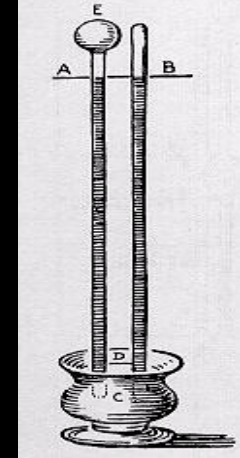


Początki fizyki gazów i zjawisk cieplnych



Evangelista Torricelli (1608-1647)



„Żyjemy na dnie morza powietrza, które - jak wynika z doświadczenia - ma ciężar i to taki, że najgęstsze powietrze przy powierzchni ziemi waży około jednej czterechsetnej ciężaru wody... Wykonaliśmy wiele naczyń ze szkła i rurek o długości 2 łokci. Napełniliśmy je rtęcią, otwarty koniec zatkaliśmy palcem i zanurzyliśmy w naczyniu z rtęcią; zobaczyliśmy jak tworzy się pusta przestrzeń, przy czym w naczyniu nic się wtedy nie dzieje, a rurka pozostaje zawsze napełniona do wysokości jednego i czwartej części łokcia plus jeden cal... W podobnej rurce, tylko znacznie dłuższej, woda podnosi się do wysokości około 18 łokci, to znaczy tyle razy więcej ile rtęć jest cięższa od wody, bo wtedy jest w równowadze z tą samą przyczyną, która działa na jedno i drugie...”

List do Michelangelo Ricciego, 11 VI 1644 r.



W lipcu 1647 r. Valeriano Magni wykonał eksperymenty z próżnią na Zamku Królewskim w Warszawie



DEMONSTRATIO
OCULARIS.

*Loci sine locato.
Corporis successivè moti in vacuo:
Luminis nulli corpori inhaerentis*

A
VALERIANO MAGNO
FRATRE CAPUCCINO,
exhibita.

SERENISS. PRINCIPIBUS
VLADISLAW IV.
REGI,
&
LUDOVICÆ MARIE
REGINÆ
POLONIÆ & SVECIAE,
Magnis Ducibus Lithuaniz, &c.
Virgini Deiparae ex voto sacra et dicata.

VARSAVIÆ.
In Officina Petri El. et S. R. M. Typographi.



Blaise Pascal (1623-1662)

„Zajmuję się obecnie poszukiwaniem danych, które pozwoliłyby rozstrzygnąć, czy działanie przypisywane obawie próżni, może być spowodowane do czegoś podobnego, czy też powodowane jest przez ciężkość i ciśnienie powietrza. Obmyśliłem doświadczenie, które powinno tę kwestię wyjaśnić, o ile będzie wykonane z odpowiednią ścisłością. Chodzi o wykonanie znanego doświadczenia z próżnią kilkakrotnie tego samego dnia, w tej samej rurce, z tą samą rtęcią, raz po raz to u podnóża, to na szczycie góry wzniesionym najmniej na pięćset do sześciuset tuazów, aby sprawdzić, czy wysokość słupka rtęci w rurce w obu wypadkach będzie jednakowa, czy też różna.”

List Pascala do jego szwagra Florina Périera, 15 listopada 1647 r.

„Zapewne domyśla się już Pan, że doświadczenie to rozstrzygnie kwestię, i że jeśli wysokość rtęci okaże się mniejsza na szczycie niż u podnóża góry (co skłonny jestem przypuszczać pomimo przeciwnego przekonania wszystkich, którzy się nad tą sprawą zastanawiali), to wyniknie stąd niezawodnie, iż jedyną przyczynę tego zatrzymywania się rtęci stanowią ciężkość i ciśnienie powietrza, nie zaś obawa próżni; jest bowiem rzeczą pewną, iż o wiele więcej powietrza ciąży u podnóża góry niż na jej wierzchołku; trudno jest natomiast przypuszczać, że natura bardziej obawia się próżni u podnóża niż na wierzchołku góry.”

List Pascala do jego szwagra Florina Périera, 15 listopada 1647 r.

„Wykonanie tego doświadczenia jest związane z pewnymi trudnościami. Trzeba by do tego celu znaleźć dostatecznie wysoką górę w pobliżu miasta. Musiałby się przy tym znajdować tam ktoś, kto doświadczenie to potrafiłby wykonać z należąca starannością. Ponieważ trudno by było znaleźć poza Paryżem kogoś odpowiedzialnego, jak również miejsce, odpowiadające warunkom doświadczenia, więc jestem uszczęśliwiony, że znalazłem zarówno osobę, jak i miejsce, ponieważ miasto Clermont leży u podnóża góry Puy-de-Dôme 500 tuazów wysokiej i ponieważ żywię nadzieję, iż Pan zechce sam to doświadczenie wykonać...”



List Pascala do jego szwagra Florina Périera, 15 listopada 1647 r.

List Périera do Pascala, 22 września 1648 r.

„W sobotę 19-go bieżącego miesiąca pogoda była zmienna; pomimo to koło godziny piątej z rana zdawało się być dość ładnie i ponieważ wierzchołek Puy-de-Dôme był odsłonięty, zdecydowałem się wejść nań, aby wykonać doświadczenie. Powiadomiłem więc o tym kilku szanowanych obywateli miasta Clermont, którzy prosili mnie, abym ich uprzedził o dniu, kiedy się tam udam; pomiędzy nimi było kilku duchownych, poza tym świeccy; z duchownych byli ojciec Bannier, jeden z Minimów tego miasta, który kilka razy był przełożonym, oraz pan Mosnier, kanonik z kościoła katedralnego; ze świeckich - panowie radcy La Ville i Bégon oraz pan La Porte, doktor medycyny tu praktykujący; wszyscy - ludzie wielce uzdolnieni, nie tylko w swym zawodzie, lecz również w naukach, to też byłem zachwycony, iż mogę w ich towarzystwie urzeczywistnić ten piękny zamiar. Zebraliśmy się więc wszyscy dnia tego około godziny ósmej rano w ogrodzie Ojców Minimów, który znajduje się w najniższej niemal okolicy miasta i rozpoczęliśmy tam doświadczenie w sposób następujący.”

List Périera do Pascala, 22 września 1648 r.

„Najpierw nalałem do naczynia szesnaście funtów rtęci, którą czyściłem przez trzy poprzednie dni i wzięwszy dwie rurki szklane równej grubości, długości około czterech stóp, hermetycznie zatopione z jednego końca i otwarte z drugiego, wykonałem z każdą z nich wiadome doświadczenie z próżnią w tym samym naczyniu, po czym, gdy zbliżyłem i zetknąłem ze sobą obie rurki nie wyjmując ich z naczynia, okazało się, iż rtęć, pozostała w każdej z nich, znajdowała się na tym samym poziomie - dwadzieścia sześć cali i trzy i pół linii ponad poziomem rtęci w naczyniu. Powtórzyłem to doświadczenie w tym samym miejscu, w tych samych dwóch rurkach, z tą samą rtęcią i w tym samym naczyniu jeszcze dwa razy i ciągle okazywało się, że rtęć w obu rurkach jest na tym samym poziomie i na tej samej wysokości, co za pierwszym razem.”

Eksperyment na Puy-de-Dôme 19 września 1648 r.

„Następnie pozostawiłem jedną z tych rurek w naczyniu dla porównania, zaznaczyłem na szkle wysokość rtęci i pozostawiając tę rurkę na tym samym miejscu, uprosiłem ojca Chastina, jednego z miejscowych mnichów, człowieka równie pobożnego, jak uzdolnionego i znającego się bardzo dobrze na tych sprawach, aby obserwował od czasu do czasu w ciągu dnia, czy nie zajdzie w niej jakaś zmiana. Z drugą zaś rurką i z częścią tej samej rtęci udałem się w towarzystwie reszty panów na szczyt Puy-de-Dôme, wzniesiony ponad ogrodem klasztornym na jakieś pięćset tuazów, gdzie po wykonaniu tego samego doświadczenia w ten sam sposób, co w ogrodzie klasztornym, okazało się, że w tej rurce pozostawały tylko dwadzieścia trzy cale i dwie linie rtęci, gdy w ogrodzie klasztornym w tej samej rurce było dwadzieścia sześć cali i trzy i pół linii - że więc między poziomem rtęci w rurce w obu tych wypadkach zachodzi różnica trzech cali i półtorej linii.”

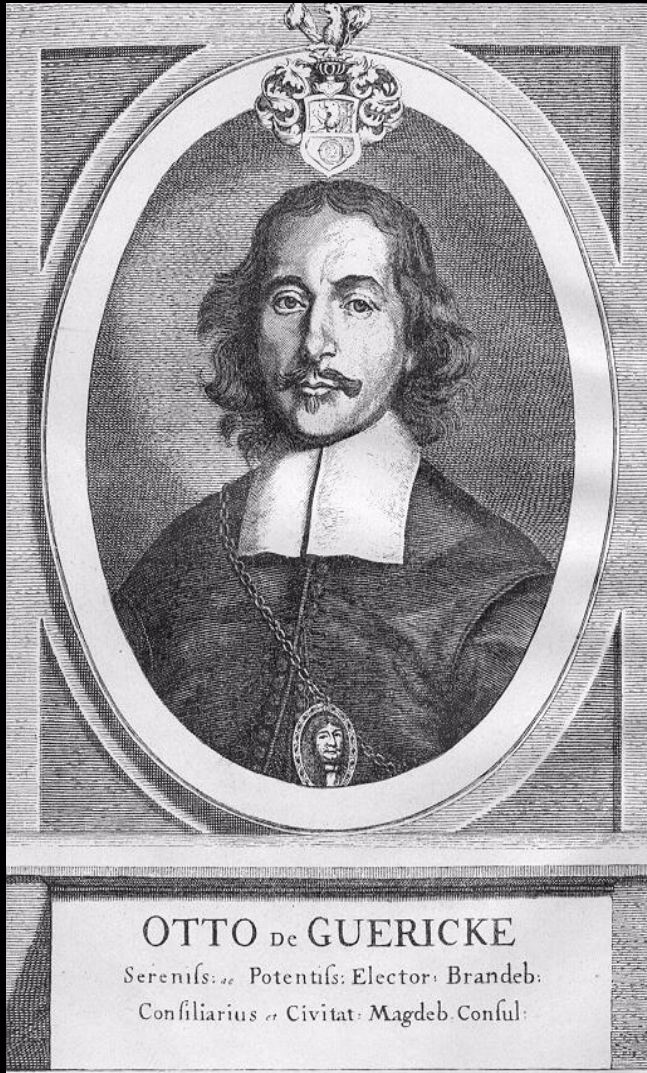
Eksperyment na Puy-de-Dôme

19 września 1648 r.

„Napełniło to nas zachwytem i podziwem i tak nas zdumiało, że dla własnej przyjemności zapragnęliśmy powtórzyć doświadczenie. Toteż wykonałem je jeszcze pięć razy bardzo dokładnie w różnych punktach wierzchołka góry, zarówno pod dachem znajdującej się tam małej kaplicy, jak na otwartym powietrzu, zarówno w zaciszu, jak na wietrze, zarówno przy pięknej pogodzie, jak w czasie deszczu i mgły, która nas tam od czasu do czasu nawiedzała - oczyszczając za każdym razem bardzo starannie rurkę z powietrza; za każdym razem znajdowałem tę samą wysokość poziomu rtęci w rurce, równą dwudziestu trzem calom i dwóm liniom, a więc różną o trzy cale i półtorej linii od wysokości w ogrodzie klasztornym, równej dwudziestu sześciu calom i trzem i pół liniom, co też nas w zupełności zadowoliło...”



Otto Guericke (1602-1686)

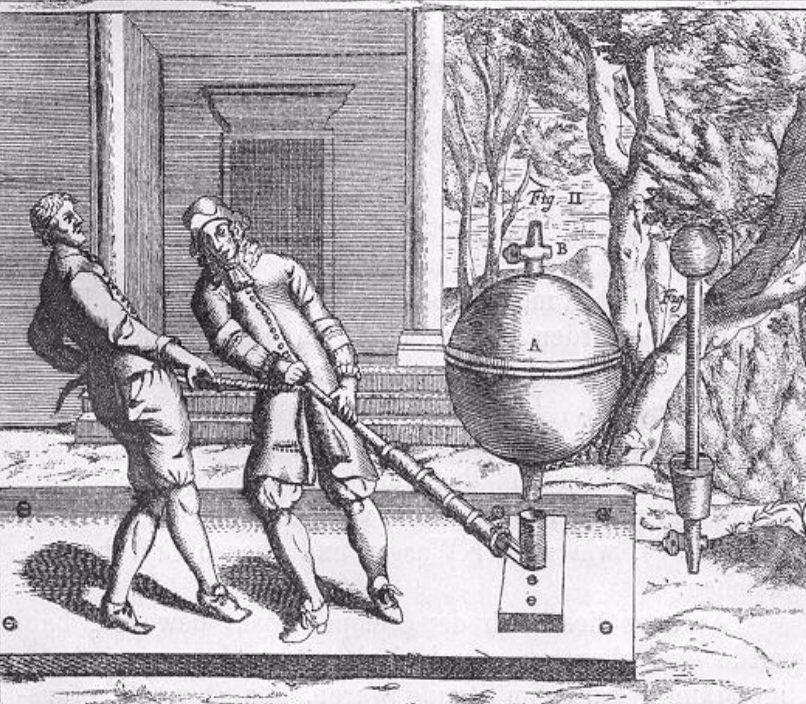




Pierwsza pompa Guerickego

„...wydało mi się, że dla moich celów bardziej odpowiednia będzie kula miedziana. Pojemność tej kuli A wynosiła od 60 do 70 kwart magdeburskich i została ona opatrzona u góry kurkiem mosiężnym B, na dole zaś była szczelnie połączona z pompą. Następnie przystąpiłem, jak poprzednio, do wyciągania wody i powietrza.

Początkowo tłok dawał się poruszać łatwo, ale wkrótce stało się to trudniejsze, tak że dwaj silni mężczyźni prawie nie mogli go wyciągnąć. Kiedy byli oni zajęci poruszaniem tłoka tam i z powrotem i już myśleli, że usunięte zostało całe powietrze, kula metalowa została nagle zgnieciona z wielkim hukiem ku ogólnemu przerażeniu, tak jak się zgniata w palcach materiał, albo jakby kula została zrzucona z wierzchołka wieży z gwałtownym łoskotem. Uważam, że przyczyną tego była niewprawność rzemieślników, którzy przypuszczalnie nie wykonali kuli dokładnie okrągłej...”



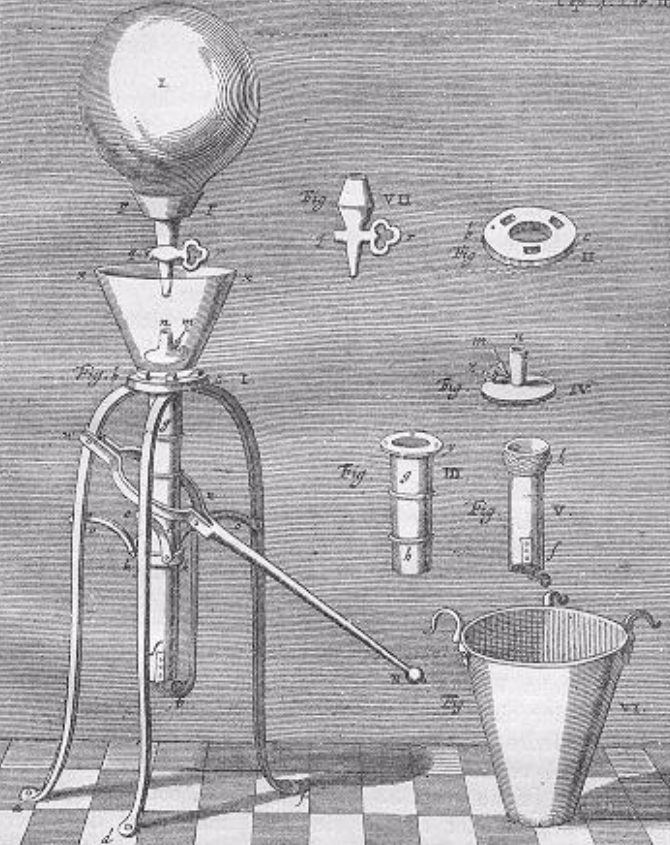
„...Powierzchnia płaska, gdziekolwiek mogła się znajdować, nie mogła wytrzymać ciśnienia otaczającego powietrza, gdy tymczasem kula wykonana dokładnie, z łatwością by to wytrzymała dzięki odpowiedniości swych części pomagających sobie nawzajem w stawianiu oporu.

Było więc konieczne wykonanie dokładnie okrągłej kuli. Powietrze było z niej wyciągane też początkowo z łatwością, a potem coraz trudniej.

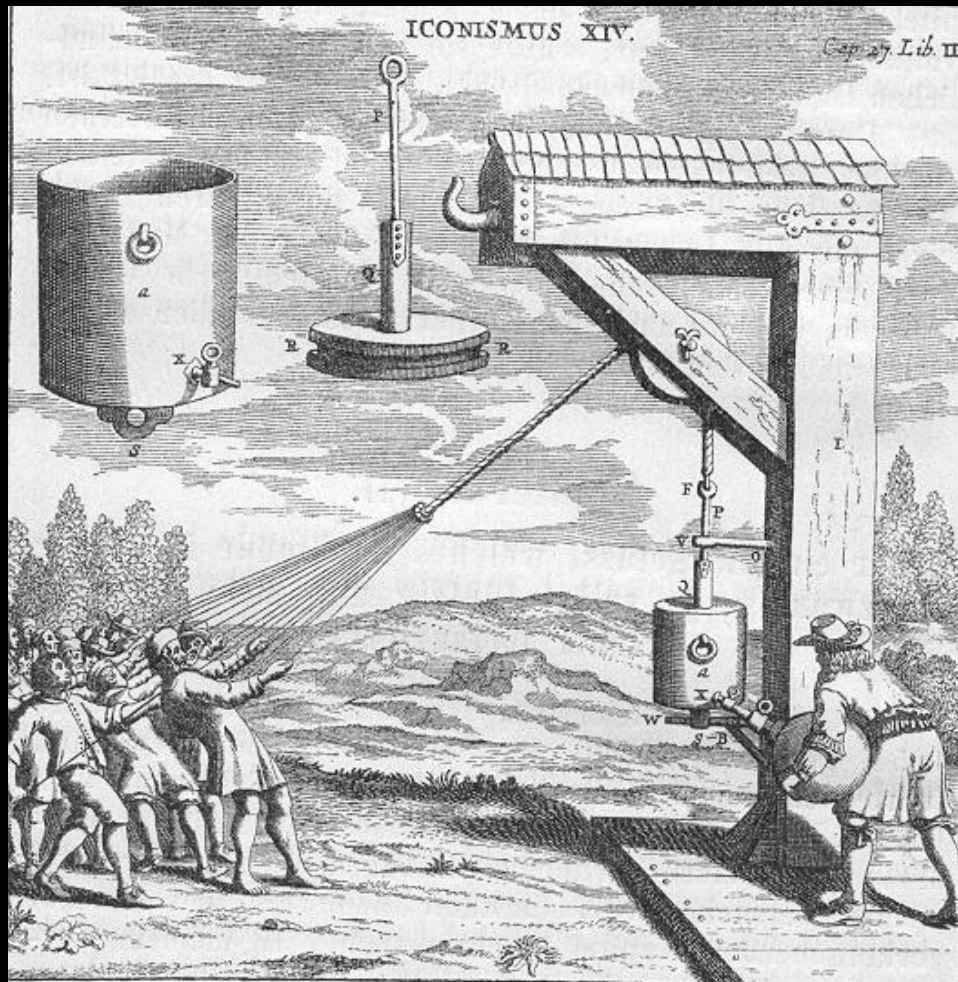
Dowodem na to, że kula została całkowicie opróżniona, było to, iż z górnej klapy pompy powietrze w końcu przestało wychodzić. W ten sposób po raz drugi otrzymana została próżnia.

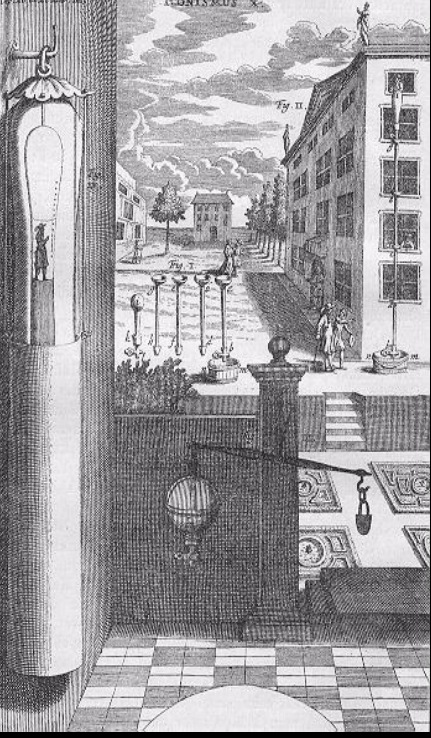
Po otwarciu kurka *B* powietrze wtargnęło do środka z taką siłą, jakby miało pociągnąć człowieka stojącego przed kurkiem. Gdy zbliżano twarz, to tamowało dech; nie można też było trzymać ręki nad kurkiem bez narażenia się na to, że zostanie ona siłą wciągnięta. Chociaż zdawało się, że kula jest całkowicie opróżniona, doświadczenie wykazało, że pozostawiona przez jeden lub dwa dni napęlnia się znów powietrzem, które wchodziło przez tłok pompy, jak również przez klapę i kurek.

Chodziło więc o to, żeby i ten brak usunąć, co też zostanie opisane niżej.”

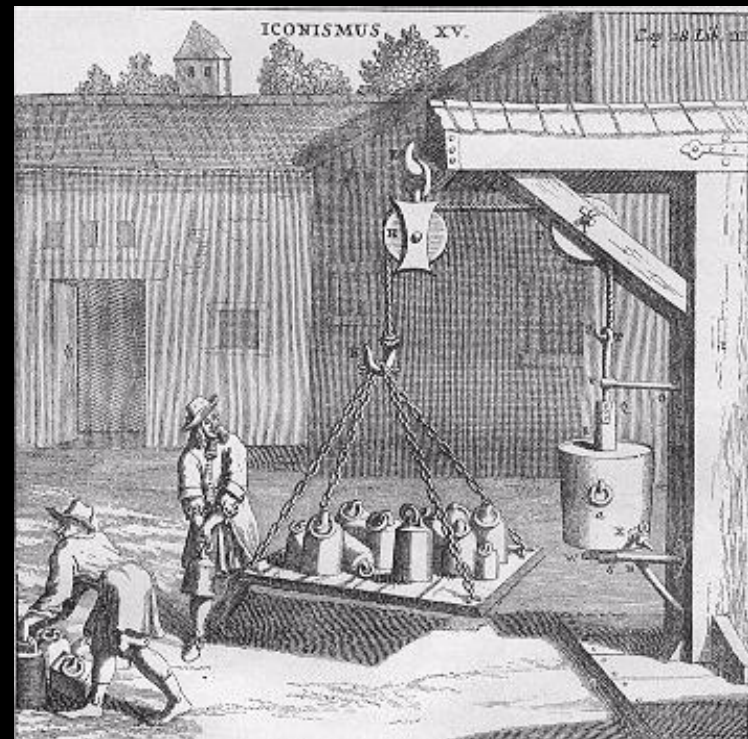
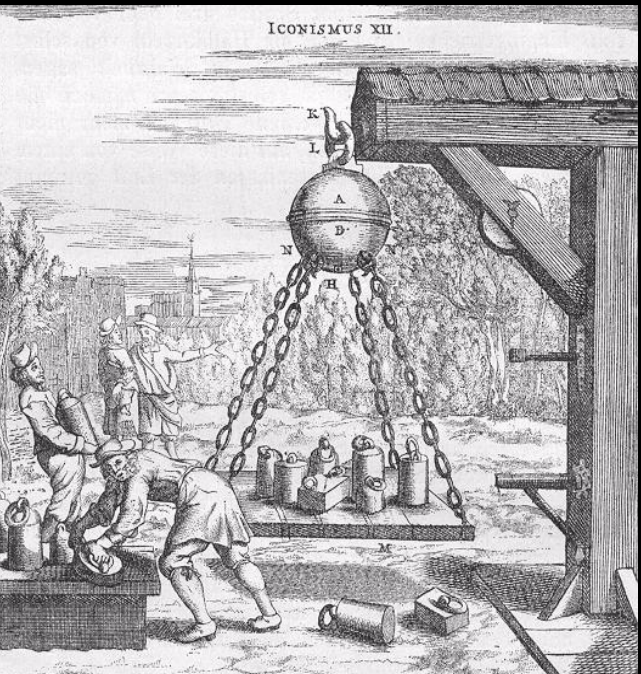
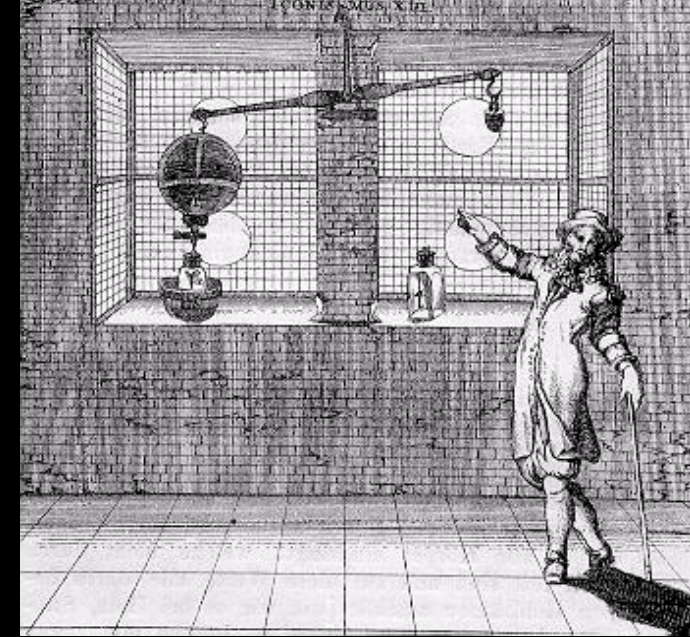


Druga pompa Guerickego





Eksperymenty Guerickego



Doświadczenie, które wykazuje, że wskutek ciśnienia powietrza dwie półkule zostają tak mocno połączone, że nie można ich od siebie oddzielić siłą 16 koni

„Polecilem wykonać dwie miedziane półkule, czyli miski o średnicy około $\frac{3}{4}$, a dokładniej $\frac{67}{100}$ łokcia magdeburgskiego. Były one szczelnie dopasowane do siebie i jedna z nich miała kurek, czy raczej klapę, z pomocą której można było wyciągać znajdujące się wewnątrz powietrze i która zamykała dostęp powietrza z zewnątrz... Oprócz tego półkule są opatrzone żelaznymi kółkami, aby mogły być do nich zaprzężone konie, jak widać na rysunku. Poza tym polecilem uszyć ze skóry pierścień, bardzo dobrze nasycony woskiem z terpentyną, aby zupełnie nie przepuszczał powietrza.

Półkule te połączyłem, przedzielając pierścieniem; następnie szybko zostało z nich wypompowane powietrze. Przekonałem się z jaką siłą są połączone półkule, między którymi znajdował się ów pierścień. Ściśnięte przez ciśnienie otaczającego powietrza były one złączone tak mocno, że 16 koni albo nie mogło ich wcale rozerwać, albo z wielkim tylko trudem. Kiedy ostatecznie wielkim wysiłkiem udało się je rozerwać, powodowało to huk podobny do wystrzału z armaty...”

Otto von Guericke, *Experimenta nova* (1672)

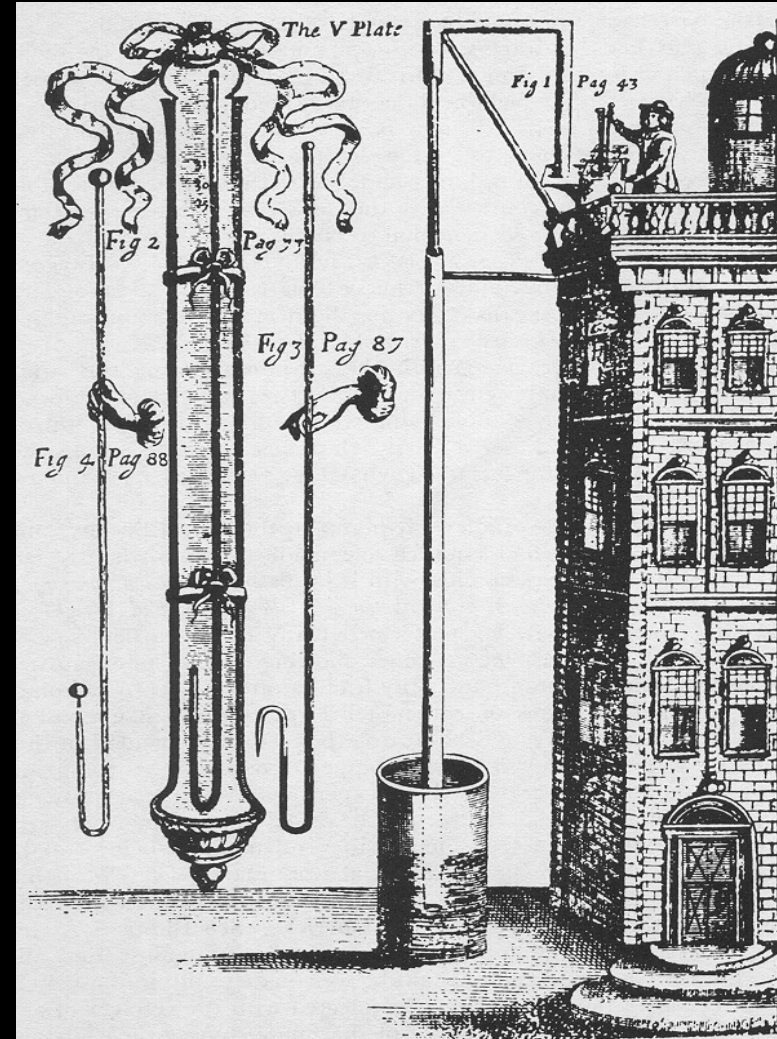
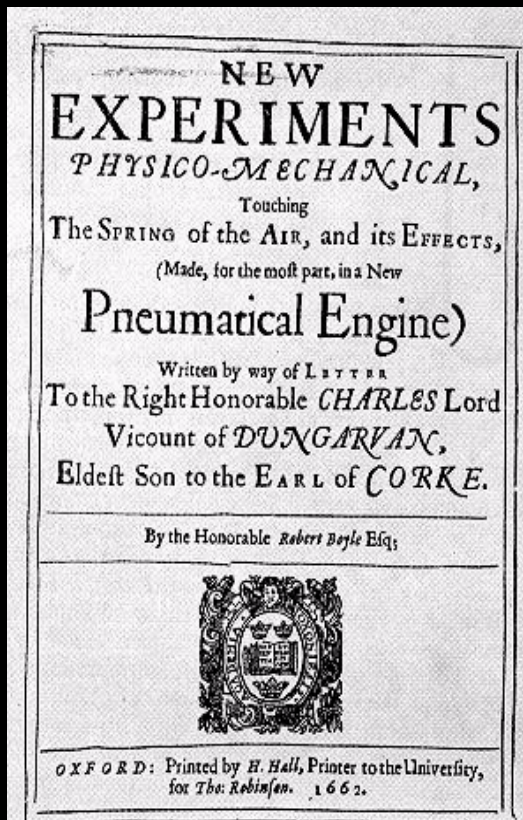
Publiczny pokaz „półkul magdeburskich”



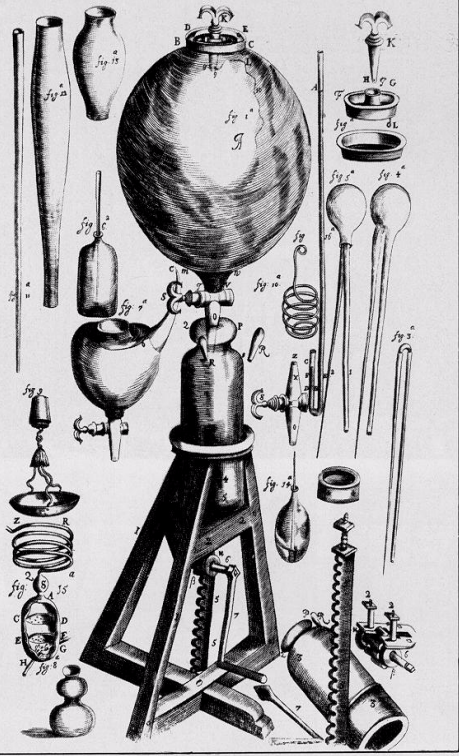


Robert Boyle

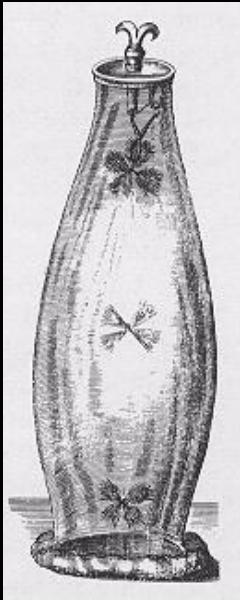
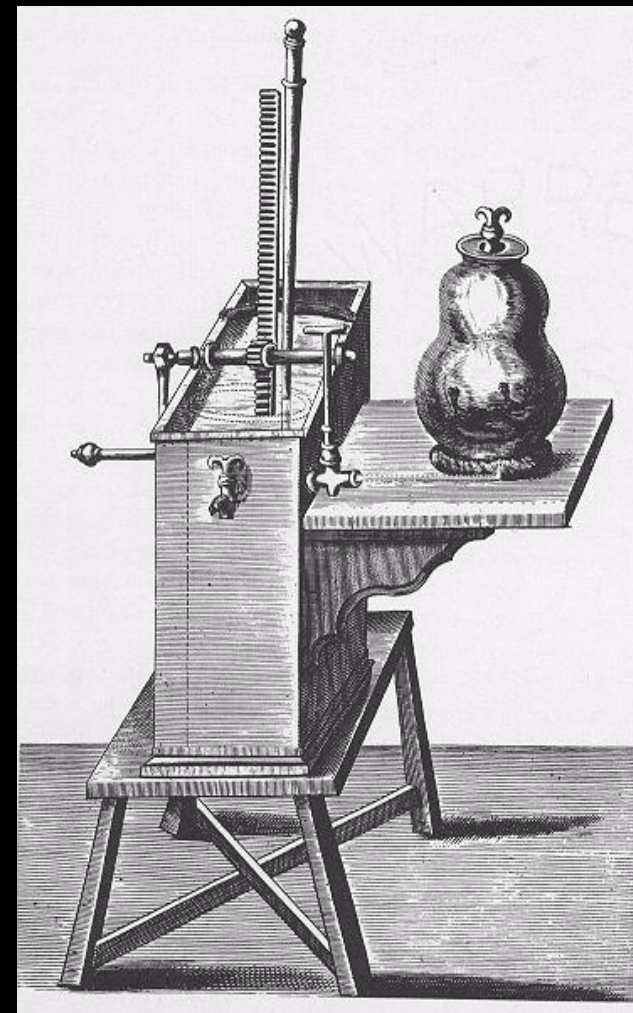
(1627-1691)



Pierwsza pompa Boyle'a



Druga pompa Boyle'a



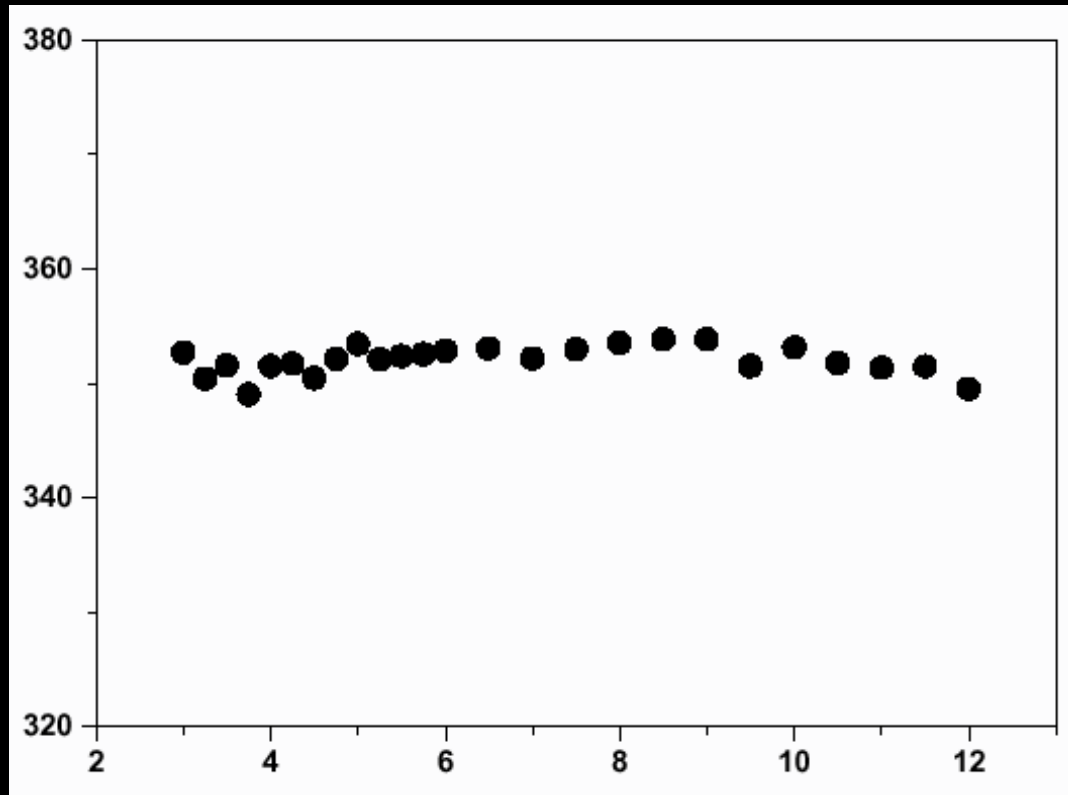
**Sprawdzanie twierdzenia Galileusza,
że wszystkie ciała w próżni spadają
z jednakowym przyspieszeniem**

Wyniki pomiarów Boyle'a (1662)

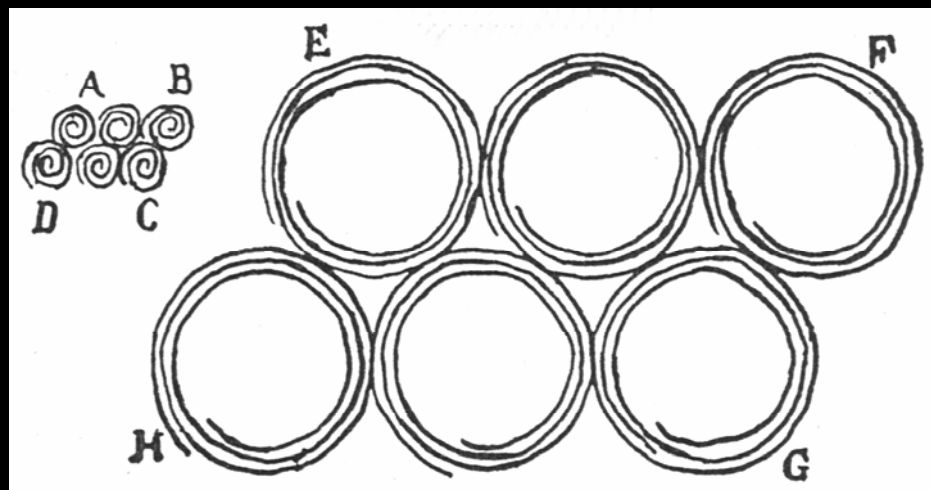
V	P _{obs}	P _{calc}	V	P _{obs}	P _{calc}
12	$29 \frac{2}{16}$	$29 \frac{2}{16}$	$5 \frac{3}{4}$	$61 \frac{5}{16}$	$60 \frac{18}{23}$
$11 \frac{1}{2}$	$30 \frac{9}{16}$	$30 \frac{6}{16}$	$5 \frac{1}{2}$	$64 \frac{1}{16}$	$63 \frac{3}{16}$
11	$31 \frac{15}{16}$	$31 \frac{12}{16}$	$5 \frac{1}{4}$	$67 \frac{1}{16}$	$66 \frac{4}{7}$
$10 \frac{1}{2}$	$33 \frac{8}{16}$	$33 \frac{1}{7}$	5	$70 \frac{11}{16}$	70
10	$35 \frac{5}{16}$	35	$4 \frac{3}{4}$	$74 \frac{2}{16}$	$73 \frac{11}{19}$
$9 \frac{1}{2}$	37	$36 \frac{15}{19}$	$4 \frac{1}{2}$	$77 \frac{14}{16}$	$77 \frac{2}{3}$
9	$39 \frac{5}{16}$	$38 \frac{7}{8}$	$4 \frac{1}{4}$	$82 \frac{12}{16}$	$82 \frac{4}{17}$
$8 \frac{1}{2}$	$41 \frac{10}{16}$	$41 \frac{2}{17}$	4	$87 \frac{14}{16}$	$87 \frac{3}{8}$
8	$44 \frac{3}{16}$	$43 \frac{11}{16}$	$3 \frac{3}{4}$	$93 \frac{1}{16}$	$93 \frac{1}{5}$
$7 \frac{1}{2}$	$47 \frac{1}{16}$	$46 \frac{3}{5}$	$3 \frac{1}{2}$	$100 \frac{7}{16}$	$99 \frac{6}{7}$
7	$50 \frac{5}{16}$	50	$3 \frac{1}{4}$	$107 \frac{13}{16}$	$107 \frac{7}{13}$
$6 \frac{1}{2}$	$54 \frac{5}{16}$	$53 \frac{10}{16}$	3	$117 \frac{9}{16}$	$116 \frac{4}{8}$
6	$58 \frac{13}{16}$	$58 \frac{2}{8}$			

Wyniki pomiarów Boyle'a (1662)

pV



V (jednostki umowne)



Boyle wyobrażał sobie, że powietrze zawiera jakieś części, które w zwykłych warunkach zostają sprasowane przez kolejne warstwy atmosfery. Opisywał to obrazowo przyrównując części powietrza do kłębuszków wełny. Przy zmniejszonym ciśnieniu te „kłębuszki” mogły się rozprostowywać, zwiększając swoją objętość.

Pomiary ciśnienia i objętości powietrza w laboratorium Boyle'a wykonywali Henry Power i Richard Towneley oraz Robert Hooke, który był asystentem Boyle'a.

Kilkanaście lat później, ale chyba niezależnie od Boyle'a, Edmé Mariotte w Paryżu znalazł eksperymentalnie związek objętości i ciśnienia powietrza



SECOND ESSAY.
DE LA
NATURE
DE L'AIR,

Par M^r. MARIOTTE,
*de l'Academie Royale
des Sciences.*



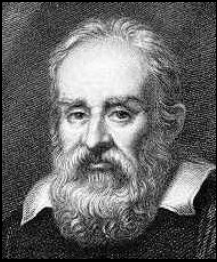
A PARIS,
Chez ESTIENNE MICHALLET,
rue Saint Jacques, à l'Image
Saint Paul.

M. DC. LXXIX.

Avec Permission.

Początki termometrii

Pierwsze termoskopy powietrzne (termometry)



Galileo Galilei

1603 ? (1592 ?)



Santorio Santori

1611



Cornelius Drebbel

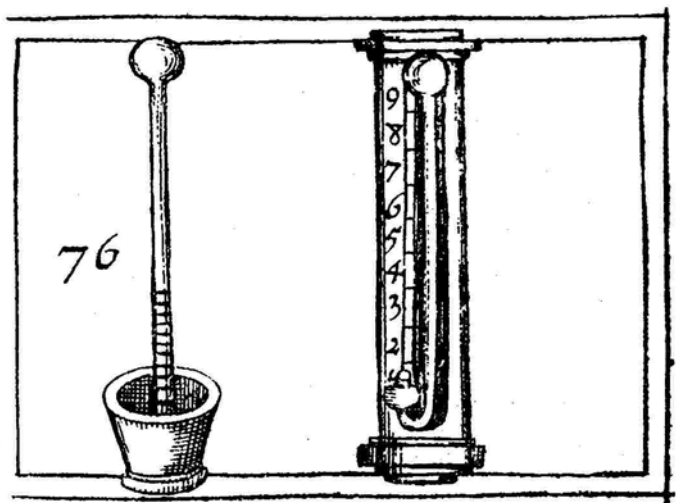
> 1606 (1586 ?)



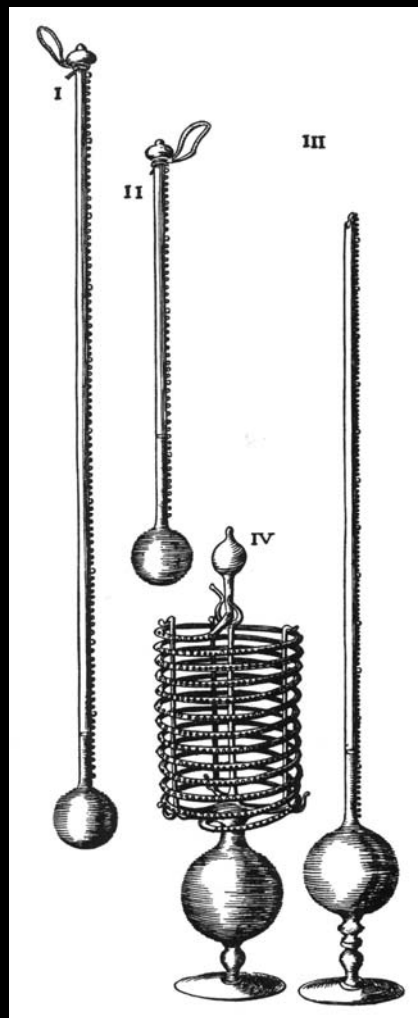
Robert Fludd

1617 ?

Pierwsze termometry i ich zastosowania



Ilustracja z 1624 r.

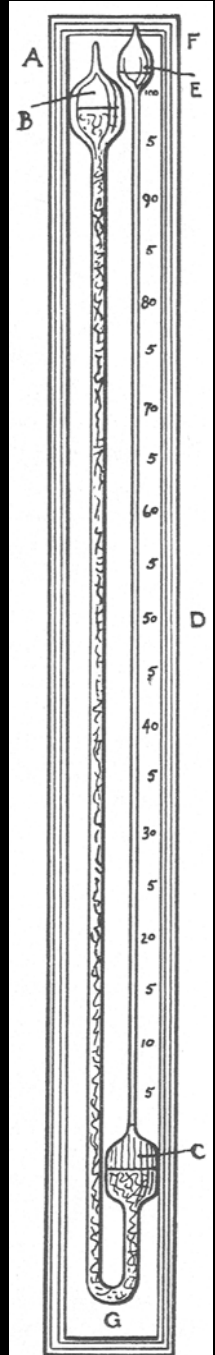


Ilustracja z 1688 r.

Accademia del Cimento

Jean Rey (1631)
pierwszy
termometr cieczowy

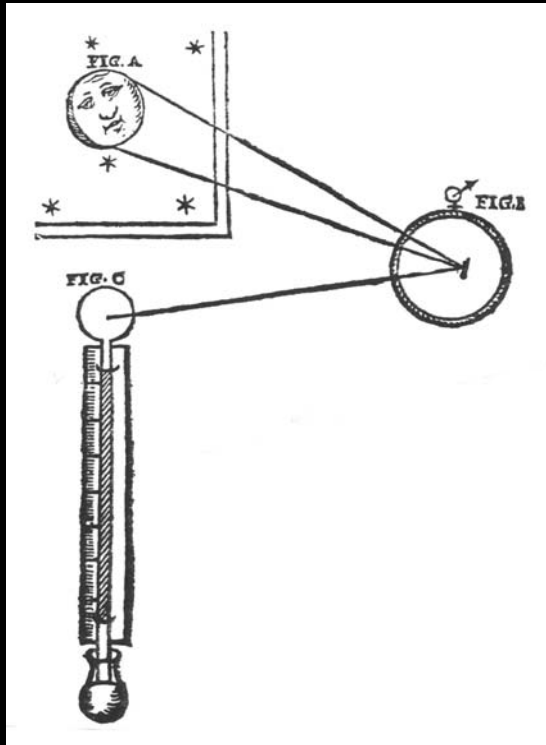
Guillaume Amontons (1688)
pierwszy termometr powietrzny
– zmiany ciśnienia



Punkty stałe

1665	Boyle	zamarzanie olejku anyżowego
	Huygens	zamarzanie (lub wrzenie) wody
	Hooke	zamarzanie wody
1688	Dalencé	topnienie śniegu (-10°) i topnienie masła (10°)
1694	Renaldini	zamarzanie i wrzenie wody (przedział 12°)

Pierwsze termometry i ich zastosowania



Santorio jako pionier astrofizyki

Światło Słońca skupione na bańce termometru dało spadek o 120 stopni, a światło Księżycy tylko o 10 stopni (w skali umownej)

Sanctorii Sanctorii Commentarioa in primam fen primi libri Canonis Avicennae (Wenecja, 1625)

Pierwsze termometry i ich zastosowania

Próby Santoria należy zestawić z ówczesnymi **bezpodstawnymi** dywagacjami astrologów i astronomów

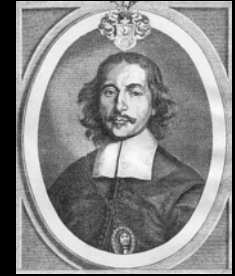


„Według tego, co podają astronomowie, jedne gwiazdy uważa się za bardziej, inne za mniej ciepłe. Wśród planet bowiem za najcieplejszą po Słońcu uchodzi Mars, dalej idzie Jowisz, następnie Wenus; za zimne uchodzą Księżyc i najbardziej ze wszystkich Saturn. Wśród gwiazd stałych za najcieplejszą uchodzi Syriusz.”

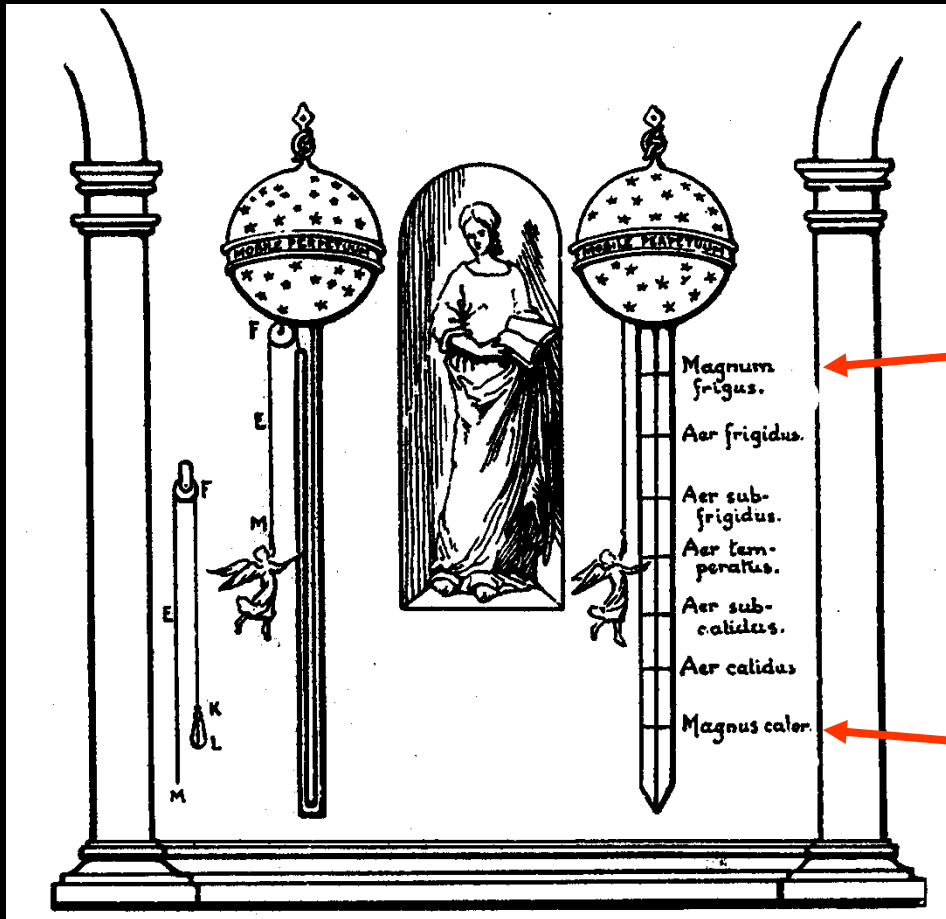
Francis Bacon *Novum Organum* (1620)

Pierwsze termometry i ich zastosowania

Otto Guericke



Experimenta nova (1672)



wielki mróz
pogoda mroźna
pogoda chłodna
pogoda umiarkowana
pogoda ciepła
pogoda gorąca
wielki upał