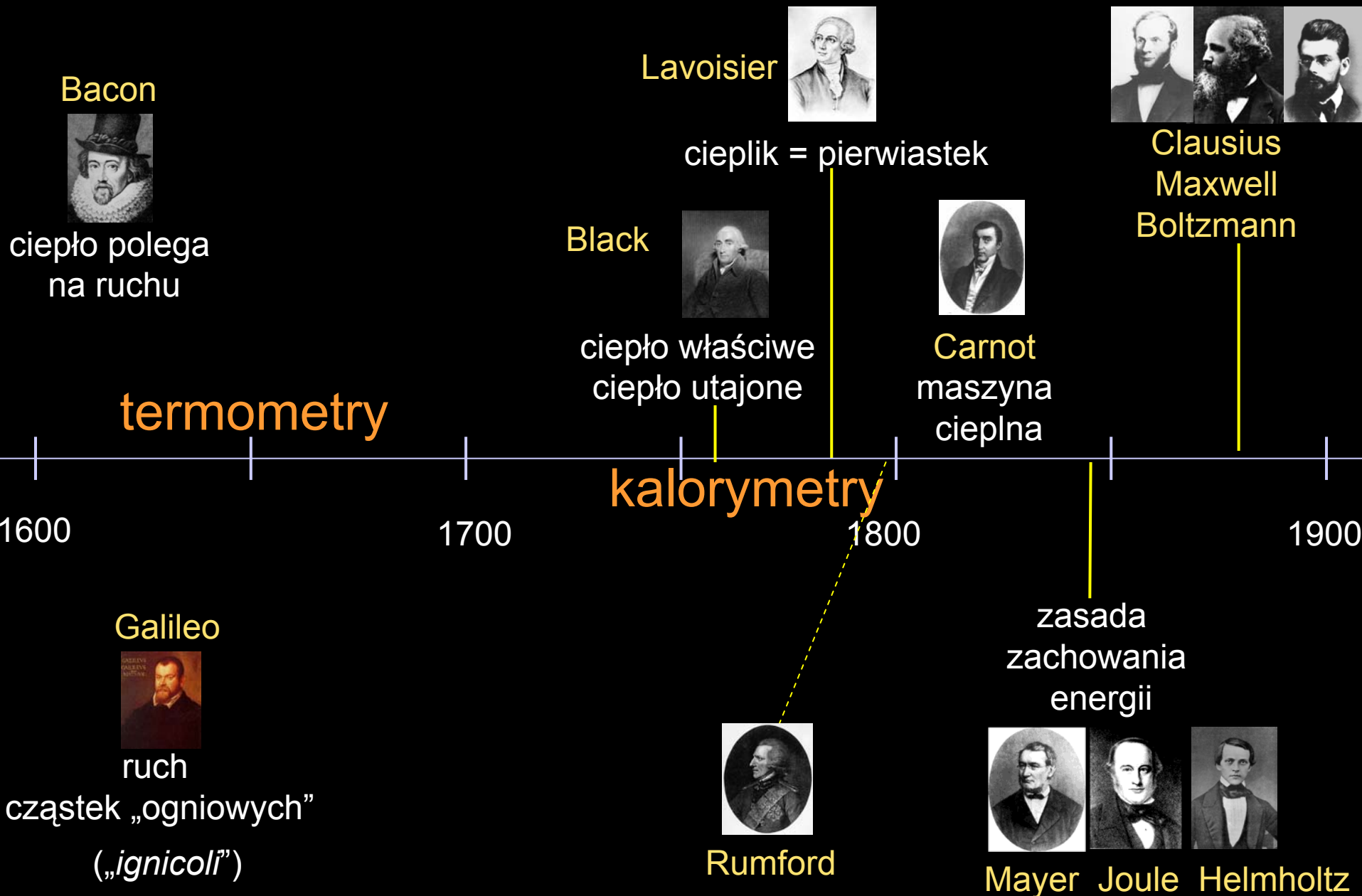


Fizyka XIX wieku

część 2

Termodynamika i fizyka statystyczna

Trzy stulecia historii ciepła



Teoria kinetyczna, termodynamika, fizyka statystyczna

1738		D. Bernoulli	ciśnienie gazu
1789		Lavoisier	cieplik → pierwiastkiem
1798		B. Thompson	ciepło przez tarcie
1799		Davy	” ”
1812		Davy	ruch obrotowy cząstek
1821		Herapath	ruch postępowy cząstek
1824		Carnot	η (teoria cieplika)
1840-43		Joule	mechaniczny równoważnik ciepła zachowanie energii
1842		Mayer	zachowanie energii
1847		Helmholtz	zachowanie energii

1848	Joule (publik. 1851)		obliczenie v
1849	W. Thomson		η (według teorii cieplika)
1843-45 1850-51	Waterston Clausius		(teoria kinetyczna) η , U , II zasada termodynamiki
1851	W. Thomson		η , II zasada termodynamiki
1856	Krönig		$p \sim 1/6 v^2$
1857	Clausius		$p \sim 1/3 v^2$
1858	Clausius		$\langle v^2 \rangle$, λ
1860	Maxwell		$f(v)$
1865	Clausius		entropia S
1873-78	Gibbs		potencjały termodynamiczne
1872 1877	Boltzmann Boltzmann		Twierdzenie H $S \sim \log P$,
1882	Helmholtz		F



Matematyczna teoria cieplika (Poisson, Laplace)

Ilość ciepła $q = f(p, \rho, t) = f(p, t)$ ponieważ p, ρ, t związane równaniem $p = a\rho(1 + \alpha t)$

[Dziś $U = U(p, V)$ oraz $S = S(p, V)$]

$$dq = (\partial q / \partial p)_V dp + (\partial q / \partial V)_p dV \Rightarrow q = f(pV^\gamma)$$

$$\gamma = C_p / C_V = [(\partial q / \partial T)_V / (\partial q / \partial T)_p]$$

Laplace: najprostsze założenie, że funkcja f jest liniowa

$$q = A + B t p^{(1 - \gamma)/\gamma}$$

Zgodność z danymi doświadczalnymi dla $\gamma = 1.4$



THÉORIE
MATHÉMATIQUE
DE LA CHALEUR;

PAR S. D. POISSON,

Membre de l'Institut, du Bureau des Longitudes et de l'Université de France; des Sociétés royales de Londres et d'Édimbourg; des Académies de Berlin, de Stockholm, de Saint-Petersbourg, de Boston, de Turin, de Naples, et de plusieurs autres villes d'Italie; de l'Université de Wilna; des Sociétés italienne, astronomique de Londres, philomatiques de Paris et de Varsovie, et de la Société des Sciences d'Orléans.

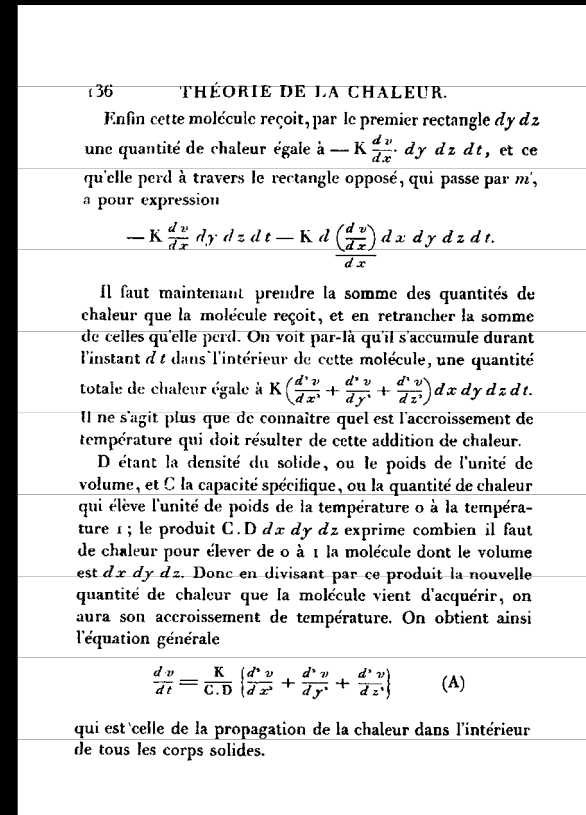
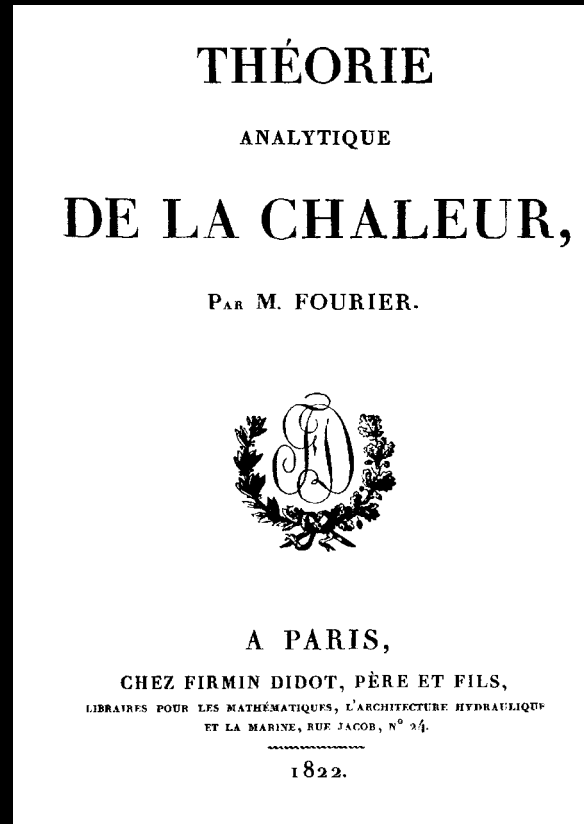
PARIS,
BACHELIER, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
POUR LES MATHÉMATIQUES, LA PHYSIQUE, ETC.,
QUAI DES AUGUSTINS, n° 55.

1835

Teoria przepływu ciepła



Jean-Baptiste Joseph Fourier
(1768-1830)





Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830)

„Zjawiska cieplne odbywają się według niezmiennych praw, których nie można odkryć bez pomocy analizy matematycznej. Celem teorii, którą tu objaśniamy, jest wykazanie tych praw; sprowadza ona wszystkie badania fizyczne nad rozchodzeniem się ciepła do zagadnień rachunku całkowego, którego elementy są dostarczone przez doświadczenie.”

Theorie analytique de la chaleur, rozdz. 1

THÉORIE
ANALYTIQUE
DE LA CHALEUR,
PAR M. FOURIER.



A PARIS,
CHEZ FIRMIN DIDOT, PÈRE ET FILS,
LIBRAIRES POUR LES MATHÉMATIQUES, L'ARCHITECTURE HYDRAULIQUE
ET LA MARINE, RUE JACOB, N° 24.

1822.



Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1832)

„Wytwarzanie mocy poruszającej w maszynie parowej nie jest spowodowane zużyciem ciepła, lecz jego przejściem od ciała gorętszego do zimniejszego - to znaczy zachodzi skutek przywrócenia w nim równowagi, naruszonej przez działanie chemiczne w rodzaju spalania, lub przez jakąś inną przyczynę. Zobaczymy, że ta zasada stosuje się do wszystkich maszyn cieplnych...”

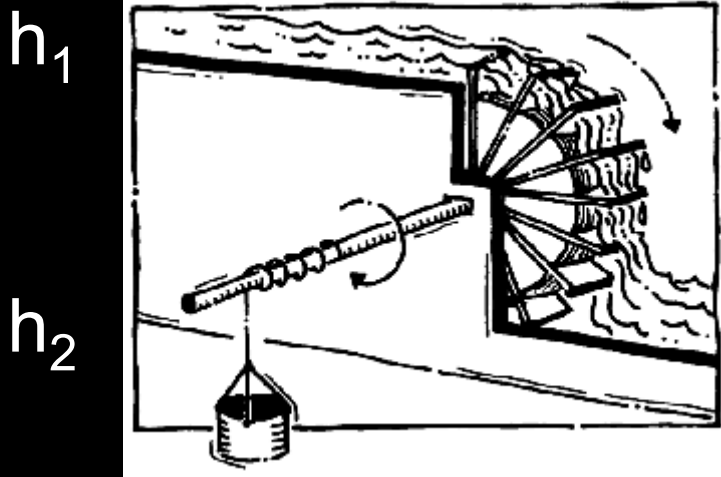
RÉFLEXIONS
SUR LA
PUISSANCE MOTRICE
DU FEU
ET
SUR LES MACHINES
PROPRES A DÉVELOPPER CETTE PUISSANCE.

PAR S. CARNOT,
ANCIEN ELÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE.

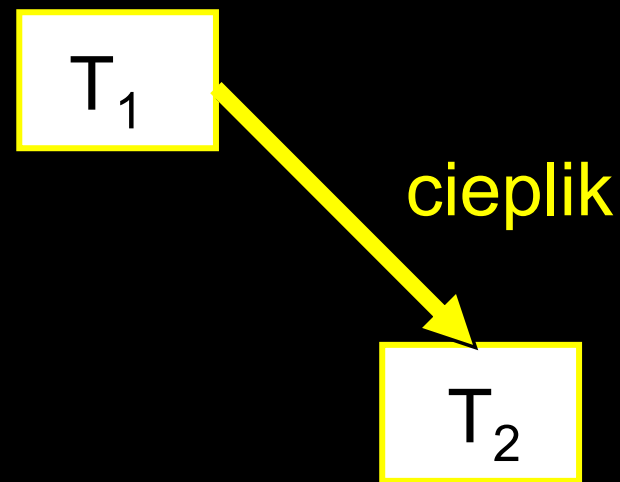
A PARIS,
CHEZ BACHELIER, LIBRAIRE,
QUAI DES AUGUSTINS, N^o. 55.

1824.

Obraz Carnota maszyny cieplnej



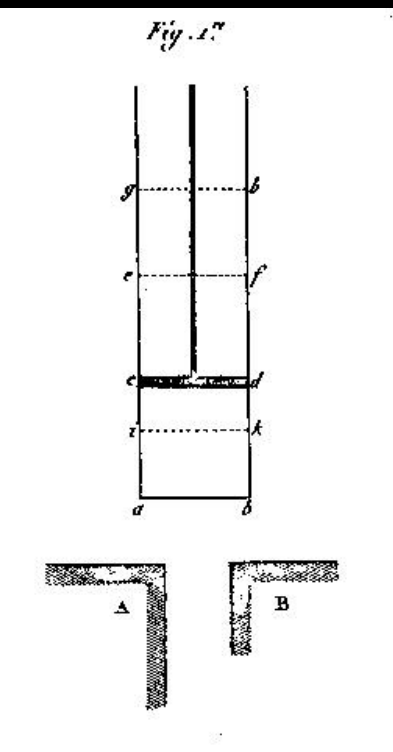
młyn wodny



maszyna cieplna

„Wyobraźmy sobie płyn sprężysty, na przykład powietrze atmosfery, zawarty w naczyniu walcowym zaopatrzonym w ruchomy tłok cd ; założmy też dwa ciała A i B, o temperaturze stałej, przy czym wyższej u A niż u B. Rozważmy serię następujących operacji:

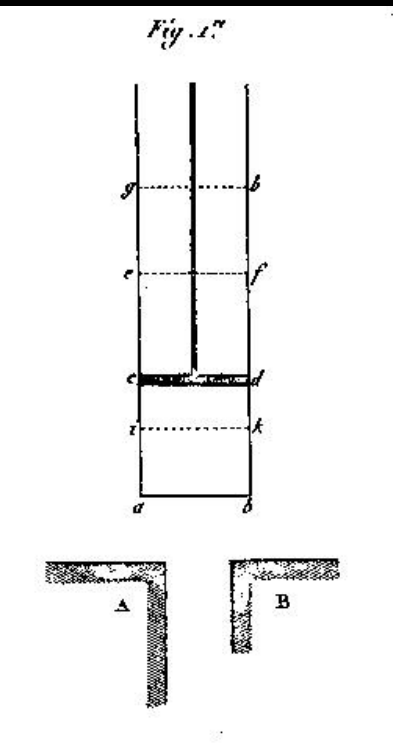
1. Zetknięcie ciała A z powietrzem zawartym w naczyniu $abcd$, albo z jego ścianką, która z założenia jest dobrym przewodnikiem ciepła. Przez to zetknięcie powietrze uzyskuje taką samą temperaturę jak A; tłok jest w położeniu cd .
2. Tłok podnosi się stopniowo aż do położenia ef . Przez cały czas utrzymywany jest kontakt powietrza z ciałem A i jego temperatura pozostaje stała przy rozrzedzaniu. Ciało A dostarcza ciepła potrzebnego do utrzymania stałej temperatury.”

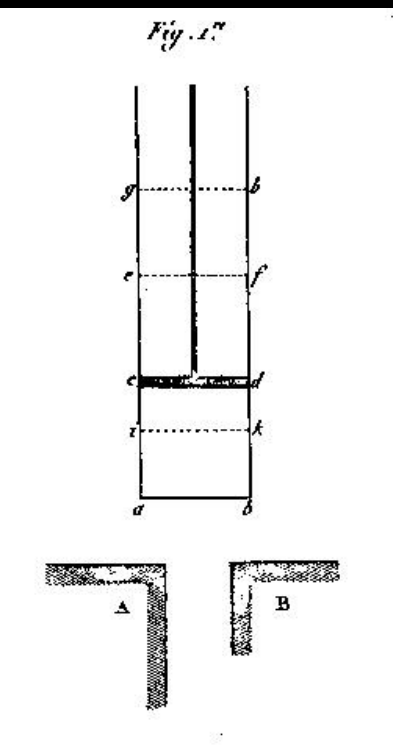


„3. Ciało A zostaje usunięte i powietrze nie styka się z żadnym ciałem zdolnym dostarczyć mu ciepła. Tłok jednak nadal kontynuuje ruch i przechodzi z położenia *ef* do położenia *gb*. Powietrze zostaje rozrzedzone bez otrzymywania ciepła i jego temperatura spada. Załóżmy, że obniża się ona aż do zrównania się z temperaturą ciała B; wtedy tłok przestaje się poruszać i pozostaje w położeniu *gb*.

4. Powietrze zostaje doprowadzone do zetknięcia z ciałem B i zostaje sprężone przez tłok, który powraca z położenia *gb* do *cd*.

Powietrze utrzymuje stałą temperaturę dzięki kontaktowi z ciałem B, któremu oddaje swój ciepłik.”





„5. Ciało B zostaje usunięte, a sprężanie gazu trwa nadal. Temperatura powietrza, teraz izolowanego, podnosi się. Sprężanie trwa aż do osiągnięcia przez powietrze temperatury ciała A. W tym czasie tłok przesuwają się z położenia *cd* do *ik*.

6. Powietrze znów zostaje zetknięte z ciałem A; tłok powraca z położenia *ik* do *ef*, a temperatura pozostaje stała.

7. Czynność nr 3 zostaje powtórzona, a następnie operacje 4, 5, 6, 3, 4, 5, 6, 3, 4, 5, i tak dalej.”

„Podczas tych różnych czynności powietrze zawarte w naczyniu wywiera ciśnienie na tłok; siła sprężysta tego powietrza zmienia się z objętością, jak również z temperaturą. Powinniśmy jednak zauważyć, że przy jednakowych objętościach, to znaczy przy podobnych położeniach tłoka, temperatura jest wyższa przy rozprężaniu, niż przy sprężaniu. Przy tym pierwszym zatem siła sprężysta powietrza jest większa, a dzięki temu ilość mocy poruszającej wytworzonej przy rozprężaniu jest większa, niż jej ilość zużyta na wykonanie sprężenia. Pozostaje nadwyżka mocy poruszającej, którą możemy wykorzystać do dowolnego celu. Powietrze posłużyło więc jako maszyna cieplna i zostało użyte w najbardziej korzystny sposób, ponieważ nie zaszło żadne bezużyteczne przywrócenie równowagi w ciepliku.

Wszystkie czynności opisane wyżej mogą być wykonane w kierunku odwrotnym.”

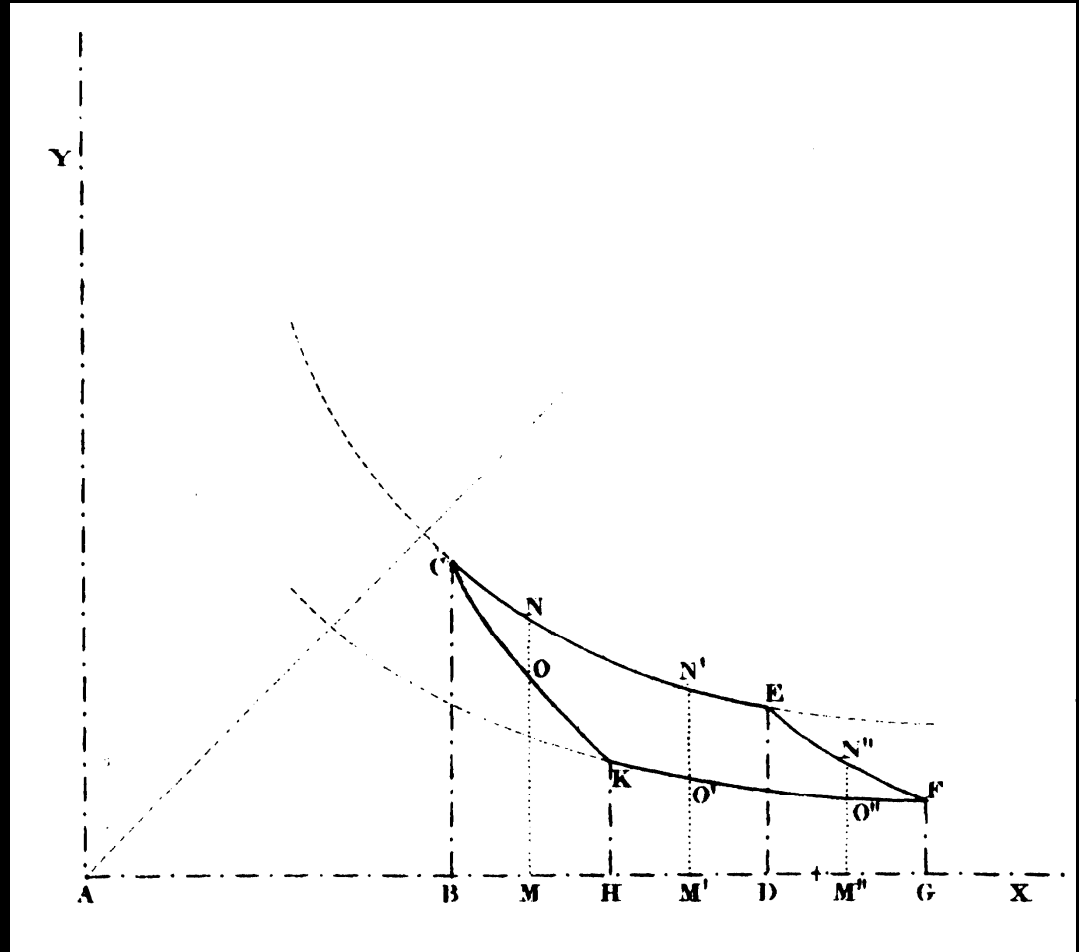
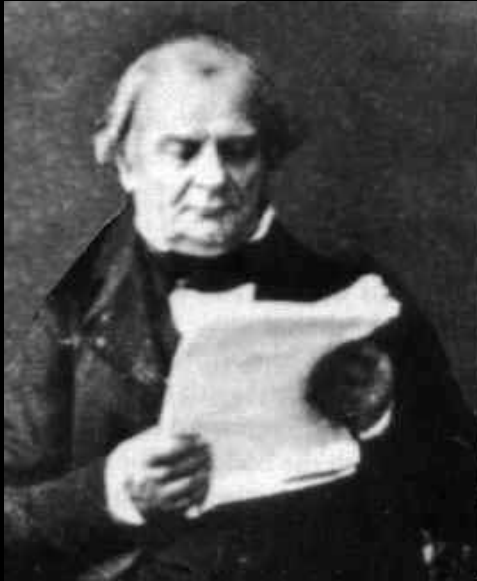


„Wybraliśmy powietrze atmosferyczne jako czynnik do uzyskania mocy poruszającej ognia, ale jest oczywiste, że takie samo rozumowanie

byłoby słuszne dla jakiegokolwiek innego gazu, a także dla wszystkich innych ciał wykazujących zmiany temperatury przy ściskaniu i rozprężaniu - to znaczy dla wszystkich ciał przyrody, a w każdym razie tych, które są zdolne do wytwarzania mocy poruszającej ognia. Możemy więc ustalić następujące ogólne twierdzenie:

Moc poruszająca ciepła jest niezależna od czynników użytych do jej uzyskania. Jej ilość jest wyznaczona wyłącznie przez temperatury ciał, między którymi zachodzi w rachunku końcowym przenoszenie ciepła.”

Carnot, *Uwagi o mocy poruszającej ognia...* (1824)



Cykl Carnota w postaci graficznej dziś używanej wprowadził dopiero Émile Clapeyron w 1834 r.

Odkrycie zasady zachowania energii



Julius Robert Mayer (1814-1878)

Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur (1842)



James Prescott Joule (1818-1889)

On the calorific effects of magneto-electricity and on the mechanical value of heat (1843)



Hermann Helmholtz (1821-1894)

Über die Erhaltung der Kraft (1847)

Odkrycie zasady zachowania energii „wisiąło w powietrzu” od około 1830 roku.

Wielu uczonych wypowiedało się na ten temat, na przykład

Sadi Carnot (< 1832),

Carl Friedrich Mohr (1837),

Marc Seguin (1839),

Michael Faraday (1840),

Justus Liebig (1844),

Karl Holtzmann (1845),

William Robert Grove (1846),

Ludvig August Colding (1851),

Gustave Adolph Hirn (1854)

Były to jednak na ogół wypowiedzi ogólnikowe, nie poparte nowymi danymi eksperymentalnymi lub analizą danych istniejących

Przykład: „Z niczego siła powstać nie może... Ciepło, elektryczność i magnetyzm, są w podobnym względzie siebie stosunku, jak equivalenty chemiczne, węgla, cynku i kwasorodu. Przez pewną masę elektryczności wyrabiamy odpowiednią ilość ciepła albo siły magnetycznej, które są równoważne; tę siłę elektryczną nabywamy powinowactwem chemiczném, którego używając w jédnej postaci, wydobywamy ciepło, w innéj elektryczność lub magnetyzm...”

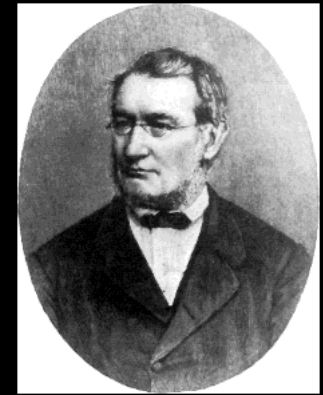
Justus Liebig, *Chemische Briefe* (1844);
tłum. polskie, *Listy o chemii*, Warszawa 1845



„Siły są przyczynami, wobec czego można do nich w pełni zastosować zasadę: *causa aequat effectum* [przyczyna jest równa skutkowi]. Jeżeli przyczyna c ma skutek e , to $c = e$; jeżeli z kolei e jest przyczyną wywołującą następny skutek f , to $e = f$ i stąd $c = e = f \dots = c$. W łańcuchu przyczyn i skutków żaden wyraz ani jego część nie może - jak to wynika z natury równania - stać się zerem. Tę pierwszą właściwość wszystkich przyczyn nazywamy ich **niezniszczalnością**.”

Mayer, *Annalen der Chemie und Pharmacie* (1842)

„Jeżeli dana przyczyna c wywołała równy sobie skutek e , to tym sposobem przestała istnieć: c stało się e ; gdyby po wywołaniu e c pozostało w całości lub w części, to tej pozostałej przyczynie musiałyby odpowiadać jeszcze dalsze skutki, całkowity skutek c byłby więc $> e$, co byłoby sprzeczne z założeniem $c = e$. Wobec tego, ponieważ c staje się e , e staje się f itd., musimy te różne wielkości uważać za różne formy, pod którymi przejawia się jeden i ten sam obiekt. Zdolność przybierania różnych postaci jest drugą istotną właściwością wszystkich przyczyn. Łącząc obie właściwości możemy powiedzieć, że przyczyny są obiektami (ilościowo) **niezniszczalnymi** i (jakościowo) **przekształcalnymi**...”



Mayer, *Annalen der Chemie und Pharmacie* (1842)

„Stosując wyżej ustalone zasady do związków istniejących między temperaturą i objętością gazów, znajdujemy, że spadek słupa rtęci cisnącego na gaz jest równoważny ilości ciepła wywiązywanego przy tym ściskaniu; stąd zaś wynika - przy założeniu, że stosunek pojemności cieplnej powietrza przy stałym ciśnieniu i pojemności przy stałej objętości = 1,421 - iż ogrzanie danego ciężaru wody od 0° do 1° odpowiada spadkowi równego ciężaru z wysokości około 365 metrów. Jeżeli porównamy ten wynik z pracą naszych najlepszych maszyn parowych, to widzimy, że tylko mała część ciepła użytego pod kotłem jest rzeczywiście zamieniana na ruch lub podniesienie ciężaru; to zaś może służyć jako uzasadnienie prób użytecznego wytworzenia ruchu na innej drodze niż zużywanie różnicy chemicznej między węglem i tlenem, a mianowicie - przez przekształcanie w ruch elektryczności otrzymanej środkami chemicznymi.”



240 Mayer, *Bemerkungen über die Kräfte der unbelobten Natur.*

Falkkraft und Bewegung stathabenden Gleichungen mußte der Fallraum für eine bestimmte Zeit, z. B. für die erste Secunde durch das Experiment bestimmt werden; gleichermassen ist zur Auflösung der zwischen Falkkraft und Bewegung einer- und der Wärme andersorts bestehenden Gleichungen die Frage zu beantworten, wie groß das einer bestimmten Menge von Falkkraft oder Bewegung entsprechende Wärmequantum sey. Z. B. wir müssen ausfindig machen, wie hoch ein bestimmtes Gewicht über den Erdboden erhoben werden müsse, daß seine Falkkraft äquivalent sey der Erwärmung eines gleichen Gewichtes Wasser von 0° auf 1° C.? Daß eine solche Gleichung wirklich in der Natur begründet sey, kann als das Resümé des bisherigen betrachtet werden.

Unter Anwendung der aufgestellten Sätze auf die Wärme- und Volumensverhältnisse der Gasarten findet man die Senkung einer ein Gas comprimirenden Quecksilbersäule gleich der durch die Compression entbundenen Wärmemenge und es ergibt sich hieraus, — den Verhältnißexponenten der Capacitäten der atmosphärischen Luft unter gleichem Drucke und unter gleichem Volumen = 1,421 gesetzt, daß dem Herabsinken eines Gewichtstheiles von einer Höhe circa 365^m, die Erwärmung eines gleichen Gewichtstheiles Wasser von 0° auf 1° entspreche. Vergleicht man mit diesem Resultate die Leistungen unserer besten Dampfmaschinen, so sieht man, wie nur ein geringer Theil der unter dem Kessel angebrachten Wärme in Bewegung oder Leistung dienen, für die Versuche, Bewegung auf anderem Wege als durch Aufopferung der chemischen Differenz von C und O namentlich also durch Verwandlung der auf chemischem Wege gewonnenen Elektricität in Bewegung, auf ersprießliche Weise darstellen zu wollen.

Znane formy siły według Mayera (1845)

I Siła ciężkości

II Ruch

A Prosty

B Falowy, drgający

III

Ciepło

IV

Magnetyzm

Elektryczność,

prąd galwaniczny

V Chemiczne rozdzielanie

pewnych substancji

Chemiczne wiązanie

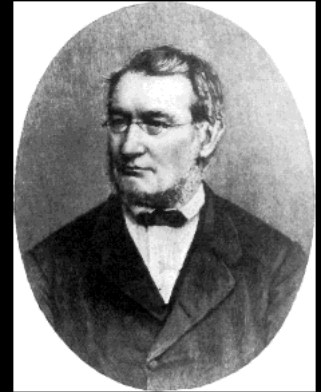
pewnych innych substancji

**Nieważkie
fluidy**

Siły chemiczne

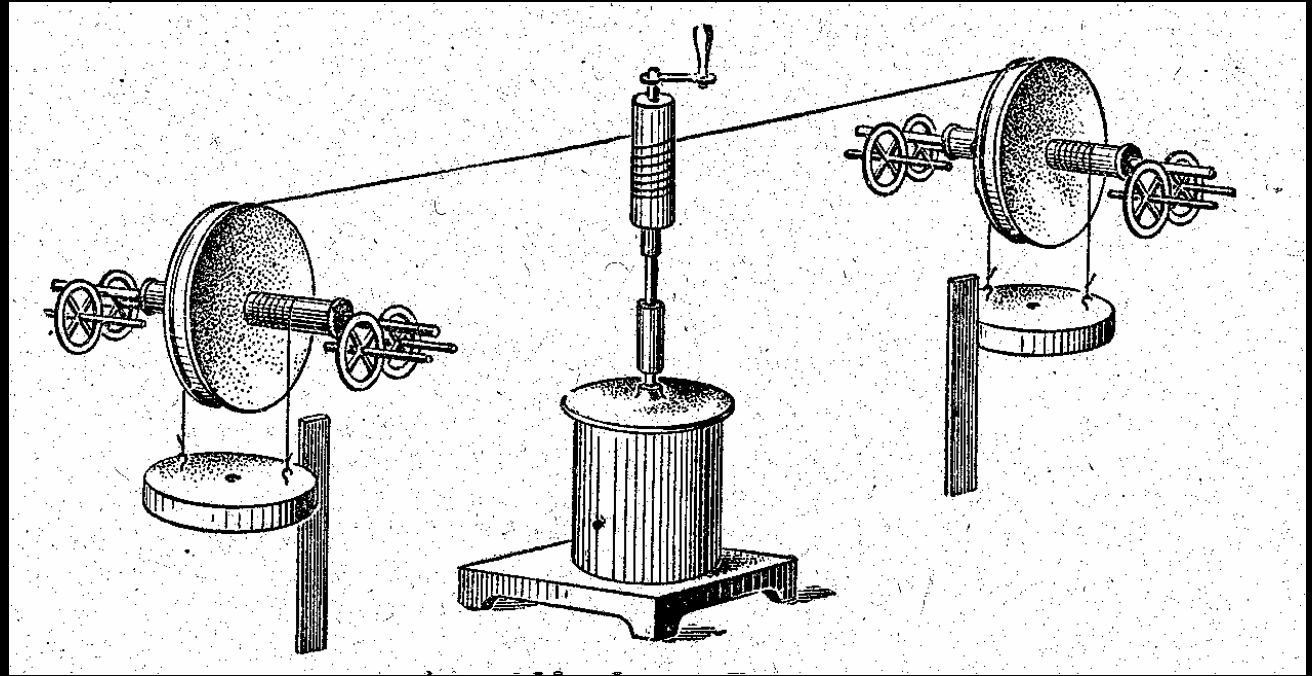
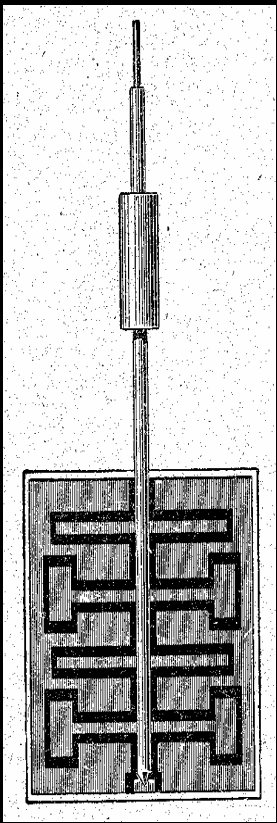
Zasada zachowania energii w sformułowaniu Mayera

„Przy wszystkich procesach fizycznych i chemicznych dana siła pozostaje wielkością stałą”



„Ruch organiczny w związku z wymianą substancji” (1845)

Joule: Mechaniczny równoważnik ciepła



„Ilość ciepła potrzebna do podniesienia temperatury funta wody o jeden stopień Fahrenheita jest równoważna sile mechanicznej zdolnej do podniesienia 838 funtów prostopadle na wysokość jednej stopy i może zostać w tę siłę przekształcona...”

(Mechaniczny równoważnik ciepła = 460 Kgm/cal) [Joule (1843)]

Najdokładniejszy wynik późniejszych eksperymentów: 432.852 Kgm/cal

Treść pracy „O zachowaniu siły” Hermanna Helmholtza

Wstęp

- I. Zasada zachowania siły żywej
- II. Zasada zachowania siły
- III. Zastosowanie zasady w twierdzeniach mechanicznych
- IV. Równoważnik siłowy ciepła
- V. Równoważnik siłowy procesów elektrycznych
- VI. Siłowy równoważnik magnetyzmu i elektromagnetyzmu



„Sądzę, że to, co podałem wyżej, wykazuje, iż omawiane prawo nie przeczy żadnemu ze znanych dotychczas faktów z nauk przyrodniczych, jest natomiast przez wiele faktów potwierdzone w uderzający sposób. Starąłem się możliwie wyczerpująco przedstawić wnioski, które wynikają z zestawienia tego prawa z innymi już znanymi prawami przyrody, i które muszą jeszcze czekać na potwierdzenie doświadczalne. Celem tego badania, który usprawiedliwi jego część hipotetyczną, było możliwie dokładne przedstawienie fizykom teoretycznego, praktycznego i heurystycznego znaczenia tego prawa, którego całkowite potwierdzenie musi zostać uznane za główne zadanie w najbliższej przyszłości fizyki.”

Zjazd BAAS w Oxfordzie, czerwiec 1847 r.



Pierwsze spotkanie
William Thomsona
i James Joule'a



„Jestem pewien, że wiele idei
Joule'a jest błędnych...”

[Thomson w liście do ojca, 1 VII 1847 r.]

O sile poruszającej ciepła (1850)

Można pogodzić idee
Carnota i Joule'a

1. Podczas wytwarzania
pracy z ciepła część
ciepła ginie
2. Ciepło zawsze przepływa
od ciał gorętszych do
zimniejszych



Rudolf Clausius
(1822-1888)

- „1. W świecie materialnym istnieje uniwersalne dążenie do dysypacji energii mechanicznej.
2. W procesach materii nieożywionej nie jest możliwe przywrócenie energii mechanicznej bez wkładu więcej niż równoważnego dysypacji; przypuszczalnie także taki proces nigdy nie zachodzi w materii ożywionej, czy to w roślinach, czy też w zwierzętach.”

W. Thomson – *On a Universal Tendency in Nature to the Dissipation of Mechanical Energy* (1852)

Utrwalanie się terminologii

Helmholtz - siła żywa (*Lebende Kraft*) i siła napięcia (*Spannkraft*)

W. J. Macquorn **Rankine** (1853) zasada zachowania **energii**:

„termin energia można stosować do zwykłego ruchu i pracy mechanicznej, działań chemicznych, ciepła, elektryczności, magnetyzmu i wszystkich innych sił, znanych i nieznanych, które są w nie przekształcalne.”



William Thomson - energia statyczna i dynamiczna

Rankine - energia potencjalna albo utajona

oraz energia aktualna albo dostrzegalna

William Thomson i Peter Guthrie **Tait** - *Treatise on natural philosophy* (1867) energia potencjalna i energia kinetyczna

Druga zasada termodynamiki (1850-1851)



„Niemożliwy jest samorzutny przepływ ciepła od ciała mniej nagrzanego do ciała gorętszego” (1850, 1854)

Rudolf Clausius
(1822-1888)

„Niemożliwe jest otrzymanie pracy mechanicznej z jakiegokolwiek układu materialnego przez oziębienie go poniżej temperatury najzimniejszego z otaczających obiektów” (1851)



William Thomson
(1824-1907)

Twórcy fizyki statystycznej



Rudolf Emanuel Clausius
(1822-1888)

**James Clerk
Maxwell**
(1831-1879)



Ludwig Eduard Boltzmann
(1844-1906)

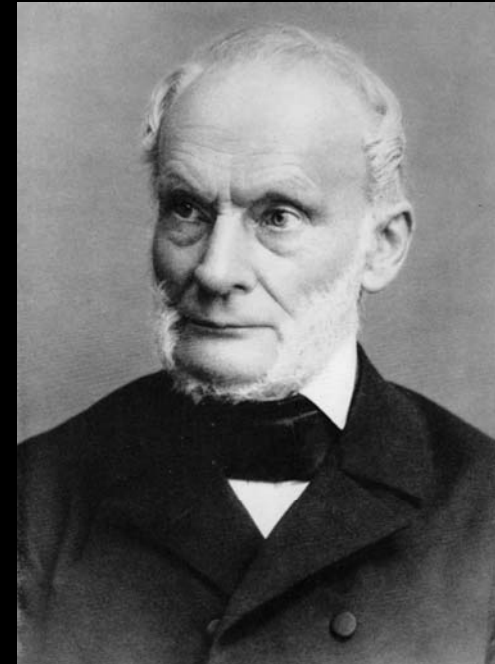
Josiah Willard Gibbs
(1839-1903)



„Jeśli wielkość (którą w odniesieniu do pojedynczego ciała nazwałem entropią), weźmiemy pod uwagę jako obliczoną w spójny sposób, z rozważeniem wszystkich okoliczności, dla całego wszechświata i jeżeli ponadto skorzystamy z prostego pojęcia energii, to możemy wyrazić fundamentalne prawa wszechświata, odpowiadające dwóm podstawowym zasadom mechanicznej teorii ciepła, w następującej prostej postaci:

1. Energia wszechświata jest stała.
2. Entropia wszechświata dąży do maksimum.”

Clausius, *Ann. Phys. & Chem.* **125**, 353 (1865)





Ludwig Boltzmann

1868 rozkład energii cząsteczek
w obecności zewnętrznego pola

1877 $S = k \log W$

związek entropii
z prawdopodobieństwem
termodynamicznym

1872 *Dalsze studia nad równowagą
cieplną cząsteczek gazu*
(„twierdzenie H”); opis ewolucji
układu w czasie

Walka ze zwolennikami Energetyzmu
(Wilhelm Ostwald, Ernest Mach i in.)

„Wtedy, kiedy ukazała się pierwsza część *Teorii gazów*, rękopis drugiej i ostatniej części był już prawie całkowicie skończony... Wtedy właśnie ataki na teorię kinetyczną gazów przybrały na sile. Jestem przekonany, że ataki te opierają się tylko na niezrozumieniu i że znaczenie teorii gazów dla nauki nie zostało jeszcze docenione... Moim zdaniem byłoby wielką tragedią dla nauki, gdyby teoria gazów została zepchnięta w zapomnienie przez tych, którzy dzisiaj są jej przeciwnikami, podobnie jak to się stało z falową teorią światła ze względu na autorytet Newtona. W pełni zdaję sobie sprawę z bezsilności jednego człowieka w obliczu opinii podzielanej przez większość. Mogę jednak chociaż zrobić tyle, żeby mieć pewność, że kiedy ludzkość wróci do badania teorii gazów, nie trzeba będzie odkrywać na nowo zbyt wielu znanych już rzeczy. Dlatego w tej części postaram się wyłożyć najbardziej trudne i niejasne rozdziały teorii tak prosto i zrozumiale, jak to tylko jest możliwe.”

L. Boltzmann, *Vorlesungen über Gastheorie*, 1898

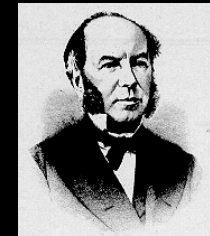
Skraplanie gazów 1

1822 Charles Cagniard de la Tour - stan krytyczny

> 1825 Michael Faraday - skroplenie gazów
z wyjątkiem kilku „trwałych”
(H_2 , N_2 , O_2 , CO , NO , CH_4)



1861 Thomas Andrews - punkt krytyczny
(izotermy CO_2)



1873 Johannes Van der Waals



1877 Louis Cailletet, Raoul Pictet -
dynamiczne skroplenie powietrza



Skraplanie gazów 2

1883

Karol Olszewski, Zygmunt Wróblewski
statyczne skroplenie powietrza,
tlenu, azotu, tlenku węgla



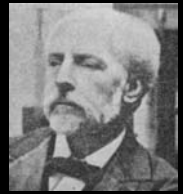
1894

Olszewski - skroplenie argonu



1898

James Dewar - skroplenie wodoru



1908

Heike Kamerlingh-Onnes - skroplenie
helu



1911

Kamerlingh Onnes - nadprzewodnictwo

1927

Willem Keesom, Mieczysław Wolfke -
hel II

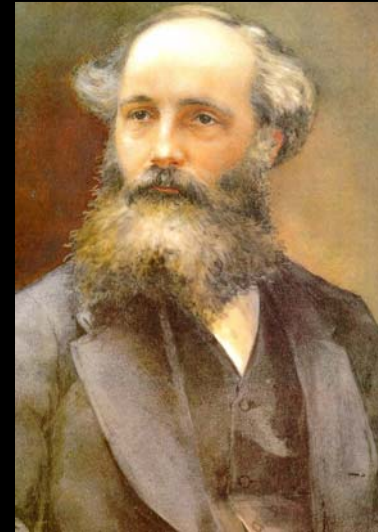


1938

Piotr Kapica, John Allen - nadciekłość
helu II

Synteza Maxwella

James Clerk Maxwell



13 VI 1831	Urodził się w Edynburgu
1847 - 1850	Studia w Edynburgu
1850 - 1854	Studia w Cambridge
1855 - 1856	<i>Faraday's Lines of Force</i>
1856 - 1860	Profesor w Aberdeen
1860 - 1865	Profesor w King's College w Londynie
1859	<i>Stability of the Motion of Saturn's rings</i>
1859	<i>Illustrations of the Dynamical Theory of Gases</i>
1861 - 1862	<i>On Physical Lines of Force</i>
1864	<i>A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field</i>
od 1871	Profesor fizyki doświadczalnej w Cavendish Laboratory
1873	<i>Treatise on Electricity and Magnetism</i>
5 XI 1879	Zmarł w Cambridge

„Zakładam, że „ośrodek magnetyczny” dzieli się na małe części lub komórki, przy czym granice, czyli ścianki komórek są złożone z pojedynczej warstwy cząstek sferycznych, które stanowią „elektryczność”. Przyjmuję, że substancja tych komórek jest wysoce sprężysta, zarówno gdy chodzi o ściskanie jak odkształcanie; zakładam także, że istnieje związek między komórkami i cząstkami w ich ściankach taki, że występuje między nimi doskonałe toczenie się bez ślizgania i że działają na siebie stycznie.”



**List Maxwella do Williama Thomsona
10 XII 1861 r.**



„Zamierzam atakować elektryczność...”

„Następnie znajduję, że jeśli komórki zostają wprowadzone w obrót, to ośrodek wywiera naprężenie równoważne ciśnieniu hydrostatycznemu połączonemu z napięciem podłużnym wzdłuż osi rotacji. Jeśli są dwa podobne układy, jeden: układ magnesów, prądów elektrycznych i ciał podatnych na indukcję magnetyczną, a drugi złożony z komórek i ich ścianek, przy czym gęstość komórek jest wszędzie proporcjonalna do zdolności indukcji magnetycznej w odpowiednim punkcie drugiego układu, a wielkość i kierunek komórek - proporcjonalna do siły magnetycznej, to:”



**List Maxwella do Williama Thomsona
10 XII 1861 r.**



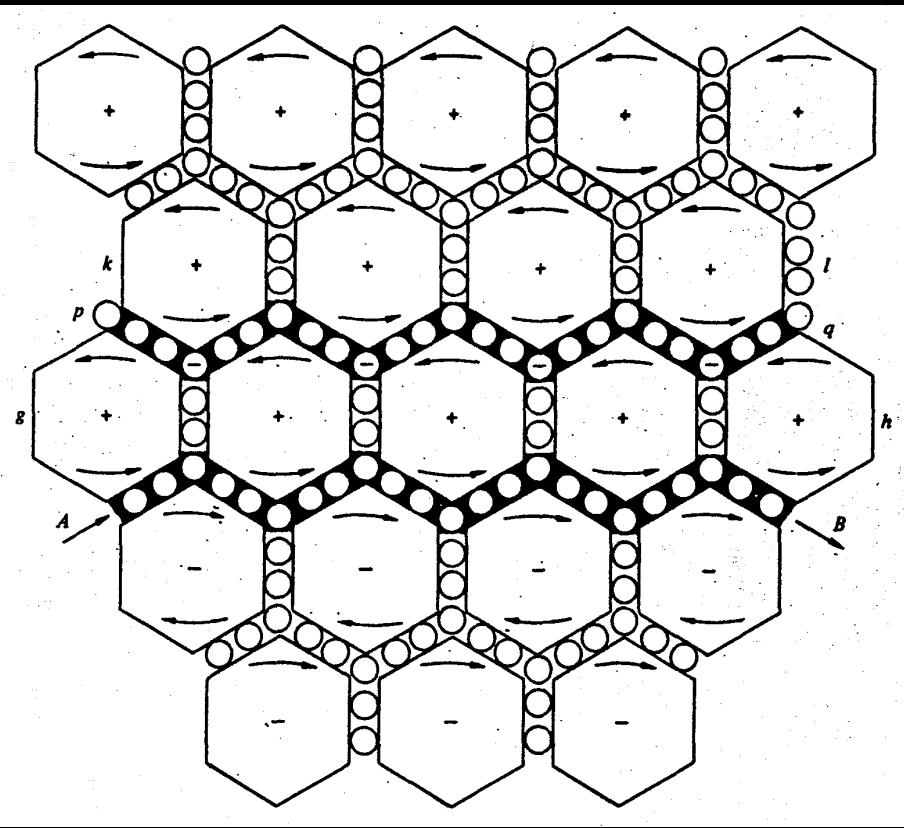
- „1. Wszystkie siły mechaniczne w jednym układzie będą proporcjonalne do sił powstających w drugim układzie wskutek siły odśrodkowej.
2. Wszystkie prądy elektryczne w jednym układzie będą proporcjonalne do prądów cząstek tworzących ścianki komórek w drugim układzie.
3. Wszystkie siły elektromotoryczne w jednym układzie, czy to powstające wskutek zmian położenia magnesów lub prądów, czy wskutek ruchu przewodników, czy wreszcie wskutek zmian natężenia magnesów lub prądów, będą proporcjonalne do sił działających na cząstki ścianek komórek wynikających ze stycznego działania rotujących komórek, gdy ich prędkość rośnie lub maleje.”

List Maxwella do Williama Thomsona (cd.)

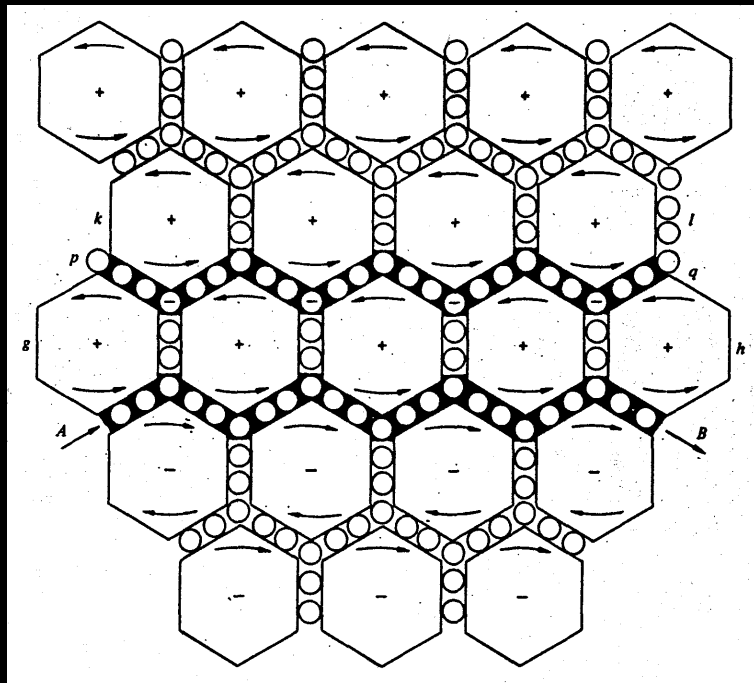
„4. Jeśli w ciele nieprzewodzącym wzajemne ciśnienie ścianek komórek (co odpowiada napięciu elektrycznemu) zmniejsza się w danym kierunku, to cząstki będą pchane w tym kierunku, ale przeciwdziałać temu będzie ich powiązanie z substancją komórek. Wobec tego cząstki te wytwarzają naprężenie w komórkach dopóki wspomniana sprężystość nie zrównoważy dążenia cząstek do ruchu. Wystąpi zatem przesunięcie cząstek proporcjonalne do siły elektromotorycznej, a gdy siła ta zostanie usunięta, przesunięcie cząstek zniknie...”

List Maxwella do Williama Thomsona (cd.)

Maxwell, *On the physical lines of force* (1861)



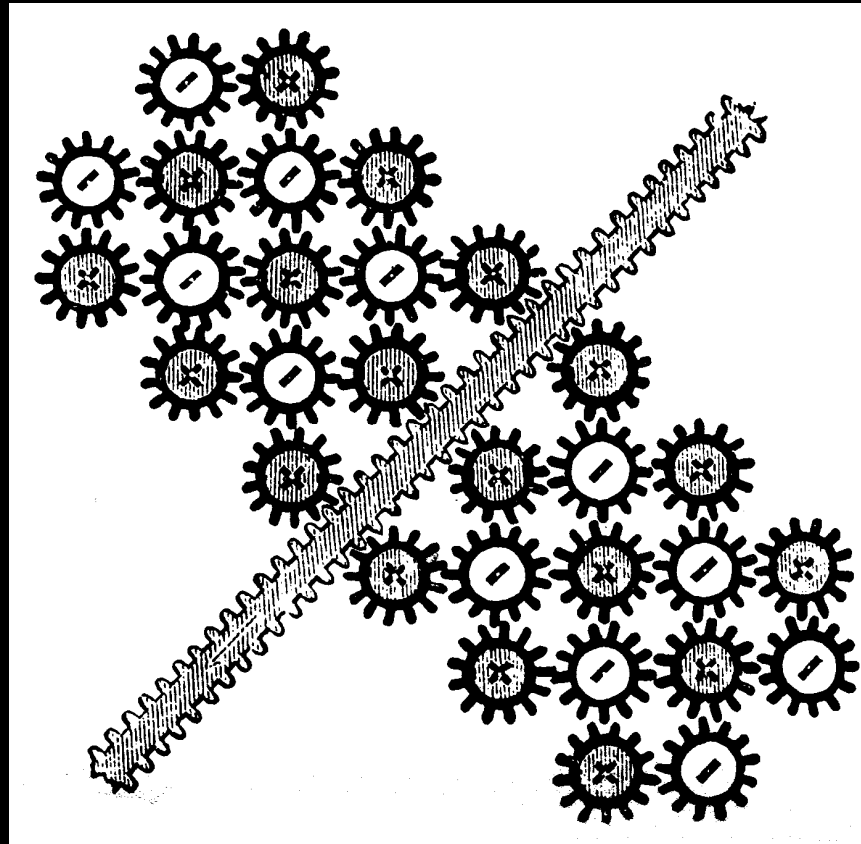
„Niech AB przedstawia prąd elektryczny w kierunku od A do B. Niech duże przestrzenie ponad i poniżej AB przedstawiają wiry, a małe kółka oddzielające wiry - umieszczone między nimi warstwy cząstek, które w naszej hipotezie przedstawiają elektryczność.



Maxwell, *On the physical lines of force* (1861)

„Niech teraz prąd elektryczny płynący z lewa na prawo zaczyna się w AB. Warstwa wirów *gh* ponad AB zostanie wprowadzona w ruch w kierunku przeciwnym do wskazówek zegara (nazwiemy ten

kierunek + , a kierunek wskazówek zegara –). Przypuśćmy, że warstwa wirów *kl* jest w spoczynku, wówczas warstwa cząstek między tymi warstwami będzie odczuwała działanie *gh* od dołu i będzie w spoczynku od góry. Jeżeli cząstki te mogą się swobodnie poruszać, to zaczną się obracać w kierunku –, a jednocześnie będą się poruszały z prawa na lewo, czyli w kierunku przeciwnym do prądu, będą więc stanowiły prąd *indukowany*.”



Przedstawienie wirów Maxwella przez Olivera Lodge'a (*Modern Views on Electricity*, 1889). Pręt reprezentuje ładunki elektryczne; kiedy płynie prąd, porusza się on, wprawiając w ruch kółka (+) które dają efekt pola magnetycznego. Kółka oznaczone (-) służą jedynie do wprawiania w ruch kółek bardziej odległych.

James Clerk Maxwell, **Dynamiczna teoria pola elektromagnetycznego**
Philosophical Transactions 155,459 (1865)

„1. Najbardziej oczywistym zjawiskiem mechanicznym w doświadczeniach elektrycznych i magnetycznych jest oddziaływanie, wskutek którego ciała w pewnych stanach wprawiają się nawzajem w ruch pozostając jeszcze w pewnej odległości od siebie. Pierwszym więc krokiem w sprowadzeniu tych zjawisk do postaci naukowej jest sprawdzenie wielkości i kierunku siły działającej między ciałami; kiedy stwierdzi się, że ta siła zależy w pewien sposób od względnego położenia ciał i od ich stanu elektrycznego i magnetycznego, to wydaje się na pierwszy rzut oka naturalne wyjaśnienie faktów jeśli przyjąć istnienie w każdym z tych ciał czegoś w spoczynku lub w ruchu. co sprawia ich stan elektryczny i magnetyczny i jest zdolne do działania na odległość według praw matematycznych.”

James Clerk Maxwell, **Dynamiczna teoria pola elektromagnetycznego**,
Philosophical Transactions 155,459 (1865)

„W ten sposób utworzono teorie matematyczne elektryczności statycznej, magnetyzmu, działania mechanicznego między przewodnikami z prądem oraz indukcji prądów. W tych teoriach siłę działającą między dwoma ciałami rozważa się tylko w odniesieniu do stanu tych ciał i ich względnego położenia nie biorąc wcale pod uwagę otaczającego ośrodka.

W teoriach tych zakłada się mniej lub bardziej bezpośrednio istnienie substancji, których cząstki są obdarzone właściwością działania na siebie na odległość siłą przyciągającą lub odpychającą. Najbardziej kompletną teorią tego rodzaju jest teoria W. Webera, któremu udało się objąć jedną teorią zjawiska elektrostatyczne i elektrodynamiczne. Stwierdził przy tym, że jest konieczne założenie, iż siła między dwiema cząstkami elektrycznymi zależy od ich względnej prędkości jak również od odległości.”

„Teoria ta, rozwinięta przez panów W. Webera i C. Neumanna, jest wyjątkowo pomysłowa i zadziwiająco wszechstronna w zastosowaniu do zjawisk elektryczności statycznej, przyciągań elektromagnetycznych, indukcowania prądów oraz zjawisk diamagnetyzmu; znaczenie tej teorii jest tym większe, że posłużyła ona ukierunkowaniu spekulacji człowieka, który przyczynił się do tak wielkiego postępu w praktycznej części nauki o elektryczności wprowadzając spójny układ jednostek do pomiarów elektrycznych i wyznaczając wielkości elektryczne z dokładnością przedtem nieznaną.

2. Jednakże trudności mechaniczne występujące przy założeniu, że cząstki oddziałują na odległość siłami zależnymi od prędkości są takie, że wstrzymują mnie przed uznaniem tej teorii za ostateczną, chociaż mogła ona być użyteczna i nadal może nas prowadzić w porządkowaniu zjawisk.”

„Dlatego też wolę szukać innego wyjaśnienia zjawisk zakładając, że powodują je działania zachodzące zarówno w otaczającym ośrodku jak i we wzbudzonych ciałach; staram się wyjaśnić oddziaływanie między odległymi ciałami nie zakładając istnienia sił działających bezpośrednio na odległość.

3. Teorię, którą tu proponuję, można nazwać teorią pola elektromagnetycznego, ponieważ dotyczy ona przestrzeni otaczającej ciała elektryczne i magnetyczne, można ją też nazwać teorią dynamiczną, gdyż przyjmuje się w niej, że w tej przestrzeni występuje poruszająca się materia, za której pośrednictwem powstają obserwowane zjawiska elektromagnetyczne.”

„4. Pole elektromagnetyczne to ta część przestrzeni, która zawiera w sobie i otacza ciała znajdujące się w stanie elektrycznym lub magnetycznym.

Przestrzeń ta może być wypełniona dowolną materią, ale możemy także starać się opróżnić ją z materii, jak to się dzieje w rurkach Geisslera i innych tak zwanych rurkach próżniowych.

Jednak zawsze pozostaje dostatecznie dużo materii dla pochłaniania i przenoszenia ruchu falowego światła i ciepła. Ponieważ przenoszenie tych promieni nie bardzo się zmienia, gdy miejsce tak zwanej próżni zajmą ciała przezroczyste o mierzalnej gęstości, musimy przyznać, że te falowania odnoszą się do eteru, a nie do materii, której obecność jedynie w pewien sposób modyfikuje ruch eteru.”

„5. Energia przekazywana ciału przy jego ogrzewaniu musi uprzednio istnieć w poruszającym się ośrodku, ponieważ falowania opuszczają źródło ciepła jakiś czas przed dotarciem do tego ciała i przez ten czas energia musi w połowie być zawarta w ruchu ośrodka, a w połowie - w postaci naprężeń sprężystych.

Na podstawie takich rozważań profesor Thomson wykazał, że ten ośrodek musi mieć gęstość porównywalną z gęstością zwykłej materii i nawet wyznaczył dolną granicę tej gęstości.”

„6. Istnienie przenikającego wszystko ośrodka o małej lecz niezerowej gęstości, ośrodka, który może być wprawiany w ruch i przekazywać ten ruch między swymi częściami z prędkością wielką, lecz skończoną, musimy zatem przyjąć jako wniosek wyciągnięty z innej, niezależnej, gałęzi nauki.

Części tego ośrodka muszą być więc tak z sobą powiązane, że ruch jednej części zależy w jakiś sposób od ruchu reszty, przy tym te powiązania muszą umożliwiać przesunięcia sprężyste, ponieważ przekazywanie ruchu nie następuje natychmiastowo, lecz wymaga czasu...”

„...Te wyniki wyrażam w postaci Ogólnych Równań Pola

Elektromagnetycznego. Równania te wyrażają:

- (A) Związek między przesunięciem elektrycznym, rzeczywistym przewodnictwem i prądem całkowitym, będącym sumą tych dwu.
- (B) Związek między liniami siły magnetycznej i współczynnikami indukcji obwodu, wyprowadzonymi z praw indukcji.
- (C) Związek między natężeniem prądu i jego skutkiem magnetycznym, zgodnie z elektromagnetycznym układem jednostek.
- (D) Wartość siły elektromotorycznej powstającej w ciele wskutek jego ruchu w polu, zmianę samego pola oraz zmienność potencjału elektrycznego w różnych miejscach pola.
- (E) Związek między przesunięciem elektrycznym i siłą elektromotoryczną, która je wywołuje.
- (F) Związek między prądem elektrycznym i siłą elektromotoryczną, która go wywołuje.
- (G) Związek między ilością ładunku swobodnego w danym punkcie i przesunięciem elektrycznym w jego sąsiedztwie.
- (H) Związek między wzrostem lub zmniejszaniem się ładunku swobodnego i prądem elektrycznym w sąsiedztwie.

Łącznie tych równań jest dwadzieścia i zawierają one dwadzieścia niewiadomych wielkości.

the same field with a magnet, I shew the distribution of its equipotential magnetic surfaces, cutting the lines of force at right angles.

In order to bring these results within the power of symbolical calculation, I then express them in the form of the General Equations of the Electromagnetic Field. These equations express—

- (A) The relation between electric displacement, true conduction, and the total current, compounded of both.
- (B) The relation between the lines of magnetic force and the inductive coefficients of a circuit, as already deduced from the laws of induction.
- (C) The relation between the strength of a current and its magnetic effects, according to the electromagnetic system of measurement.
- (D) The value of the electromotive force in a body, as arising from the motion of the body in the field, the alteration of the field itself, and the variation of electric potential from one part of the field to another.
- (E) The relation between electric displacement, and the electromotive force which produces it.
- (F) The relation between an electric current, and the electromotive force which produces it.
- (G) The relation between the amount of free electricity at any point, and the electric displacements in the neighbourhood.
- (H) The relation between the increase or diminution of free electricity and the electric currents in the neighbourhood.

There are twenty of these equations in all, involving twenty variable quantities.

(19) I then express in terms of these quantities the intrinsic energy of the Electromagnetic Field as depending partly on its magnetic and partly on its electric polarization at every point.

From this I determine the mechanical force acting, 1st, on a moveable conductor carrying an electric current; 2ndly, on a magnetic pole; 3rdly, on an electrified body.

The last result, namely, the mechanical force acting on an electrified body, gives rise to an independent method of electrical measurement founded on its

Dwadzieścia „równań Maxwella”

Maxwell w swych pracach, jak również w *Traktacie o elektryczności i magnetyzmie* pisał równania używając jeszcze tylko współrzędnych lub notacji kwaternionów

Nie znajdziemy tam równań Maxwella w znanej obecnie postaci

Rachunek wektorowy wprowadzili do fizyki głównie Oliver Heaviside i Josiah Gibbs

Równania Maxwella w obecnie używanej postaci wprowadził pierwszy **Oliver Heaviside** w 1885 roku



EQUATIONS OF:	MAXWELL'S NOTATION	VECTOR NOTATION
Magnetic Induction (A)	$a = \frac{dH}{dy} - \frac{dG}{dz}$ $b = \frac{dF}{dz} - \frac{dH}{dx}$ $c = \frac{dG}{dx} - \frac{dF}{dy}$	$\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}$
Electromotive Intensity (B)	$P = c \frac{dy}{dt} - b \frac{dz}{dt} - \frac{dF}{dt} - \frac{d\psi}{dx}$ $Q = a \frac{dz}{dt} - c \frac{dx}{dt} - \frac{dG}{dt} - \frac{d\psi}{dy}$ $R = b \frac{dx}{dt} - a \frac{dy}{dt} - \frac{dH}{dt} - \frac{d\psi}{dz}$	$\mathbf{E} = \dot{\mathbf{r}} \times \mathbf{B} - \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} - \nabla \phi$
Mechanical Force (C)	$X = cv - bw - c \frac{d\psi}{dx} - m \frac{d\Omega}{dx}$ <p>(First equation only.)</p>	$\mathbf{F} = \mathbf{J}_T \times \mathbf{B} + c\mathbf{E} - m\nabla\Omega$ <i>(\mathbf{J}_T includes displacement current.)</i>
Magnetization (D)	$a = \alpha + 4\pi A,$ $b = \beta + 4\pi B,$ $c = \gamma + 4\pi C.$	$\mathbf{B} = \mathbf{H} + 4\pi\mathbf{M}$
Electric Currents (E)	$4\pi u = \frac{d\gamma}{dy} - \frac{d\beta}{dz}$ $4\pi v = \frac{d\alpha}{dz} - \frac{d\gamma}{dx}$ $4\pi w = \frac{d\beta}{dx} - \frac{d\alpha}{dy}$	$\nabla \times \mathbf{H} = 4\pi \mathbf{J}_T$
Electric Displacement (F)	$\mathfrak{D} = \frac{1}{4\pi} \mathbf{K} \mathfrak{E}$ <p>(Quaternion notation.)</p>	$\mathbf{D} = \frac{\mathbf{K}}{4\pi} \mathbf{E}$
Conductivity (G)	$\mathfrak{K} = c \mathfrak{E}$ <p>(Quaternion notation.)</p>	$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$
True Current (H)	$u = p + \frac{df}{dt}$ $v = q + \frac{dg}{dt}$ $w = r + \frac{dh}{dt}$	$\mathbf{J}_T = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$
Free Electricity (J)	$\rho = \frac{df}{dx} + \frac{dg}{dy} + \frac{dh}{dz}$	$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$
(K)	$\sigma = lf + mg + nh + lf' + mg' + nh'$	$(D_2 - D_1) \cdot \mathbf{n} = \sigma$
Induced Magnetization (L)	$\mathfrak{B} = \mu \mathfrak{H}$ <p>(Quaternion notation.)</p>	$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$

„Te ogólne równania zostają następnie zastosowane do przypadku zaburzenia magnetycznego rozchodzącego się w ośrodku nieprzewodzącym; podany jest dowód, że mogą się tak rozchodzić jedynie zaburzenia poprzeczne do kierunku propagacji i że prędkość ich rozchodzenia się jest równa prędkości v , znalezionej w doświadczeniach Webera i podobnych, która wyraża liczbę elektrostatycznych jednostek elektryczności zawartych w jej jednostce elektromagnetycznej. Ta prędkość jest tak bliska prędkości światła, że mamy silną podstawę aby wyciągnąć wniosek, iż samo światło (a także ciepło promieniste i inne rodzaje, jeśli istnieją) jest zaburzeniem elektromagnetycznym, które rozchodzi się w postaci fal w polu elektromagnetycznym, zgodnie z prawami elektromagnetyzmu.”

Maxwell - *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field* (1864)

James Clerk Maxwell

Treatise on Electricity and Magnetism (1873)

- I. Elektrostatyka
- II. Elektrokinematyka
- III. Magnetyzm
- IV. Elektromagnetyzm

866 numerowanych paragrafów
w 57 rozdziałach

Maxwell, *Treatise on Electricity and Magnetism* (1873)

„W tym traktacie zamierzam opisać najważniejsze z tych zjawisk elektrycznych i magnetycznych, pokazać jak je można mierzyć i prześledzić związki między zmierzonymi wielkościami. Otrzymawszy w ten sposób dane wyjściowe dla matematycznej teorii elektromagnetyzmu i pokazawszy jak tę teorię można stosować do obliczania zjawisk, postaram się przedstawić - najjaśniej jak mogę - związki między postacią matematyczną tej teorii oraz fundamentalną nauką jaką jest Dynamika; będzie się można w ten sposób przygotować do określenia tych prawidłości dynamicznych, wśród których należy szukać ilustracji lub objaśnienia zjawisk elektromagnetycznych.”

„Według hipotezy Fechnera prąd elektryczny składa się z dwóch jednakowych strumieni elektryczności dodatniej i ujemnej, płynących przez ten sam przewodnik w przeciwnych kierunkach...

Wydaje mi się jednak, że niezależnie od tych rozważań, które pokazują analogie między prądem elektryczności i prądem cieczy materialnej, powinniśmy się wystrzegać wszelkich założeń nie mających oparcia w doświadczeniu. Uważam, iż dotychczas nie mamy danych doświadczalnych, które by wykazały, że prąd elektryczny jest rzeczywiście prądem materii lub prądem podwójnym; nie wiemy jeszcze także jak wielka lub mała jest jego prędkość mierzona w stopach na sekundę....”

James Clerk Maxwell, *Treatise on Electricity and Magnetism* §574

„Znajomość tych faktów byłaby co najmniej punktem wyjścia do opracowania kompletnej dynamicznej teorii elektryczności, w której oddziaływanie elektryczne byłoby rozważane inaczej niż w niniejszym traktacie, to znaczy nie jako zjawisko, którego przyczyna pozostaje nieznana i które jest rządzone tylko ogólnymi prawami dynamiki, lecz jako wynik znanych ruchów znanych składników materii. Przy tym, przedmiotem badań byłyby nie tylko zjawiska ogólne i wyniki końcowe, lecz także mechanizm i szczegóły tych ruchów...”

James Clerk Maxwell, *Treatise on Electricity and Magnetism* §574

„Wielkość V z paragrafu 784, która wyraża prędkość propagacji zaburzeń elektromagnetycznych w ośrodku nieprzewodzącym, jest na podstawie równania (10) równa $1/\sqrt{K\mu}$.
Jeśli ośrodkiem jest powietrze i jeśli przyjmiemy elektrostatyczny układ pomiarów, to $K = 1$ i $\mu = 1/v^2$, tak że $V = v$, czyli że prędkość propagacji jest równa liczbowo liczbie jednostek elektrostatycznych elektryczności w jednostce elektromagnetycznej. Jeśli przyjmiemy układ elektromagnetyczny, to $K = 1/v^2$ i $\mu = 1$, a więc równość $V = v$ nadal obowiązuje.”

James Clerk Maxwell, *Treatise on Electricity and Magnetism* §786

„Jeśli przyjmujemy teorię, że światło jest zaburzeniem elektromagnetycznym rozchodzącym się w tym samym ośrodku, który przenosi inne działania elektromagnetyczne, to V powinno być prędkością światła, a więc wielkością, której wartość wyznaczono kilkoma metodami. Z drugiej strony v jest liczbą elektrostatycznych jednostek elektryczności w elektromagnetycznej jednostce elektryczności; w poprzednim rozdziale opisano metody mierzenia tej wielkości. Są one zupełnie niezależne od metod pomiaru prędkości światła. Zatem zgodność lub niezgodność wartości V i v będzie testem elektromagnetycznej teorii światła.”

James Clerk Maxwell, *Treatise on Electricity and Magnetism* §786

„W poniższej tablicy są zestawione najważniejsze wyniki bezpośrednich obserwacji prędkości światła w powietrzu lub w przestrzeni międzyplanetarnej oraz najważniejsze wyniki porównywania jednostek elektrycznych:

Prędkość światła w m/s		Stosunek jednostek elektrycznych w m/s	
Fizeau	314 000 000	Weber	310 740 000
Aberracja i paralaksa Słońca	308 000 000	Maxwell	288 000 000
Foucault	298 360 000	Thomson	282 000 000

Jest oczywiste, że prędkość światła i stosunek jednostek są to wielkości tego samego rzędu; ale o żadnej z nich nie można jeszcze powiedzieć, że jest znana z taką dokładnością, która pozwoliłaby na stwierdzenie, że jedna z nich jest większa lub mniejsza od drugiej. Można się spodziewać, że dalsze eksperymenty pozwolą wyznaczyć z większą dokładnością stosunek wartości tych dwu wielkości. Tymczasem zaś porównanie przytoczonych wyników z pewnością nie przeczy naszej teorii, która przewiduje, że te dwie wielkości są sobie równe i podaje fizyczną przyczynę tej równości.”
James Clerk Maxwell, *Treatise on Electricity and Magnetism* §787

the methods of determining this quantity have been described in the last chapter. They are quite independent of the methods of finding the velocity of light. Hence the agreement or disagreement of the values of V and of v furnishes a test of the electromagnetic theory of light.

787.] In the following table, the principal results of direct observation of the velocity of light, either through the air or through the planetary spaces, are compared with the principal results of the comparison of the electric units:—

Velocity of Light (mètres per second).	Ratio of Electric Units (mètres per second).		
Fizeau	314000000	Weber	310740000
Aberration, &c., and Sun's Parallax }	...308000000	Maxwell ...	288000000
Foucault	298360000	Thomson ...	282000000

It is manifest that the velocity of light and the ratio of the units are quantities of the same order of magnitude. Neither of them can be said to be determined as yet with such a degree of accuracy as to enable us to assert that the one is greater or less than the other. It is to be hoped that, by further experiment, the relation between the magnitudes of the two quantities may be more accurately determined.

In the meantime our theory, which asserts that these two quantities are equal, and assigns a physical reason for this equality, is certainly not contradicted by the comparison of these results such as they are.

* { In the following table, taken from a paper by E. B. Rosa, *Phil. Mag.* 28, p. 315, 1889, the determinations of v corrected for the error in the B.A. unit are given:—

Year	Author	Value	Unit
1856	Weber and Kohlrausch	3.107×10^{10}	(cm. per second)
1868	Maxwell	2.842×10^{10}	
1869	W. Thomson and King	2.808×10^{10}	
1872	M ^c Kichan	2.896×10^{10}	
1879	Ayrton and Perry	2.960×10^{10}	
1880	Shida	2.955×10^{10}	
1883	J. J. Thomson	2.963×10^{10}	
1884	Klemenčič	3.019×10^{10}	
1888	Himstedt	3.009×10^{10}	
1889	W. Thomson	3.004×10^{10}	
1889	E. B. Rosa	2.9993×10^{10}	
1890	J. J. Thomson and Searle	2.9955×10^{10}	

VELOCITY OF LIGHT IN AIR.

Cornu (1878) ...	3.003×10^{10}
Michelson (1879) ...	2.9952×10^{10}
Michelson (1882) ...	2.9976×10^{10}
Newcomb (1885) ...	$\left. \begin{array}{l} 2.99615 \\ 2.99682 \\ 2.99766 \end{array} \right\} \times 10^{10}$

788.] In other media than air, the velocity V is inversely proportional to the square root of the product of the dielectric and the magnetic inductive capacities. According to the undulatory theory, the velocity of light in different media is inversely proportional to their indices of refraction.

There are no transparent media for which the magnetic capacity differs from that of air more than by a very small fraction. Hence the principal part of the difference between these media must depend on their dielectric capacity. According to our theory, therefore, the dielectric capacity of a transparent medium should be equal to the square of its index of refraction.

But the value of the index of refraction is different for light of different kinds, being greater for light of more rapid vibrations. We must therefore select the index of refraction which corresponds to waves of the longest periods, because these are the only waves whose motion can be compared with the slow processes by which we determine the capacity of the dielectric.

789.] The only dielectric of which the capacity has been hitherto determined with sufficient accuracy is paraffin, for which in the solid form MM. Gibson and Barclay found *

$$K = 1.975. \quad (12)$$

Dr. Gladstone has found the following values of the index of refraction of melted paraffin, sp. g. 0.779, for the lines A , D and H :—

Temperature	A	D	H
54°C	1.4306	1.4357	1.4499
57°C	1.4294	1.4343	1.4493;

from which I find that the index of refraction for waves of infinite length would be about 1.422.

The square root of K is 1.405.

The difference between these numbers is greater than can be accounted for by errors of observation, and shews that our theories of the structure of bodies must be much improved before we can deduce their optical from their electrical properties. At the same time, I think that the agreement of the numbers is such that if no greater discrepancy were found between the numbers derived from the optical and the electrical properties of a considerable number of substances, we should be warranted in

* *Phil. Trans.* 1871, p. 578.



„W czasach kiedy byłem studentem, najbardziej fascynującym przedmiotem była teoria Maxwella. Wydawała się ona rewolucyjna, ponieważ zamiast oddziaływania na odległość wprowadzała pola jako wielkości podstawowe. Włączenie optyki do teorii elektromagnetyzmu, związek prędkości światła w próżni z absolutnym układem jednostek elektrycznych i magnetycznych oraz związek współczynnika załamania ze stałą dielektryczną, jakościowy związek między współczynnikiem odbicia ciała i jego przewodnictwem metalicznym - to było jak objawienie.”



„Poza przejściem do teorii pola, to znaczy wyrażeniem podstawowych praw przez równania różniczkowe, Maxwell potrzebował tylko jednego jedyne go hipotetycznego kroku - wprowadzenia prądu przesunięcia w próżni i dielektrykach oraz jego efektu magnetycznego, innowacji, która była niemal z góry zadana przez formalne właściwości równań różniczkowych. W związku z tym nie mogę się powstrzymać od uwagi, że parę Faraday-Maxwell cechuje niezwykle wewnętrzne podobieństwo do pary Galileusz-Newton - w obu parach pierwszy uczoney pojmował związki [między zjawiskami] intuicyjnie, a drugi wyrażał te związki ściśle i stosował je ilościowo.”

Albert Einstein - *Autobiografia*

„Wgląd w istotę teorii elektromagnetycznej utrudniała w owych czasach osobliwa sytuacja. Elektryczne lub magnetyczne „natężenia pola” i „przesunięcia” były traktowane jako wielkości równie elementarne, a pusta przestrzeń - jako szczególny przypadek dielektryka. Nosicielem pola wydawała się materia, a nie przestrzeń. Przyjmowano zatem, że nośnik pola winien mieć prędkość i to miało się naturalnie stosować także do „próżni” (eteru). Hertzowska elektrodynamika ciał w ruchu opiera się całkowicie na tej fundamentalnej zasadzie.”

Albert Einstein - *Autobiografia* (c.d.)

„Wielką zasługą H. A. Lorentza było, że w przekonujący sposób wprowadził tu zmianę. W zasadzie pole istnieje według niego tylko w pustej przestrzeni. Materia złożona z atomów jest jedynym nośnikiem ładunków elektrycznych; między cząstkami materialnymi jest pusta przestrzeń - nośnik pola elektromagnetycznego, które jest wytworzone przez położenia i prędkości ładunków punktowych zlokalizowanych na cząstkach materii. Właściwości dielektryczne, przewodnictwo itd., są wyznaczone wyłącznie przez rodzaj mechanicznych powiązań między cząstkami, z których składają się ciała. Ładunki cząstek wytwarzają pole, które, z drugiej strony, wywiera siły na ładunki cząstek, wyznaczając ich ruchy zgodnie z Newtona prawem ruchu.”

Albert Einstein - *Autobiografia* (c.d.)

„Jeśli porównamy tę koncepcję z systemem Newtona, to zmiana polega na tym, że działanie na odległość zostało zastąpione polem, które również opisuje promieniowanie. Grawitacji, ze względu na jej niewielkie znaczenie, przeważnie nie brano pod uwagę; jej włączenie było jednak zawsze możliwe przez wzbogacenie struktury pola, to znaczy przez rozszerzenie Maxwella równań pola. Fizyk obecnej generacji traktuje pogląd Lorentza jako jedyny możliwy; w owym czasie był to jednak krok zdumiewający i odważny, bez którego późniejszy rozwój nie byłby możliwy.”

„Teoria drgań świetlnych doprowadziła nas do poglądu, że w przestrzeni wolnej od jakiegokolwiek bądź ciała stałego, płynnego lub gazowego, znajdować się musi pewnego rodzaju środowisko, pośredniczące w przenoszeniu tych drgań. Środowisko to przyjęto nazywać eterem świetlnym albo kosmicznym lub po prostu eterem. Gdy po usunięciu, względnie możliwie dokładnym wypompowaniu powietrza z pewnej przestrzeni, dojdziemy do tak zwanej „próżni”, będziemy mieli do czynienia właśnie z eterem. W ten sposób otrzymany eter przedstawia - o ile nam dziś wiadomo - zupełnie te same własności, co i eter, wypełniający przestrzory międzyplanetarne. Środowisko to - ten kosmiczny eter - posiada cechę jednorodności, mocą której uderzająco wyróżnia się od wszystkich innych ciał, bezpośrednio oddziałujących na nasze organa zmysłowe. Musi więc to być ciało zupełnie innego rodzaju.”

Hendrik Lorentz, *Poglądy i teorie fizyki współczesnej* (1904)

„W celu zaznaczenia różnicy będziemy nadawali zwykłym ciałom miano „materii” i nazwy tej nie będziemy stosowali do eteru. Albo dobitniej jeszcze, będziemy mówić o materii ważkiej, tj. ulegającej sile ciężenia, w przeciwieństwie do nieważkiego eteru. Taki sposób wyrażania się jest zupełnie usprawiedliwiony, ponieważ nie posiadamy żadnych danych, które by wskazywały, że eter podlega działaniu siły ciężkości, innymi słowy, że eter jest ciałem posiadającym ciężar...”

Hendrik Lorentz, *Poglądy i teorie fizyki współczesnej* (1904)

„...zróbmy założenie, że w każdego rodzaju materii są obecne nadzwyczaj drobne cząsteczki, których jedna połowa posiada niezmiennie ładunki dodatnie, druga zaś tak samo ładunki ujemne...Owe drobniutkie cząsteczki, o których jest mowa, mają być najmniejsze z pośród tych, którymi zajmują się nauki przyrodnicze, mniejsze od cząsteczek (molekuł) i atomów samych... Nadajmy cząsteczkom tym, zarówno ujemnym jak i dodatnim wspólne miano „elektronów”, odróżniając je przymiotnikami „ujemny” i „dodatni”. Przypuśćmy dalej, że te elektryczne cząsteczki - elektrony - rozpowszechnione są we wszystkich ciałach, że żadna nawet najmniejsza cząsteczka ważkiej materii nie jest od nich wolna, że ilość ich w każdym ciele jest prawie niezliczona i że wreszcie, skoro jakieś ciało nie wykazuje objawów elektrycznych, posiada oba rodzaje elektronów w tej samej ilości..”

Hendrik Lorentz, *Poglądy i teorie fizyki współczesnej* (1904)

„Przeciwnie zaś eter wyłączmy z pod panowania elektronów. Ma on pozostać jedynie środowiskiem (medium), które pośredniczy we wszystkich oddziaływaniach pomiędzy elektrycznie naładowanymi cząsteczkami. Należy mu jednak przypisać zgoła odmienne własności...

Elektron w otaczającym go eterze wytwarza pewne zmiany stanu - zmiany określone wielkością jego ładunku i zależne także od ruchu samego elektronu. W tych zmianach stanu eteru tkwi istota wszelkich oddziaływań elektronu na sąsiednie cząstki. Zmiany te są wyrazem tego, co się dzieje w eterze dokoła ciał naelektryzowanych i magnesów. Drgający elektron będzie więc również wywoływał w eterze periodyczne zmiany.”

Hendrik Lorentz, *Poglądy i teorie fizyki współczesnej* (1904)

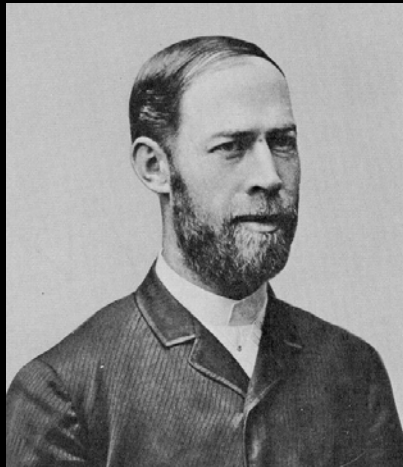
Wszystko to doprowadza nas do wniosków, że środek taki istnieje,—nazywamy go eterem świetlnym albo światłonośnym, albo też krócej eterem, że środek ten może przenosić energię, że może ją posiadać w danej chwili, częścią pod postacią energii cynetycznej, częścią zaś pod postacią energii potencjalnej, że więc środek ten może ulegać przemieszczeniom, że może wywierać ciśnienie lub ciągnięcie, że zatem musi przedstawiać sztywność i sprężystość. Rachunek doprowadza nas do wniosku, że gęstość jego stanowi $936/1000,000000,000000,000000$ część gęstości wody (Clerk Maxwell), czyli, że równa się gęstości naszej atmosfery na wysokości wynoszącej około 210 mil ang., co stanowi gęstość o wiele większą od gęstości téjże atmosfery w przestrzeniach międzygwiazdowych. Obliczamy również, że sztywność eteru jest około $1/1000,000000$ sztywności stali, że więc poruszające się masy mogą go z łatwością usuwać, że on jest ciągły, to znaczy, że nie ma budowy ziarnistej, że przeto można go porównać do niedającej się dotknąć, wszystko przenikającej galarety, którą wstrząsają ustawicznie przechodzące przez nią fale światła i ciepła, która ustawicznie jest wprowadzana w stany miejscowych wysiłów i wyprowadzana z nich, wśród której cząstki zwykłej materii mogą się swobodnie poruszać, nie doznając przytém opóźnień lub doznając bardzo niewielkiego, gdyż sprężystość eteru jest w przybliżeniu zupełna.

Żaden rodzaj maszyny pneumatycznej nie może wyciągnąć eteru z danej przestrzeni; najdoskonalszą próżnię należy pojmo-
wać jako przestrzeń wypełnioną całkowicie, lecz wypełnioną przez eter.

Alfred Daniell,
Podręcznik
zasad fizyki
Warszawa, 1887



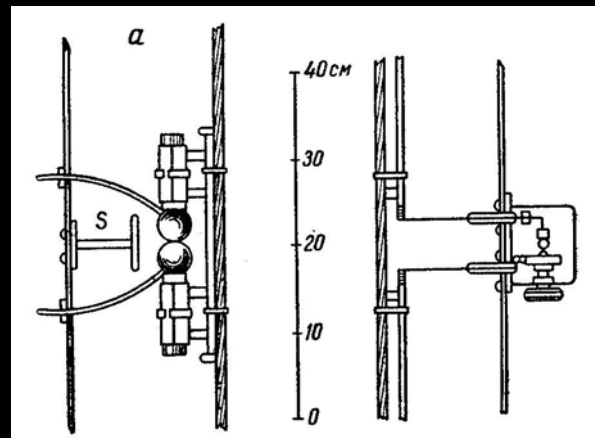
**James Clerk Maxwell
(1831-1879)**



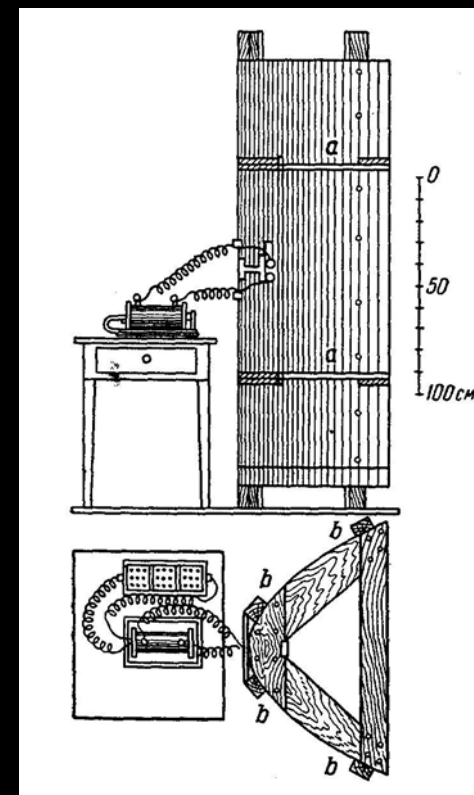
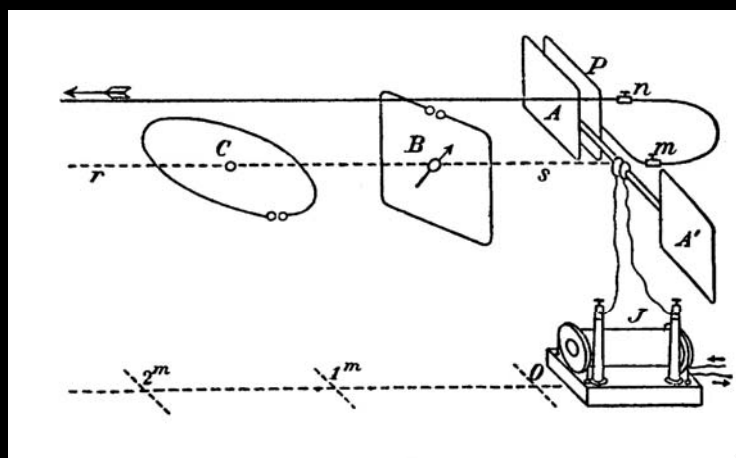
**Heinrich Rudolf Hertz
(1857-1894)**

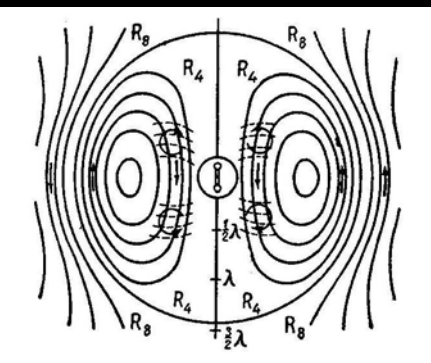
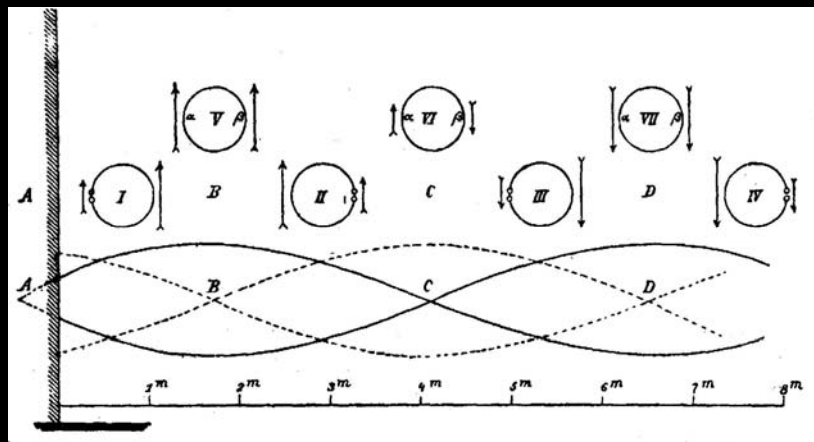


**Guglielmo Marconi
(1874-1937)**

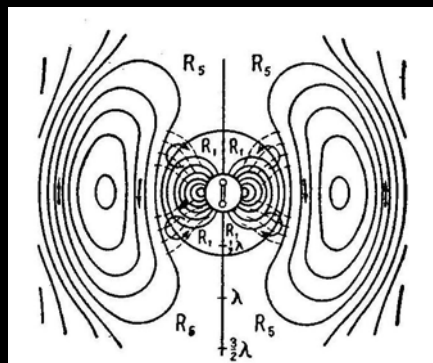


Heinrich Rudolf Hertz (rysunki z 1888 r.)

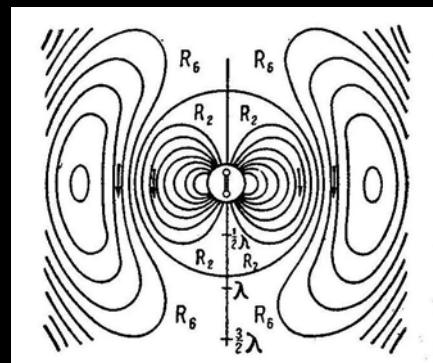




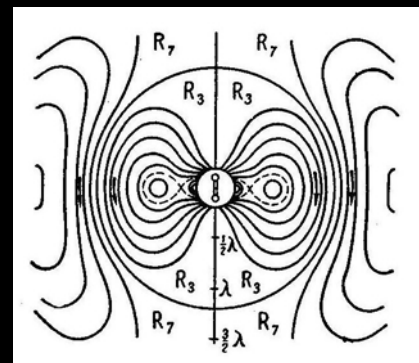
$t = 0$



$t = \lambda/4c$



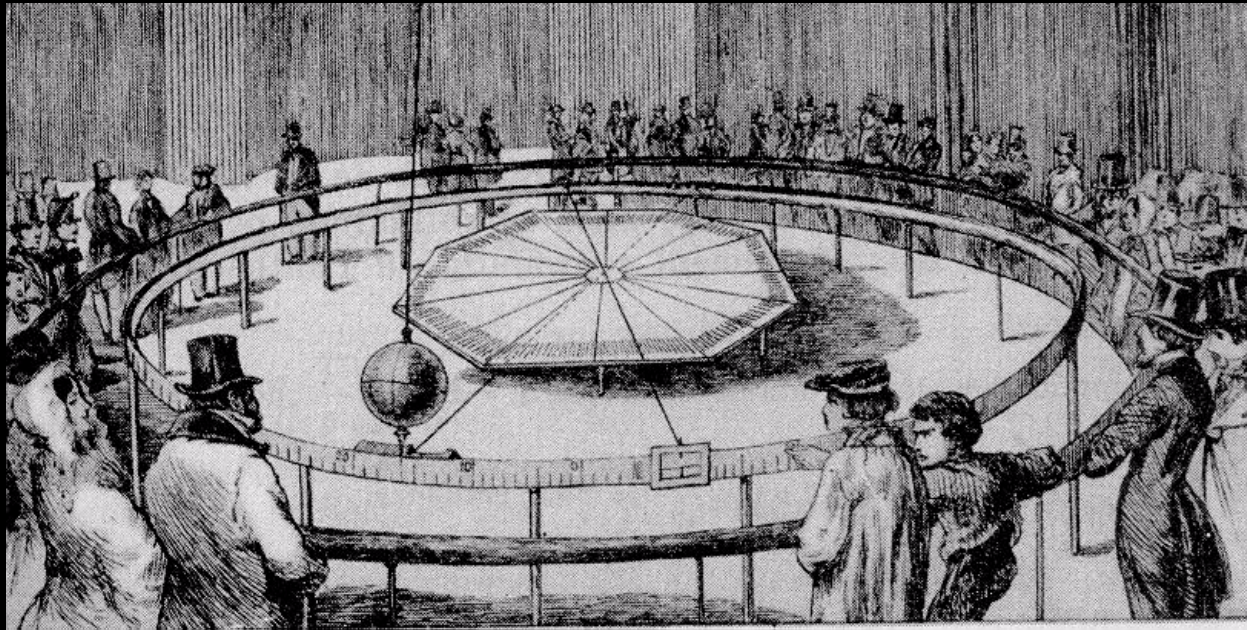
$t = \lambda/2c$



$t = 3\lambda/4c$



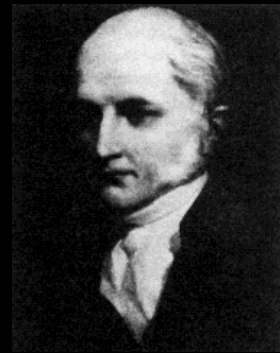
Jean Bernard Leon Foucault (1819-1868)



Publiczny pokaz wahadła Foucaulta w Paryżu
(1851)

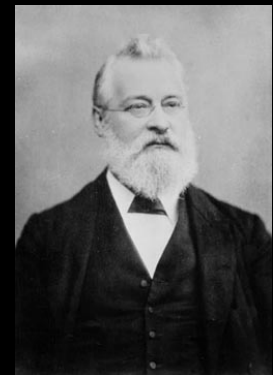
Odkrycie układu okresowego pierwiastków

William Prout: Wszystkie ciężary atomowe pierwiastków są dokładnymi wielokrotnościami ciężaru wodoru (1815-1816)

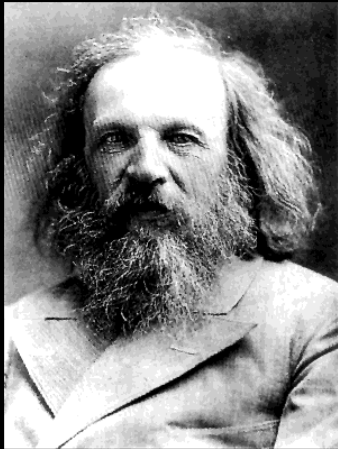


Johann Döbereiner:
Prawo triad (1829)

John Newlands:
Prawo oktaw (1863)



Julius Lothar Meyer: układ periodyczny
(opublikowany w 1870 r.)



Zeitschrift für Chemie
12, 405-6 (1869)

Ueber die Beziehungen der Eigenschaften zu den Atomgewichten der Elemente. Von D. Mendelejeff. — Ordnet man Elemente nach zunehmenden Atomgewichten in verticale Reihen so, dass die Horizontalreihen analoge Elemente enthalten, wieder nach zunehmendem Atomgewicht geordnet, so erhält man folgende Zusammenstellung, aus der sich einige allgemeinere Folgerungen ableiten lassen.

			Ti — 50	Zr — 90	? — 180
			V — 51	Nb — 94	Ta — 182
			Cr — 52	Mo — 96	W — 186
			Mn — 55	Rh — 104,4	Pt — 197,4
			Fe — 56	Ru — 104,4	Ir — 198
		Ni — 59	Co — 59	Pd — 106,6	Os — 199
			Cu — 63,4	Ag — 108	Hg — 200
H — 1			Zn — 65,2	Cd — 112	
Be — 9,4	Mg — 24		? — 68	Ur — 110	Au — 197,7
B — 11	Al — 27,4		? — 70	Sn — 118	
C — 12	Si — 28		As — 75	Sb — 122	Bi — 210,7
N — 14	P — 31		Se — 78,4	Te — 128,7	
O — 16	S — 32		Br — 80	J — 127	
F — 19	Cl — 35,5		Rb — 85,4	Cs — 133	Tl — 204
Li — 7	Na — 23		K — 39	Ba — 137	Pb — 207
			Ca — 40	Sr — 87,6	
			? — 45	Co — 92	
			?Er — 56	La — 94	
			?Yt — 60	Di — 96	
			Ti — 75,6	Th — 118,7	

1. Die nach der Größe des Atomgewichts geordneten Elemente zeigen eine stufenweise Abänderung in den Eigenschaften.

2. Chemisch-analoge Elemente haben entweder übereinstimmende Atomgewichte (Pt, Ir, Os), oder letztere nehmen gleichviel zu (K, Rb, Cs).

3. Das Anordnen nach den Atomgewichten entspricht der *Verthigkeit* der Elemente und bis zu einem gewissen Grade der Verschiedenheit im chemischen Verhalten, z. B. Li, Be, B, C, N, O, F.

4. Die in der Natur verbreitetsten Elemente haben *kleine* Atomgewichte

O związku właściwości pierwiastków z ich ciężarami atomowymi

Porządkując pierwiastki tak, aby ciężar atomowy wzrastał w kolumnach, a w wierszach znalazły się pierwiastki o podobnych właściwościach, otrzymuje się następujące uporządkowanie, z którego można wyciągnąć kilka wniosków ogólnych.

1. Pierwiastki uporządkowane według wzrastających ciężarów atomowych wykazują periodyczność właściwości.
2. Pierwiastki podobne pod względem chemicznym mają albo podobne ciężary atomowe (Pt, Ir, Os), albo ciężary rosnące w równych odstępach.
3. Uporządkowanie według ciężarów atomowych odpowiada wartościowości pierwiastków i w pewnym stopniu różnicom właściwości, np. Li, Be, B, C, O, F....

Odkrycie argonu w 1894 r.
(William Rayleigh i William Ramsay),
a wkrótce potem (1898) kolejnych gazów
szlachetnych (neon, krypton, ksenon) rozszerzyło
układ Mendelejewa o nową kolumnę, w której
znalazł się także hel (odkryty podczas zaćmienia
Słońca w 1868 r., a na Ziemi dopiero w 1895 r.).
Wkrótce potem zaczęto odkrywać pierwiastki
promieniotwórcze (polon, rad, aktyn...)

Hipotetyczne pierwiastki *nebulium* i *coronium*
nie zostały potwierdzone