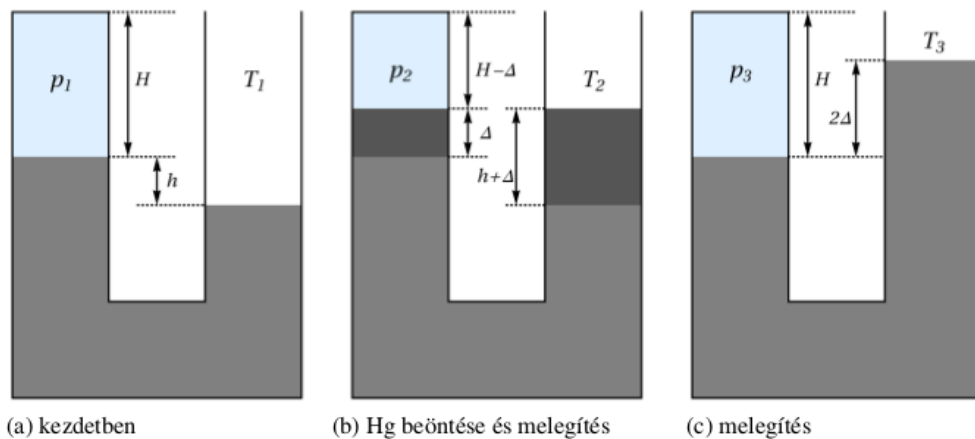
$$N = \frac{pV}{kT} = \frac{10^{-8} \text{ Pa} \cdot 10^{-6} \text{ m}^3}{1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \cdot 293 \text{ K}} = 2,47 \cdot 10^6 \text{ db} \quad (22)$$

Kb. $2,5 \cdot 10^6$ db molekula van a legjobb laboratóriumi vákuum 1 cm^3 -ében (normál nyomáson ez az érték $2,5 \cdot 10^{19} \text{ db/cm}^3$).

4.11. Feladat: Hidrosztatikai nyomás (versenyfeladat, 9. évfolyam) (forrás: 9)

Az egyenletes belső keresztmetszetű, U alakú cső zárt tetejű szárában 40 cm hosszúságú 20°C hőmérsékletű légoszlop van higannyal elzárva úgy, hogy a nyitott végű szárban a higany szintje 6 cm-rel alacsonyabb, mint a másikban. A légköri nyomás állandóan 76 Hgcm (20. ábra).

- a) Milyen hosszú lesz a légoszlop, ha a nyitott szárba addig töltünk be higanyt, amíg a higanyszintek ki nem egyenlítődnek, miközben a bezárt levegő 25°C -ra melegszik?
- b) Mekkora növeljük ezután a légoszlop hőmérsékletét, hogy a hossza újra 40 cm legyen?



20. ábra

A feladat vázlatos rajza (forrás: 9)

$$T_1 = 20\text{ °C} = 293\text{ K}$$

$$T_2 = 25\text{ °C} = 298\text{ K}$$

$$H = 40\text{ cm} = 0,4\text{ m}$$

$$h = 6\text{ cm} = 0,06\text{ m}$$

$$p_0 = 76\text{ Hgcm}$$

a) $H - \Delta = ?$

b) $T_3 = ?$

Megoldás:

a)

A rendszer egyensúlyban van (a rendszerben az erők eredője nulla):

$$p_1 = p_0 - p_{Hg} = 76\text{ Hgcm} - 6\text{ Hgcm} = 70\text{ Hgcm} \quad (23)$$

A Δ hossz kiszámítása:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad (24)$$

(utóbbi kizárólag a „bal oldalon” bezárt gázra vonatkozik)

$$\frac{p_1 H A}{T_1} = \frac{p_2 (H - \Delta)}{T_2} \quad (25)$$

majd ebből Δ -t kifejezzük.

$$\Delta = H \left(1 - \frac{p_1 T_2}{p_2 T_1} \right) = 2,53 \text{ cm} \quad (26)$$

és:

$$H - \Delta = 37,47 \text{ cm} \quad (27)$$

b)

Szükséges hőmérséklet (T_3):

$$p_3 = p_0 + p_{Hg} = p_0 + \rho g(2\Delta) = 760 \text{ Hgcm} + 2\Delta \text{ Hgcm} = 81,06 \text{ Hgcm} \quad (28)$$

Az ideális gáz állapotegyenletére vonatkozó összefüggést felhasználva:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_3 V_3}{T_3} \quad (30)$$

(utóbbi kizárólag a „bal oldali” bezárt gázra vonatkozik)

$$T_3 = \frac{p_3 V_3}{p_1 V_1} \cdot T_1 = \frac{81,06 \text{ Hgcm}}{70 \text{ Hgcm}} \cdot \frac{H \cdot A}{H \cdot A} \cdot 293 \text{ K} = 339,3 \text{ K} \quad (31)$$

hőmérsékletre kell növelnünk a légoszlop hőmérsékletét, hogy a hossza újra 40 cm legyen.

Megjegyzés: Érdekes Pa-ban is megadni a nyomásértéket, mely 81,06 Hgcm esetében 81,06 cm magas higanyoszlop hidrosztatikai nyomásával egyezik meg. Így:

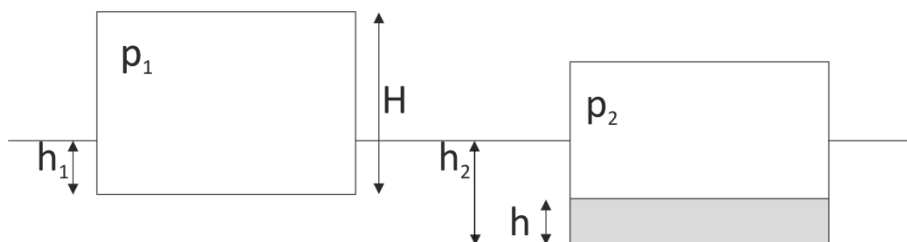
$$p_3 = 81,06 \text{ Hgcm} = \rho_{Hg} g h = 13600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,8106 \text{ m} = 1,102 \cdot 10^5 \text{ Pa} \quad (32)$$

4.12. Feladat – dinamika, felhajtóerő, légnyomás (versenyfeladat, 9. évfolyam)

(Hevesi, Molnár és Pintér 1991:52)

M tömegű, H magasságú, S alapterületű, gázzal töltött henger úszik a vízben.

Ha a henger alján lévő szelepet kinyitjuk, akkor a víz h magasságban befolyik a hengerbe. Milyen volt kezdetben a hengerben lévő gáz nyomása? A légnyomás p , a hőmérséklet nem változik (21. ábra).



21. ábra

A feladat vázlatos rajza (forrás: Hevesi, Molnár és Pintér 1991:147)

$$M = 5 \text{ kg}$$

$$H = 50 \text{ cm}$$

$$S = 250 \text{ cm}^2$$

$$h = 7 \text{ cm}$$

$$p = 10^5 \text{ Pa}$$

$$p_1 = ?$$

Megoldás:

A rendszer egyensúlyban van, így a következőket felírhatjuk dinamikai szempontból:

1. esetben:

$$Mg = \rho g V_{\text{levegő1}} = \rho g h_1 S \quad (45)$$

2 esetben:

$$Mg = \rho g V_{\text{levegő2}} = \rho g (h_2 - h) S \quad (46)$$

Az 1. egyenletből kifejezzük h_1 -et:

$$h_1 = \frac{M}{\rho S} = \frac{5 \text{ kg}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,025 \text{ m}^2} = 0,2 \text{ m} \quad (47)$$

A két egyenletet egyenlővé téve:

$$\rho g h_1 S = \rho g (h_2 - h) S \quad (48)$$

$$h_1 = h_2 - h \quad (49)$$

$$h_2 = h_1 + h = 0,2 \text{ m} + 0,1 \text{ m} = 0,3 \text{ m} \quad (50)$$

A rendszerre felírjuk a Boyle-Mariotte törvényt ($pV = \text{állandó}$):

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad (51)$$

$$p_1 S H = p_2 S (H - h) \quad (52)$$

$$p_1 = p_2 \frac{(H - h)}{H} \quad (53)$$

Valamint p_2 -re a kialakult egyensúlyból felírhatjuk:

$$p_2 = p - \rho g (h_2 - h) = p - \rho g h_1 \quad (54)$$

p_2 -t behelyettesítve (53) egyenletbe:

$$p_1 = p_2 \frac{(H - h)}{H} = (p - \rho g h_1) \frac{(H - h)}{H} \quad (55)$$

$$p_1 = \left(10^5 \text{ Pa} - 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,2 \text{ m} \right) \left(\frac{0,4 \text{ m}}{0,5 \text{ m}} \right) \quad (56)$$

$$p_1 = 81600 \text{ Pa} = 0,816 \cdot 10^5 \text{ Pa} \quad (57)$$

a hengerben lévő levegő nyomása az 1. (kiindulási) állapotban.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozat első fejezetében felvázoltam a fizikatörténet azon szakaszát, mely specifikusan a vákuum létrehozását és a kor fizikusainak ezzel kapcsolatos kísérleteit tanulmányozza. Galilei kút-problémájának elemzése után megismerkedtünk Torricelli és Pascal kísérleteivel, érveléseivel, majd részletesen megfigyelhettük Otto von Guericke látványos kísérletsorozatát, mely célja elsődlegesen a vákuum előállítása volt, ennek sikerével pedig a légüres tér minőségi vizsgálata, és hasznosítása (például időjárásjelzéshez). E lépések sorozatával Földünk légkörét és annak erejét is – a légnyomást – felfedeztük.

A kísérleteket és magyarázataikat, egy ismeretterjesztő előadás, valamint a közoktatás tematikájának megfelelően is felépítettem. Egy ismeretterjesztő előadásnak egyszerűnek, könnyen érthetőnek, és látványosnak kell lennie. A JGYPK Általános és Környezetfizikai Tanszék szervezésében megvalósult Kutatók Éjszakája előadás pontosan ezen szempontok figyelembevételével lett megtervezve. A jelmezek, melyek a fizikus hallgatókat tudóssá változtatták, már felkeltették a közönség érdeklődését. Ehhez adódott a változatos kísérletbemutató és annak rövid, egyszerű magyarázata.

Úgy gondoljuk, hogy fizika tudomány népszerűsítése érdekében kitűzött célt elértük.

A közoktatásban a tanulók 7. és a 10. évfolyamban ismerkedhetnek meg a nyomás, légnyomás, valamint a gázelmélet alapjaival.

A téma érdekessége és nehézsége abban rejlik, hogy közvetlenül nem érezzük a levegő ránk nehezedő súlyát, szervezetünk felépítése miatt. Így igazán jól szemléltető kísérletekre és feladatokra van szükség, hogy a tanulók ezen folyamatok törvényszerűségét megfelelően el tudják sajátítani. A dolgozatban szereplő tematika célja, hogy kísérleteken, számolási és mérési feladatokon keresztül segítséget adjon a témakör oktatásához úgy, hogy a tanulók közben észrevegyék az alkalmazhatóságot is.

Jövőbeli célom elsősorban az, hogy a dolgozatban szereplő ismeretterjesztő és oktatóanyagokat interaktív táblára is elkészítem. Továbbá célom újabb kísérletek és mérési feladatok kidolgozása, nem csupán a közoktatásban szereplő diákok részére, hanem a felsőoktatás résztvevőit is megcélózva.

Személyes tapasztalatom az, hogy tanítás közben tanulunk a legtöbbet, s ezen oknál fogva mindig szívesen veszek részt a fizika népszerűsítésében, s a fizikus gondolkodásmód tőlem telhető legjobb formájú átadásában.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetet szeretnék mondani témavezetőmnek, Dr. Farkas Zsuzsanna tanárnőnek, hogy Otto von Guericke lehettem, valamint köszönöm a kísérletek és a feladatok körében nyújtott segítségét.

Ezen kívül köszönettel tartozom még Széplaki Andrásnak a kísérleti eszközök és a fényképezés során nyújtott segítségéért.

7. IRODALOMJEGYZÉK

Barrow, John David 2005. *A semmi könyve* (ford.: Erdeős Zsuzsanna). Akkord Kiadó. Budapest.

Bonifert Domonkosné, dr. – Kövesdi Katalin, dr. – Sós Katalin, dr. 2012. *Fizika 7, Mechanika, Hőtan*. Mozaik Kiadó. Szeged.

Bonifert Domonkosné, dr. – Schwartz Katalin 2008. *Kézikönyv a fizika és a természetismeret oktatásához*. Mozaik Kiadó. Szeged.

Csiszár Imre – Farkas Zsuzsanna, dr. – Győri István – Mező Tamás, dr. – Molnár Miklós, dr. – Nagy Anett, dr. 2011. *Tematikus feladatgyűjtemény fizikából*. Maxim Kiadó. Szeged.

Dési Frigyes, dr. – Rákóczi Ferenc, dr. 1970. *A légkör dinamikája*. Tankönyvkiadó. Budapest.

Farkas Zsuzsanna, dr. 2011. *Korok és tudósok*. Fizikai Szemle 2011/7-8. ELFT Kiadó. Budapest.

Farkas Zsuzsanna, dr. – Horváth Zoltán, dr. 2007. *Alapozó laboratóriumi gyakorlatok, Fizika*. JGYF Kiadó. Szeged.

Juhász András, dr. 1992. *Fizikai kísérletek gyűjteménye*. Tankönyvkiadó. Budapest.

Jurisits József, dr. – Szűcs József, dr. 2012. *Fizika 10, Hőtan, Elektromosság*. Mozaik Kiadó. Szeged.

Kudrjavcev, P. Sz. 1951. *A fizika története (Az antik fizikától Mengyelejevig)* (ford.: Lovas György). Akadémia Kiadó. Budapest.

Molnár Miklós, dr. – Pintér Ferenc, dr. – Hevesi Imre, dr. 1991. *A Budó Ágoston fizikaversenyek feladatai és megoldásai (1979-1990)*. Mozaik Kiadó. Szeged.

Radnóti Katalin, dr. 2014. *A természettudomány tanítása*. Mozaik Kiadó. Szeged.

Simonyi Károly, dr. 1986. *A fizika kultúrtörténete*. Gondolat Kiadó. Budapest.

(1) Wikipédia, *Otto von Guericke*. http://hu.wikipedia.org/wiki/Otto_von_Guericke (2014. november 16.)

(2) Wikipédia, *Vákuum*. <http://hu.wikipedia.org/wiki/V%C3%A1kuum> (2014. november 16.)

8. ÁBRAJEGYZÉK

(3) *Old-Chronograph Blog*.

<http://old-chronograph.blogspot.com/2011/04/torricelli-and-his-great-discovery.html>

(2014. november 16.)

(4) Ottonis de Guericke 1672. *Experimenta Nova (ut vocantur) Magdeburgica de Vacuo Spatio*. J. Jansson à Waesberge Kiadó. Amsterdam. 8.

<https://archive.org/details/ottonisdeguerick00guer> (2014. november 16.)

(5) Ottonis de Guericke 1672. *Experimenta Nova (ut vocantur) Magdeburgica de Vacuo Spatio*. J. Jansson à Waesberge Kiadó. Amsterdam. 74.

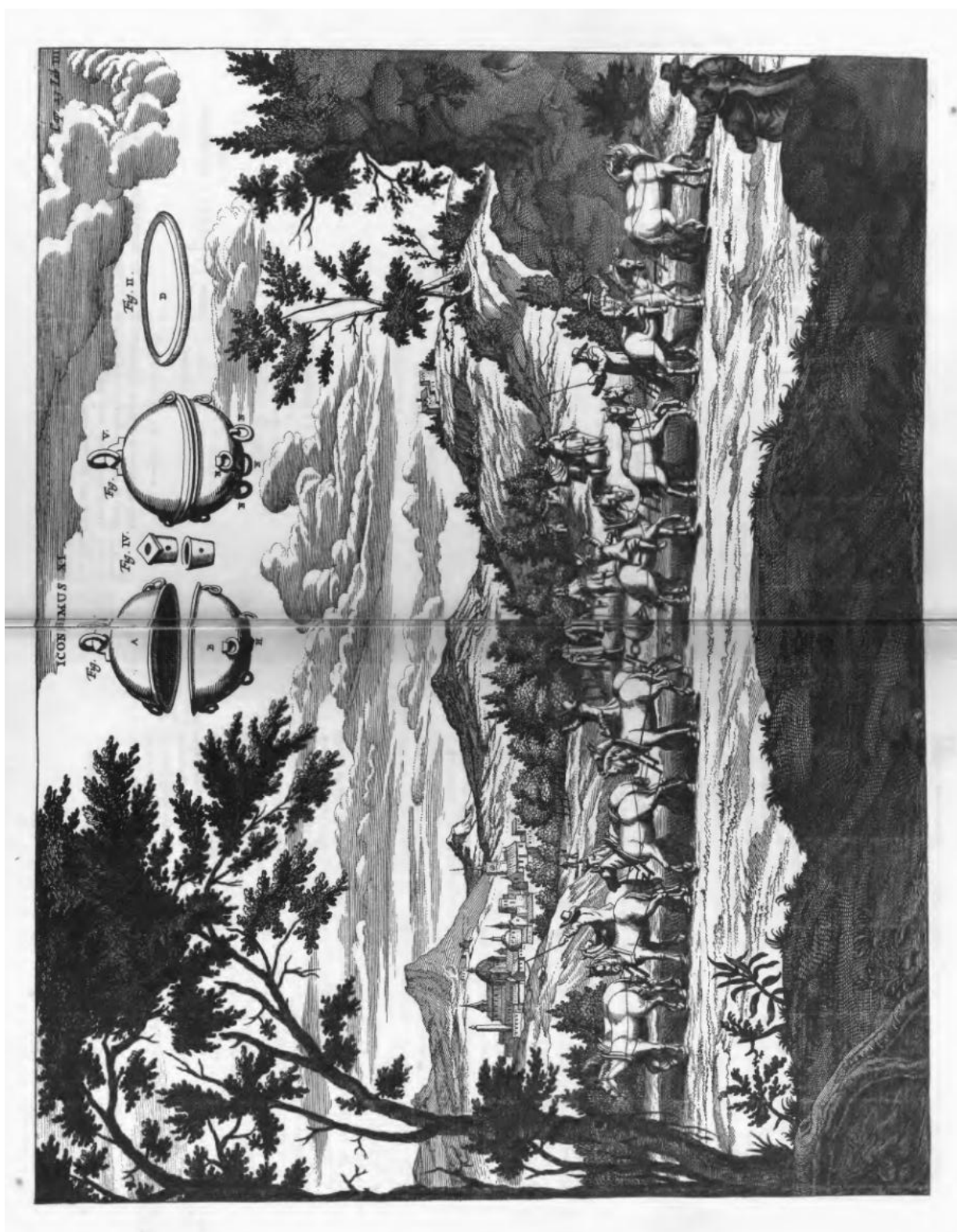
<https://archive.org/details/ottonisdeguerick00guer> (2014. november 16.)

(6) Ottonis de Guericke 1672. *Experimenta Nova (ut vocantur) Magdeburgica de Vacuo Spatio*. J. Jansson à Waesberge Kiadó. Amsterdam. 106.

<https://archive.org/details/ottonisdeguerick00guer> (2014. november 16.)

- (7) *Időkép*. <http://www.idokep.hu/hirek/ballon-budapest> (2014. november 16.)
- (8) *Mozaweb*. http://www.mozaweb.hu/Lecke-Fizika-Fizika_7-1_A_nyomas_fogalma-105272 (2014. november 16.)
- (9) Eötvös Loránd Fizikai Társulat: *Budó Ágoston Fizikai Feladatmegoldó Verseny*.
<http://titan.physx.u-szeged.hu/opt/physics/budo/2014/Budo2013feladatok.pdf> (2014. november 16.)
http://titan.physx.u-szeged.hu/opt/physics/budo/2014/budo_2013_megoldasok.pdf (2014. november 16.)
- (10) Eötvös Loránd Fizikai Társulat: *Budó Ágoston Fizikai Feladatmegoldó Verseny*.
<http://titan.physx.u-szeged.hu/~hilbert/Budo2007feladatok.pdf> (2014. november 16.)
<http://titan.physx.u-szeged.hu/~hilbert/Budo2007megoldasok.pdf> (2014. november 16.)
- (11) Ottonis de Guericke 1672. *Experimenta Nova (ut vocantur) Magdeburgica de Vacuo Spatio*. J. Jansson à Waesberge Kiadó. Amsterdam. 132.
<https://archive.org/details/ottonisdeguerick00guer> (2014. november 16.)

9. MELLÉKLETEK



1. melléklet.

A magdeburgi féltekékkel végzett híres kísérlet. (Forrás:11)