



Pomiary

Andrzej Maciążek

Ciśnienie atmosferyczne Cz. I

*Noi vivano sommersi nel fondo d'un pelago d'aria elementare
(Żyjemy zanurzeni na dnie oceanu powietrza)*

Evangelista Torricelli (1608-1647)

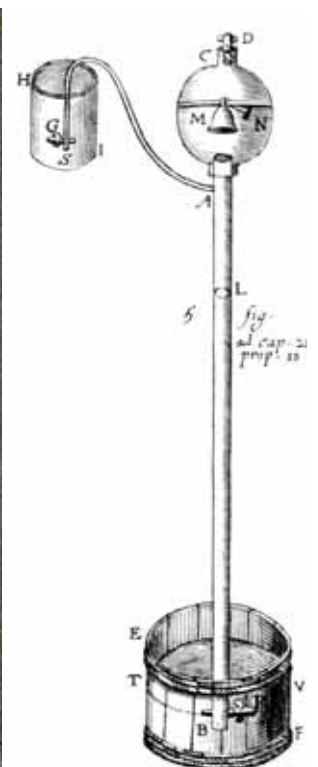
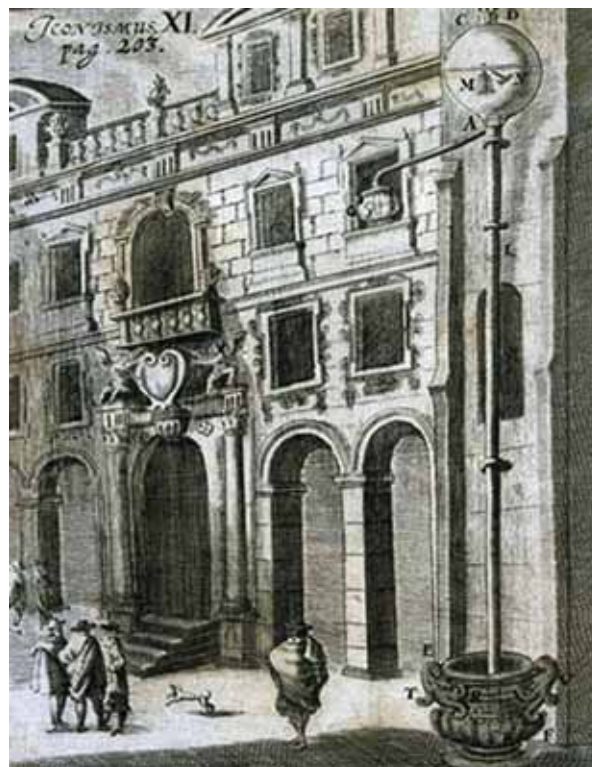
Autor dziękuje pani dr Urszuli Kossowskiej-Cezak za подарowaną literaturę związaną z konstrukcją barometrów.

Zanim ludzie nauczyli się mierzyć ciśnienie atmosferyczne i opracowali przyrządy do tego celu, niezbędne było rozstrzygnięcie wielu fundamentalnych kwestii natury filozoficznej. Podstawowe problemy, z którymi musiano się uporać, były zawarte w pytaniach na temat istnienia próżni i czy powietrze ma masę. Od czasów Arystotelesa (IV w. p. n. e.) twierdzono, że *natura ad hors a vacuum* (natura unika próżni) i twierdzenie to stało się dogmatem w Europie aż do XVI w. Dla Arystotelesa istnienie próżni było logicznie niemożliwe, aczkolwiek Demokryt z Abdery (ok. 420-370 r. p. n. e.) i Lukrecjusz (ok. 98-55 r. p. n. e.) w swoich koncepcjach budowy materii twierdzili, że między najmniejszymi cząstkami materii – atomami – musi istnieć próżnia. Idee Demokryta¹⁾ były zwalczane przez Platona i Arystotelesa, a ponieważ jego dzieła zaginęły (są znane z cytowań innych filozofów) znacznie bardziej były znane poglądy Arystotelesa, które po reinterpretacji dokonanej przez Tomasza z Akwinu (1225-1274) stały się dogmatem teologii chrześcijańskiej. Z biegiem czasu coraz częściej kwestionowano poglądy Arystotelesa, co było z reguły interpretowane jako atak na Kościół i traktowane jako herezja. Przełomem stało się opublikowanie przez Kopernika heliocentrycznej teorii budowy świata. Po raz pierwszy teoria została potwierdzona eksperymentem i pomiarem. Nastąpił koniec czasów Wieków Ciemnych, których jedynym sposobem poznania była scholastyka, a zaczął czasów oświecenia i rewolucji na-

ukowo-technicznej. Oczywiście koniec epoki scholastyki nie nastąpił w ciągu roku czy dwóch. W istocie można powiedzieć, że trwało to prawie dwa stulecia.

Jednym z problemów intrygujących ówczesnych badaczy było istnienie próżni. O tym, że próżnia istnieje i jest możliwe jej wytworzenie wiedzano od czasu, gdy Galileusz wynalazł pompę ssącą. On sam twierdził, że przestrzeń między powierzchnią tłoka pompy ssącej a powierzchnią wody wpływającej do cylindra pompy jest właśnie próżnią, a woda usiłuje ją wypełnić. Zauważono, że nie można za pomocą pompy ssącej wpompować wodę na poziom wyższy

niz ok. 11 metrów. W 1638 r. Galileusz usiłował wyjaśnić to zjawisko, ale jego interpretacja była błędna i zakładała, że słup wody „przerywa się” pod wpływem jej ciężaru, podobnie jak np. w przypadku obciążonego drutu. W tym samym roku Galileusz udowodnił, że powietrze ma masę. Idee te zawarte w traktacie zatytułowanym „*Rozmowy i dowodzenia matematyczne...*” wzbudziły zainteresowanie Gasparo Bertiego, który przypuszczalnie w latach 1639-1641 przeprowadził eksperyment udowadniający możliwość istnienia próżni. Do swojego eksperymentu Berti użył rury ołowianej ustawionej pionowo przy ścianie domu. Ru-



Doświadczenie Bertiego i schemat aparatury użytej do doświadczenia

1) Znane powiedzenia Demokryta: „Naprawdę istnieją tylko atomy i próżnia, reszta jest opinią”, „Próżnia jest konieczna, aby ruch był możliwy”, „Życie bez radości jest jak długa podróż bez gospody”.

ra miała ok. 12 m długości i była z obu stron zakończona zaworami, przy czym przed górnym zaworem przez trójnik odprowadzono inną rurę, także zakończoną zaworem. Zamknięto dolny zawór i rurę główną napełniono wodą. Po zamknięciu górnych zaworów otworzono dolny w wyniku czego słup wody opadł, zatrzymując się na pewnym poziomie – w przestrzeni nad wodą powstała próżnia. Otwarcie zaworu w bocznej rurze spowodowało gwałtowne wdarcie się powietrza do jej wnętrza. Eksperyment ten przeprowadzono w Rzymie przypuszczalnie w obecności Kirchera, Magiottiego i Zucchiego. Opisał go Magiotti w liście do Mersenne'a, ale dopiero w 1648 r., a więc po śmierci Bertiego (1643).

Należy tu zwrócić uwagę, że wiadomości o tego typu eksperymentach rozchodziły się raczej w wąskim gronie ze względu na możliwość narażenia się Świętej Inkwizycji. W tych latach Galileusz, po drugim wyroku Inkwizycji, ociemniały w wyniku badań Słońca, przebywał w areszcie domowym we Florencji, gdzie zmarł 8 stycznia 1642 r. Publikacje Galileusza usunięto z wykazu książek na indeksie (zakazanych) w 1757 r., ale dopiero Jan Paweł II w 1992 r. oczyścił go z zarzutu herezji. Kościół uznał więc, że Galileusz był jednym z najświetlejszych umysłów epoki, a osądzanie i skazanie go było błędem.

Istnieją przesłanki świadczące o tym, że Galileusz znał wyniki eksperymentu Bertiego, a ponieważ jego asystentem od 1641 r. był Evangelista Torricelli (1608-1647), można przypuszczać, że i on znał te wyniki.

Evangelista Torricelli urodził się 15 października 1608 r. w okolicach Faenzy we Włoszech. Od wczesnych lat opiekował się nim wuj Aleksandro, który będąc zakonnikiem, przyjął imię Jacopo. Człowiek ten był jak na ówczesne czasy dobrze wykształcony i światły. Spowodował, że młody Evangelista studiował matematykę w miejscowym kolegium prowadzonym przez jezuitów. W 1627 r. Torricelli rozpoczął studia na Uniwersytecie Rzymskim pod kierunkiem Benedetta Castellego, przyjaciela Galileusza.



Evangelista Torricelli i schemat jego doświadczenia

leusza. W latach późniejszych prowadził korespondencje z Galileuszem i ostatecznie w 1641 r. po przeniesieniu się do Florencji – został jego sekretarzem. Po śmierci Galileusza Torricelli pozostaje przez pewien czas we Florencji, pracując dla Ferdynanda II Wielkiego Księcia Toskanii. Później wraca do Rzymu, gdzie 24 października 1647 r. umiera.

Evangelista Torricelli zainspirowany doświadczeniem Bertiego postanowił przeprowadzić podobny eksperyment, ale zastąpił wodę – rtęcią, a rurę ołowianą – szklaną. Sposób przeprowadzenia doświadczenia i jego wyniki opisał w liście z 11 czerwca 1644 r. do swego przyjaciela Michelaangelo Ricciego mieszkającego w Rzymie. Należy zauważyć, że celem doświadczenia Torricellego było wykazanie istnienia próżni nad rtęcią, dopiero późniejsze rozważania doprowadziły go do wniosku będącego mottem tej pracy.

We wspomnianym liście Torricelli opisuje, jak wypełnił jednostronnie zasklepioną rurkę szklaną rtęcią (nazywaną wtedy żywym srebrem), a następnie zamykając otwór rurki palcem, odwrócił ją zasklepionym końcem do góry, a drugim końcem zanurzył w naczyniu z rtęcią. Po usunięciu palca słupek rtęci opadł na pewną wysokość, utrzymując się na tym poziomie. Aby udowodnić, że nad rtęcią znajduje się próżnia, Torricelli wykonał doświadczenie towarzyszące polegające na tym, że rtęć w naczyniu zalał wodą i stopniowo wynurzał rurkę. Gdy dolny otwór rurki z rtęcią przekroczył granicę ośrodków, woda gwałtownie wdarła się do rurki, a rtęć uderzyła w górna jej część. Torricelli tłumaczył to zjawisko tym, że w pierwszej fazie doświadczenia rtęć w rurce była utrzymywana na stałym poziomie przez masę atmosfery, natomiast w drugiej fazie – ponieważ woda jest o wiele lżejsza od rtęci, została przez masę atmosfery wtłoczona do rurki. Między Riccim a Torricellim wywiązała się ożywna korespondencja, w której ten pierwszy przedstawiał swoje wątpliwości, a Torricelli je rozpraszał. Należy tu zauważyć, że w korespondencji Torricelli nie używał słowa ciśnienie, posługiwał się pojęciem ciężaru powietrza (atmosfery).



W większości źródeł rok 1643 jest podawany jako

data doświadczenia Torricellego. Jest to przypuszczalnie spowodowane zapisem w annałach Accademia del Cimento. W edycji dzieł tej Akademii z 1841 r. we wstępie autorstwa Vincenzo Antinori użyto daty 1643 w kontekście nazwiska Torricellego. Obecnie część badaczy uważa, że korespondencja między Torricellim a Riccim była prowadzona „na gorąco”, a więc zaraz po przeprowadzeniu doświadczenia, a z tego wynika, że datą przeprowadzenia eksperymentu był raczej rok 1644.

O sukcesie Torricellego Ricci powiadomił listownie Marina Mersenne'a, który żyjąc we Francji, mniej wówczas narażonej na działania Świętej Inkwizycji, rozgłosił tę informację. Od tego czasu uważa się Evangelistę Torricellego za wynalazcę przyrządu wskazującego zmiany stanu powietrza (atmosfery) – później przyrząd ten nazwano barometrem.

W październiku 1646 r. po raz pierwszy powtórzono doświadczenia Bertiego i Torricellego poza granicami Włoch – w Rouen we Francji. Dokonał tego ówczesny Intendent ds. Fortyfikacji Pierre Petit²⁾. Blaise Pascal (1623-1662) – początkujący wówczas filozof – twierdził, że przestrzeń nad rtęcią nie jest próżnią, jest wypełniona powietrzem, które przedostało się przez pory w szkłe rurki. Być może było to twierdzenie wypowiedziane na zasadzie advo-



Blaise Pascal

catus diaboli, gdyż dwa lata później w wyniku doświadczenia wymyślonego przez Pascala, a przeprowadzonego przez jego szwagra Florina Periera, udowodniono, że wysokość słupa rtęci w rurce Torricellego maleje z wysokością. Pomiary powtarzano wielokrotnie, uzyskując te same wyniki. Rok wcześniej, przypuszczalnie w końcu lipca lub w sierpniu 1647 r. do Paryża dotarła wiadomość z Warszawy, która zadziała w środowisku arystotelików i badaczy, jak kij wsadzony w mrowisko. Ale przed wyjawieniem tej wiadomości przenieśmy się ponownie do Włoch, w czasy aktywności naukowej Galileusza.

W 1592 r. Galileusz po przybyciu do Padwy objął funkcję profesora i wykładowcy. Uniwersytet w Padwie od wieków był popularny wśród Polaków studiujących za granicą. W latach 1592-1599 na listach studiujących jest ponad 300 nazwisk polskich, a do 1745 r. zanotowano w sumie 2359 takich nazwisk. W latach 1592-

2) Pierre Petit, Observation touchant le vuide faite pour la première fois en France, Paris 1647.

1593 studiował medycynę w Padwie Walenty Fontanus, poprzednio profesor astrologii na Uniwersytecie Krakowskim, gdzie w latach 1578-1580 wykładał teorie Kopernika. Przymuszczenie doszło wówczas do spotkania Galileusza z Fontanusem. Galileusz jak wielu ówczesnych profesorów miewał prywatnych studentów, wynajmował im również stancję. Z własnoręcznych jego zapisków obliczono, że ponad 25% dochodów z tej dodatkowej działalności Galileusza stanowiły wpłaty studentów z Polski. Przedmiotami, które studiowali były m.in. mechanika, geodezja, architektura wojskowa i fortyfikacje oraz kosmografia oczywiście wg Ptolemeusza. Uczniami Galileusza byli m.in. przyszły wojewoda krakowski Jan Tęczyński, Rafał Leszczyński późniejszy wojewoda bełski – jeden z najwybitniejszych mecenasów kultury w dziejach Polski, książę Krzysztof Zbarski późniejszy wynalazca nowego typu działa. W sumie około dwudziestu Polaków było osobistymi studentami Galileusza.

Nawiązane kontakty były często kontynuowane, o czym świadczy na przykład list Marka Lentowicza, sekretarza króla Zygmunta III, w którym pisze, że jego marzeniem jest zaproszenie Galileusza do Polski. Galileusz wprawdzie nas nie odwiedził, ale jego brat i bratanek przez pewien czas przebywali na dworach polskich (oba byli muzykami). Publikacje Galileusza docierały do Polski, również jego słynne lunety były używane na dworze królewskim. W latach 1624-1625 odwiedził Italię przyszły król Polski – książę Władysław Waza. Będąc we Florencji wielokrotnie spotykał się z Galileuszem, o czym świadczy list Maria Guiducci do Galileusza z 8 lutego 1625, w którym autor wyraża radość ze spotkań z „principe di Polonia”. Kontakty ze studentami z Polski na pewno wpłynęły na stosunek Galileusza do teorii kopernikańskiej.

W 1633 r. do Florencji przybył z oficjalnym poselstwem Jerzy Ossoliński, reprezentując króla Władysława IV³⁾. Ossoliński przypuszczalnie wstawiał się za Galileuszem, oskarżonym i skazanym przez Święte Oficjum za popieranie idei Kopernika, gdyż w tym samym czasie Galileusz uzyskał zgodę na zmianę więzienia na areszt domowy we własnej willi pod Florencją. Za-

chowała się również bezpośrednia korespondencja króla Władysława IV z Galileuszem, w której król deklarując pomoc, maskuje ją zamówieniem nowych soczewek do lunety. Z wielu źródeł wynika, że w ówczesnych czasach w Polsce można było dotrzeć do wszystkich wydanych i nie wydanych dzieł Galileusza. Tak więc Rzeczpospolita Obojga Narodów pierwszej połowy XVII w. była krajem otwartym na nowe idee naukowe, tolerancyjnym religijnie, o stosunkowo dużej liczbie wykształconych ludzi na najwyższych stanowiskach państwowych. Ta atmosfera przyciągała do nas wybitne umysłowości tamtych czasów. Silne ośrodki akademickie w Krakowie i Wilnie również sprzyjały działalności naukowej i wymianie informacji.

Władysław IV interesował się nauką i najnowszymi osiągnięciami dotyczącymi konstruowania przyrządów. Jednym z bardziej doniosłych wydarzeń naukowych na dworze Władysława IV był eksperyment przeprowadzony przez Waleriana Magniego w lipcu 1647 r. Magni był mnichem z zakonu kapucynów, który w 1626 r. otrzymał nominację Kongregacji Watykańskiej na prefekta i wikariusza apostolskiego na obszar Polski, Czech, Węgier i Niemiec. Po przybyciu do Polski, poza działalnością misyjną, działał w dyplomacji Zygmunta III, a później Władysława IV. To właśnie na dworze Władysława IV mógł oddać się swojej pasji – podważeniu podstaw systemu arystotelowskiego przez udowodnienie istnienia próżni. W początkach lipca 1647 r. w obecności króla i jego małżonki (Marii Ludwiki Gonzaga) oraz dworu Magni wykonał doświadczenia, które opisał następująco:

„Postarałem się o szklaną rurkę długą ponad dwa łokcie, której kanalik z twardością mógł pomieścić ziarno grochu. Grubość szkła nie była większa od grubości ziarenka zboża. Jeden otworek zasklepiłem pieczęcią hermetyczną, czyli płynnym szkłem. Rurkę napełniłem żywym srebrem, a otworek wolny zakryłem szczelnie przyłożonym palcem. Następnie obróciłem rurkę i zanurzyłem ją w żywym srebrze, własnym do odpowiedniej miski, która z kolei była zanurzona w misce napełnionej wodą, tak, iż woda wystawała ponad żywe srebro na wysokość czterech palców.

Czynność tę powtórzyłem trzykrotnie, nie wykonałem jej jednak w ten sam sposób jak

na początku. Za pierwszym razem odjąłem palec od końca rurki, kiedy był on zanurzony w żywym srebrze. Za drugim razem odjąłem palec od końca rurki, kiedy ten był zanurzony w wodzie. Po raz trzeci odjąłem palec od końca rurki, gdy znajdowała się na wolnym powietrzu ponad żywym srebrem i wodą. Co na własne oczy ujrzałem, wystuchaj, Najjaśniejszy Panie, i podziwiał żarliwie.

Z chwilą odjęcia palca od dolnego końca rurki zanurzonego w żywym srebrze, żywe srebro natychmiast pod własnym ciężarem gwałtownie opada poprzez kanalik rurki, a następnie podnosi się nieco w górę. Po kilku tego rodzaju ruchach wahadłowych widać, że dolna część rurki powyżej jednego łokcia jest zapełniona rtęcią; co do górnej, należy uwierzyć, iż jest próżna i wolna od wszelkiego ciała.

Wystarczy jednak odsunąć palec od dolnego końca rurki napełnionej rtęcią, wydobytej z naczynia zawierającego rtęć, ale zanurzonej w wodzie, a w tej samej chwili silny strumień wody wdiera się w kanalik i porwuje częściowo żywe srebro aż pod szczyt rurki. Opadające natomiast żywe srebro znów porwując w górę nowe ilości wody wchodzącej do kanalika. Po dłuższym przeciągu czasu zamieszanie ustaje i wówczas wyraźnie widać, że cała rurka jest pełna wody.

I wreszcie po doświadczeniach z wodą i rtęcią, celem wypełnienia pozbawionej wszelkiego ciała rurki, z kolei używam powietrza. Czynie tak i co widzę: rtęć tak ciężka opada natychmiast, a do rurki przez ujście wdiera się powietrze z mocą wprost niewiarygodną; szumem uderza w szkło zabezpieczające górne ujście, wstrząsa rurkę, niemal wyrwa ją z moich rąk w górę. Tak, więc słuchem i dotykiem, nie mówiąc już o wzroku, odczułem gwałtowność siły styczności



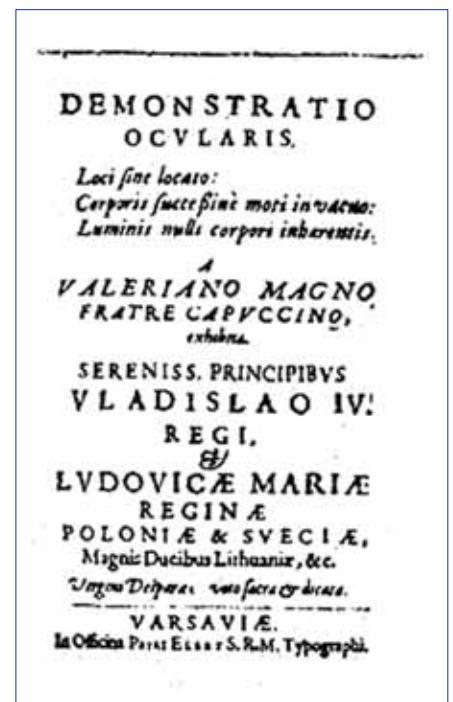
Władysław IV



Jerzy Ossoliński



Walerian Magni



Pierwsza strona traktatu Waleriana Magni z 1647 r.

3)W literaturze zachodniej często występuje pomyłka i króla Władysława IV nazywa się Wenceslasem VII, np. Middleton, The History of Barometer, Baltimore 1964.

w napełnianiu powstałej próżni.” (jak już wcześniej wspomniano – żywe srebro to mówiąc językiem współczesnym – rtęć)

Walerian Magni opisał to doświadczenie w traktacie zatytułowanym „Demonstratio ocularis loci sine locato: corporis successiue moti in vacuo...”, uzyskując 12 lipca 1647 r. zgodę władz kościelnych na druk. Oddanie manuskryptu nastąpiło 18 lipca, a warszawski wydawca P. Elert wydał dzieło przed 24 lipca, gdyż tego dnia Królowa Maria Ludwika wysłała traktat do Marina Mersenne’a, tego samego, z którym korespondował Ricci w sprawie Torricellego, a Magiotti w rok później w sprawie Bertiego. To właśnie wydany w Warszawie traktat rozpałił namiętności badaczy francuskich z Pascalem na czele. Na Magniego posypały się gromy i oskarżenia, gdyż traktat ten był frontalnym atakiem na pozycję zwolenników arystotelewskiego światopoglądu. Oskarżono go również o plagiat doświadczenia Torricellego. Magni bronił się twierdząc, że nie wiedział o doświadczeniu Torricellego, a w czasie pobytu w Rzymie w 1645 r. spotkał wprawdzie Mersenne’a, ale nie rozmawiał z nim o doświadczeniu Torricellego. O doświadczeniach Pascala nie mógł wiedzieć, bo zostały opublikowane 3 miesiące po jego traktacie. Mersenne nigdy nie zdementował tego oświadczenia.

O uczciwości Magniego świadczy fragment korespondencji między profesorami Uniwersytetu Krakowskiego J. Brożkiem i S. Pudłowskim. W liście Brożka z 19 października 1643 r. znajduje się informacja „... Beł tam (w Krakowie) na Grodzkiej ulicy pan Jan, co robił instrumenta ks. Waleriano-wi”. Można przypuszczać, że były to przyrządy do doświadczenia przeprowadzonego cztery lata później, a opóźnienie prac wynikało z możliwości technicznych ówczesnych hut szkła⁴⁾. Na zakończenie tego wątku trzeba jeszcze wspomnieć, że w 1906 r. historyk Felix Mathieu⁵⁾ przedstawił wyniki badań, z których wynikało, że to Pascal był plagiatorem i kłamcą, a jego list do Periera z 15 listopada 1647 r. został przez autora sfalszowany. Inny historyk – J. Mesner – wyraził się nieco delikatniej, mówiąc, że list był „zmieniony dla celów publikacji”.

Niezależnie od całego zamieszania nie ulega wątpliwości, że zarówno Torricelli, jak i Magni wykonywali doświadczenia w celu udowodnienia, że uzyskanie próżni jest możliwe, tworząc przyrząd, który możemy



René Descartes

nazwać baroskopem, ponieważ nie miał skali i nie mierzył niczego, a jedynie wskazywał na istnienie próżni w górnej części rurki z rtęcią. Przyjęto, że pierwszy wykonał doświadczenie Torricelli (a właściwie Viviani pod kierunkiem Toricellego), natomiast pierwszą publikacją opisującą je był traktat Waleriana Magniego wydany w Warszawie w lipcu 1647 r.



Robert Boyle

Za wynalazcę barometru powinno się właściwie uznać René Descartesa, gdyż to on zaopatrzył w 1648 r. przyrząd Torricellego w papierową skalę umożliwiającą zmierzenie wysokości słupa rtęci. Od tego czasu rozpoczyna się triumfalna podróż barometru przez pracownie i laboratoria we wszystkich państwach i na wszystkich kontynentach.

Barometr jest jednym z sześciu przyrządów, których wynalezienie spowodowało przyspieszenie rozwoju nauki, a w konsekwencji naszej cywilizacji naukowo-technicznej. Do pozostałych należą: termometr; teleskop, mikroskop, zegar wahadłowy i pompa próżniowa. Wszystkie te przyrządy wynaleziono w ciągu kilkunastu lat XVII w., przy czym znaczną ich część w otoczeniu Galileusza.

Pozostaje jeszcze sprawa przyjętego nazewnictwa. Po raz pierwszy słowa ciśnienie użył Pascal, ale nazwy barometr przypuszczalnie dopiero w latach 1662-1665 Robert Boyle. Źródłostwem nazwy barometr jest greckie *báros* – ciężar i *metron* – miara.

4) Mieczysław Subotowicz, „Najwcześniejsza drukiem wydana rozprawa o eksperymentalnym dowodzie istnienia próżni”, *Kwartalnik Historii Nauki i Techniki*, R. IV, Nr 1, 1959.

5) Felix Mathieu, *Pascal et l'expérience du Puy-de-Dôme*, *La Revue de Paris*, vol. 13, vol.14.

O autorze:

mgr inż Andrzej Maciążek,

Ośrodek Służby Obserwacyjno-Pomiarowej
Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej
e-mail:andrzej.maciazek@imgw.pl

