

EVANGELISTA TORRICELLI (400 ANI DE LA NAȘTERE)

Conf. univ. dr. **Mihai Marinciuc**
Conf. univ. dr. **Spiridon Rusu**
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău

Evangelista Torricelli s-a născut la 15 octombrie 1608 într-un mic orașel italian, Faenza, în familia unui meșteșugar. Rămas orfan la vârstă fragedă, a fost educat de un unchi al său, călugăr iezuit. Studiile primare le-a făcut la școala iezuiților din localitate, unde a urmat cursuri de matematică și de filozofie. Profesorii au observat capacitățile deosebite ale tânărului Evangelista și au propus familiei sale să-l trimită la Roma pentru a urma studii avansate. Aici el a devenit elev al matematicianului, vestit în acele timpuri, Benedetto Castelli, prieten și discipol al lui Galileo Galilei.

Primele investigații ale lui Torricelli se referă la teoria liniilor curbe din domeniul geometriei. Lucrările respective au fost publicate în cartea sa postumă „Opera matematica”.

Fiind familiarizat, prin intermediul lui Castelli, cu lucrările lui Galileo, Torricelli, impresionat de noile idei științifice și metode de cercetare, și-a consacrat activitatea domeniilor de cercetare ale acestuia.

Rezultatele obținute de către Torricelli în mecanică au fost publicate în 1641, la Florența, în lucrarea „Trattato del moto del gravi” („Tratat despre mișcare și greutate”). Tradusă în latină, lucrarea apare în 1644 sub denumirea „De motu gravium descendendum et projectorum libri duo” („Despre mișcarea liberă a corpurilor în cădere și a celor aruncate”). Aceasta a fost unica lucrare publicată de către Torricelli pe timpul vieții sale.

În prima parte a lucrării au fost confirmate și dezvoltate unele dintre rezultatele obținute de către Galileo. A confirmat rezultatul lui Galileo privind viteza corpului lăsat să cadă liber: *viteza corpului este proporțională cu timpul căderii și nu cu distanța parcursă*, cum se credea până la Galileo. Independent de Galileo, a demonstrat de asemenea că viteza atinsă de corpurile lăstate să se miște pe plane înclinate de înălțimi egale atinge una și aceeași valoare la baza planului, oricare ar fi unghiul format de plan cu orizontala.

Torricelli a dezvoltat teoria lui Galileo privind mișcarea liberă a corpurilor aruncate. În timp ce Galileo a cercetat doar mișcarea corpurilor aruncate orizontal, Torricelli a studiat cazul general de mișcare a corpului aruncat oblic față de orizontală, demonstrând că și în acest caz traiectoria lui este o parabolă. A demonstrat reversibilitatea mișcării corpului aruncat: dacă corpului aflat în punctul de cădere i se imprimă o viteză egală în modul cu cea avută de el la momentul căderii, dar orientată în sens contrar, traiectoria lui este identică cu cea parcursă până la cădere, dar de această dată corpul se mișcă în sens invers până la poziția ocupată de el la momentul inițial.

Torricelli a studiat echilibrul unui sistem de două corpuri legate și a stabilit că ele se află în această stare în cazul în care la deplasările corespunzătoare cu legătura centrul comun de greutate al lor nu poate coborî. Această afirmație este cunoscută sub numele de *principiul lui Torricelli*. Ulterior acest principiu a fost generalizat de către Huygens pentru un sistem de mai multe corpuri și pus la baza teoriei ceasornicelor cu pendul, elaborată

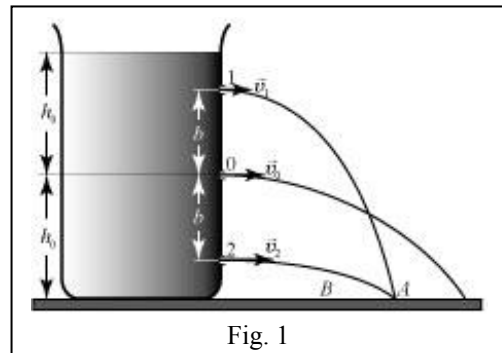
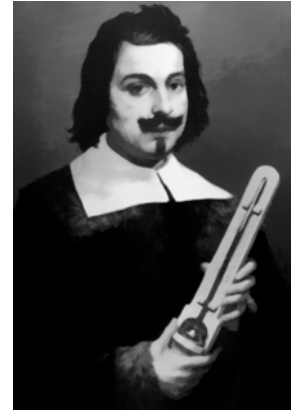


Fig. 1

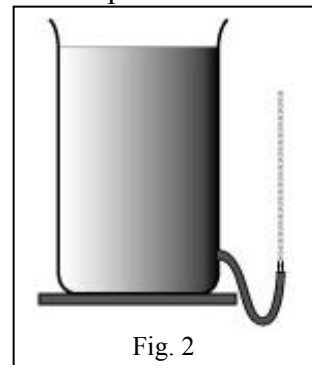


Fig. 2

de el.

O bună parte a lucrării este consacrată problemei curgerii lichidului prin orificii, problemă studiată din punctul de vedere al ideilor lui Galileo despre mișcare, precum și al rezultatelor obținute de către Castelli în acest domeniu. Torricelli a stabilit că jetul de apă, ieșit prin orificiul din peretele lateral al vasului, are formă parabolică. Jetul ajunge la o distanță mai mare (pe orizontală) de la peretele vasului, dacă orificiul se află la mijlocul înălțimii coloanei de apă. Dacă însă jeturile ies prin orificii situate mai jos sau mai sus de orificiul de mijloc, la distanțe egale de acesta, ele parcurg distanțe orizontale egale (fig. 1). Orientând jetul de apă vertical în sus, Torricelli a constatat că înălțimea la care el urcă este puțin sub nivelul lichidului din vas (fig. 2). Torricelli a admis că în lipsa rezistenței opuse curgerii lichidului jetul ar fi urcat la nivelul din vas, ceea ce este o ilustrare a legii conservării și transformării energiei, stabilite mai târziu.

Forma parabolică a jetului de apă i-a sugerat o analogie cu mișcarea liberă a corpului aruncat oblic. Pentru a confirma analogia Torricelli a realizat un experiment original: a determinat cantitățile de lichid scurse prin orificiu în intervale succesive și egale de timp. El a constatat că în fiecare interval de timp ulterior prin orificiu curge o cantitate de lichid mai mică decât cea care a curs în intervalul precedent. Dacă cantitatea de lichid ce s-a scurs prin orificiu în ultimul interval de timp se ia drept unitate, atunci cea care s-a scurs în intervalul precedent este egală cu 3 unități, iar cea din intervalul anterior – cu 5 unități ș.a.m.d. Așadar, raportul acestor cantități de lichid este egal cu raportul numerelor impare, 1:3:5:7 Același raport se obține pentru distanțele parcurse în intervale egale de timp de corpul aruncat vertical în sus, dacă se ia drept unitate distanța parcursă de el în ultimul interval de timp. Analogia intuitivă a fost demonstrată experimental. În baza acestei analogii Torricelli a formulat principiul, conform căruia viteza jetului de apă care curge din orificiu este egală cu viteza pe care ar poseda-o un corp greu, deci și o picătură de apă din acest vas, căzând liber de la nivelul lichidului din vas până la nivelul orificiului. Pentru valoarea acestei viteze a fost stabilită expresia

$$v = a\sqrt{h}, \quad (1)$$

unde h este diferența dintre nivelul lichidului din vas și nivelul orificiului, iar a este o mărime constantă.

Prin formula (1) Torricelli a corectat rezultatul lui Castelli care considera că viteza de curgere $v \sim h$. Tot în baza acestei formule a stabilit că raportul intervalelor de timp t_1 și t_2 în care coloanele de lichid de înălțimi h_1 și h_2 se scurg în întregime din vas satisfac condiția $t_1 : t_2 = \sqrt{h_1} : \sqrt{h_2}$.

Formula (1) pentru viteză a fost precizată în secolul XVIII de către Daniel Bernoulli (1700–1782) care a scris-o sub forma

$$v = \sqrt{2gh}, \quad (2)$$

unde g este accelerația gravitațională. Relația (2) poartă numele de *formula lui Torricelli* și este inclusă în manualele de fizică.

În baza formulei (2) putem explica situația reprezentată în fig. 1. Coloana de apă de deasupra orificiului 1 are înălțimea $h_1 = h_0 - b$, deci viteza de curgere a lichidului prin acest orificiu $v_1 = \sqrt{2gh_1} = \sqrt{2g(h_0 - b)}$. Corespunzător, în cazul orificiului 2 avem $h_2 = h_0 + b$ și $v_2 = \sqrt{2gh_2} = \sqrt{2g(h_0 + b)}$. Înălțimea orificiului 1 deasupra mesei pe care se află vasul cu lichid este $H_1 = h_0 + b$, deci intervalul de timp t_1 în care picătura ce iese prin orificiu ajunge la masă și care este egal cu timpul căderii libere de la această înălțime, se determină din condiția $H_1 = gt_1^2/2$, de unde $t_1 = \sqrt{2H_1/g} = \sqrt{2(h_0 + b)/g}$. Orificiul 2 se află la înălțimea $H_2 = h_0 - b$ deasupra mesei și timpul $t_2 = \sqrt{2(h_0 - b)/g}$.



Fig. 3

Distanța parcursă pe orizontală de jetul ieșit prin orificiul 1 are valoarea $L_1 = v_1 t_1 = 2\sqrt{h_0^2 - b^2}$, iar distanța parcursă de al doilea jet $L_2 = v_2 t_2 = 2\sqrt{h_0^2 - b^2}$.

Astfel se demonstrează că $L_1 = L_2$, adică jeturile ieșite prin orificiile 1 și 2 (fig. 1) cad în același loc al mesei. Din expresiile obținute se observă că distanța L este maximă dacă $b = 0$ și $L_{\max} = 2h_0$. Jetul de apă ieșit prin orificiul situat la mijlocul înălțimii coloanei de apă parcurge pe orizontală distanța maximă, aceasta fiind egală cu înălțimea coloanei de apă din vas.

Rezultatele lui Torricelli în domeniul hidrodinamicii au fost înalt apreciate de posteritate. Cunoscutul fizician austriac Ernst Mach (1839 – 1916) l-a numit *fondatorul hidrodinamicii*.

Castelli l-a recomandat pe Torricelli pentru ocuparea postului de asistent personal al lui Galileo la efectuarea cercetărilor științifice. Colaborarea lor însă a fost de scurtă durată, pentru că în ianuarie 1642 Galilei s-a stins din viață. După moartea lui Galileo, Marele Duce de Toscana l-a angajat pe Torricelli în postul rămas vacant de filozof și prim matematician al Majestății sale.

Torricelli s-a dovedit a fi un destoinic discipol și continuator al lui Galilei. El a contribuit la perfecționarea metodei de măsurare a temperaturii, propunând un termoscop special cu alcool – predecesorul termometrului cu lichid, în locul termoscopului lui Galilei.

Începând cu anul 1642, Torricelli a efectuat cercetări în domeniul opticii având ca scop perfecționarea lunetelor și a microscopelor. În prezent la Florenza se mai păstrează o lentilă confecționată de Torricelli, care fiind verificată în 1923 prin metodele de interferometrie s-a dovedit a fi o lentilă aproape perfectă.

O descoperire efectuată de asemenea în continuarea cercetărilor lui Galilei i-a adus lui Torricelli o faimă mondială. Este vorba că la Florenza apa folosită la udarea legumărilor și livezilor era scoasă din fântâni cu ajutorul pompelor de absorbție. Acestea reprezentau un tub cu piston prevăzut cu supape. La ridicarea pistonului apa urca după el, fenomen explicat atunci prin „oroarea de vid”. S-a constatat însă că în cazul fântânilor mai adânci apa nu poate urca în urma pistonului pompei la înălțimi ceva mai mari de 10 m.

Continuând cercetările lui Galilei care a încercat să explice acest fenomen, Torricelli a decis să efectueze un experiment în care coloana de apă este înlocuită cu una de mercur (a cărui densitate este de circa 14 ori mai mare decât a apei). Sub îndrumarea și la rugămintea lui Torricelli experimentul a fost realizat în 1643 de către Viviani. Un tub subțire de sticlă cu lungimea de circa 1 m, sudat la un capăt, a fost umplut cu mercur, răsturnat cu capătul deschis în jos (fig. 3, a) și introdus într-un vas cu mercur. S-a observat că doar o parte din mercurul din tub s-a scurs în vas (fig. 3, b).

Torricelli a constatat că înălțimea coloanei de mercur rămasă în tub este de circa 76 cm, adică aproximativ de 14 ori mai mică decât înălțimea maximă a coloanei de apă ce urcă în urma pistonului pompei de absorbție. Înălțimea coloanei de mercur este de atâtea ori mai mică decât a celei de apă, de câte ori densitatea mercurului este mai mare decât a apei.

Acest experiment a fost repetat în mai multe variante. În unul din ele (fig. 4), două tuburi diferite au fost introduse în unul și același vas cu mercur. S-a constatat că înălțimile coloanelor rămase în ele sunt egale, în timp ce spațiile vidate din tuburi au volume diferite. În urma acestor și a altor experimente cu tuburi de forme diferite s-a ajuns la concluzia că nu vidul este cauza urcării mercurului în tuburi. Cauza se află în exteriorul tubului.

Torricelli și-a expus rezultatele observațiilor sale în două scrisori expediate unui prieten al său, matematicianul și cardinalul Michelangelo Ricci. În prima din ele (11 iunie 1644) el scrie clar că mercurul „urcă până la nivelul, la care el echilibrează greutatea aerului exterior ce produce presiune

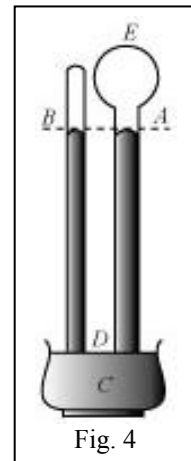


Fig. 4

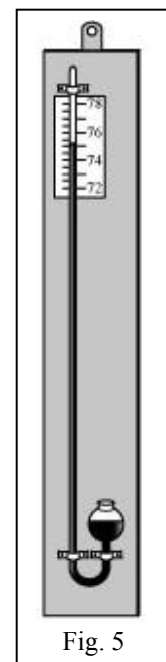


Fig. 5

asupra lui”. Un argument în favoarea acestei concluzii sunt valorile raporturilor dintre densitățile mercurului și apei, pe de o parte, și cele ale înălțimilor coloanelor rămase în tuburi, pe de altă parte, menționate mai sus. În cea de-a doua (28 iunie 1644) Torricelli încearcă să prezinte o schiță a teoriei presiunii atmosferice.

Prin aceste experiențe Torricelli a realizat *două descoperiri importante: a demonstrat posibilitatea obținerii vidului și existența presiunii atmosferice*. Destul de convingător în acest sens a fost un alt experiment: deasupra mercurului în care era introdus tubul cu coloana de mercur în el a fost adăugat un strat de apă, apoi tubul a fost ridicat; la momentul de timp la care capătul deschis, inferior, al tubului a trecut în apă, mercurul din tub a curs în vas și în tub a fost absorbită apă până la capătul sudat. Astfel s-a demonstrat că spațiul de deasupra coloanei de lichid din tub într-adevăr era vidat.

În urma observațiilor Torricelli a constatat că înălțimea coloanei de lichid rămasă în tub variază în funcție de starea atmosferei și de temperatura ei, ceea ce este încă un argument în favoarea existenței presiunii atmosferice. Acest instrument poate fi folosit pentru a cerceta starea atmosferei, a face prognoze meteo. Ulterior el a fost numit *baroscop*, apoi *barometru*, iar Torricelli este considerat inventatorul lui. În *fig. 5* este reprezentat un barometru cu sifon.

Torricelli a încercat să aplice cunoștințele obținute la explicarea unor fenomene atmosferice. În această ordine de idei a susținut în 1644 lecția „Despre vânt” (în *figura 7* este prezentată imaginea copertei lucrării respective publicate în 1715). După Torricelli vântul este condiționat de faptul că densitatea aerului în diferite locuri nu este una și aceeași. Astfel, au fost puse bazele concepției despre circulația generală a aerului din atmosfera terestră.

Rezultatele obținute de Torricelli au atras atenția altor savanți asupra experiențelor sale. Savantul francez Blaise Pascal a repetat experimentele lui Torricelli folosind tuburi de sticlă cu lungimi de circa 12 m cu apă, mercur și vin roșu, confirmând rezultatele lui.

Idea unui alt experiment i-a fost sugerată lui Pascal de către René Descartes, care considera că presiunea atmosferică scade odată cu creșterea înălțimii deasupra Pământului. Măsurătorile realizate în 1648 au confirmat această presupunere.

În urma acestor serii de experimente concepțiile lui Torricelli privind existența presiunii atmosferice au fost deplin confirmate.

Torricelli a încetat din viață la Florenza, în data de 25 octombrie 1647, la doar 10 zile după ce împlinise vârsta de 39 ani. Numele lui s-a încetățenit în fizică, în *experiența lui Torricelli*, *formula lui Torricelli*, *principiul lui Torricelli*. În onoarea lui a fost numită și o unitate de presiune – torr. Un torr este presiunea produsă de o coloană de mercur cu înălțimea de 1 milimetru: $1 \text{ torr} = 1 \text{ mm Hg} = 133 \text{ Pa}$.

Bibliografie

1. J.-C.Boudenot. Histoire de la Physique et des Physiciens, Ellipses, Paris, 2001.
2. N.Chiorcea. Fizicieni și inventatori celebri. Editura Știință și Tehnică, București, 2001.
3. A.Rousset, J.Six. Des Physiciens de A à Z, Ellipses, Paris, 2000.
4. Г. М.Голин, С. П.Филонович. Классики физической науки. Высшая школа, Москва, 1989.
5. Я.Г.Дорфман. Всемирная история физики с древнейших времен до конца XVIII века. Наука, Москва, 1974.
6. П. С. Кудрявцев. Эванджелиста Торричелли. Знание, Москва, 1958.
7. П. Лакур, Я. Аппель. Историческая физика, т.1. Госиздат, Москва, 1929.
8. Ф. Розенбертер. История физики, ч. II., ГРТТЛ, Москва, 1937.



Fig. 6

Primit la redacție: 30 iunie 2008

N.r. Articolul se publică cu unele prescurtări.