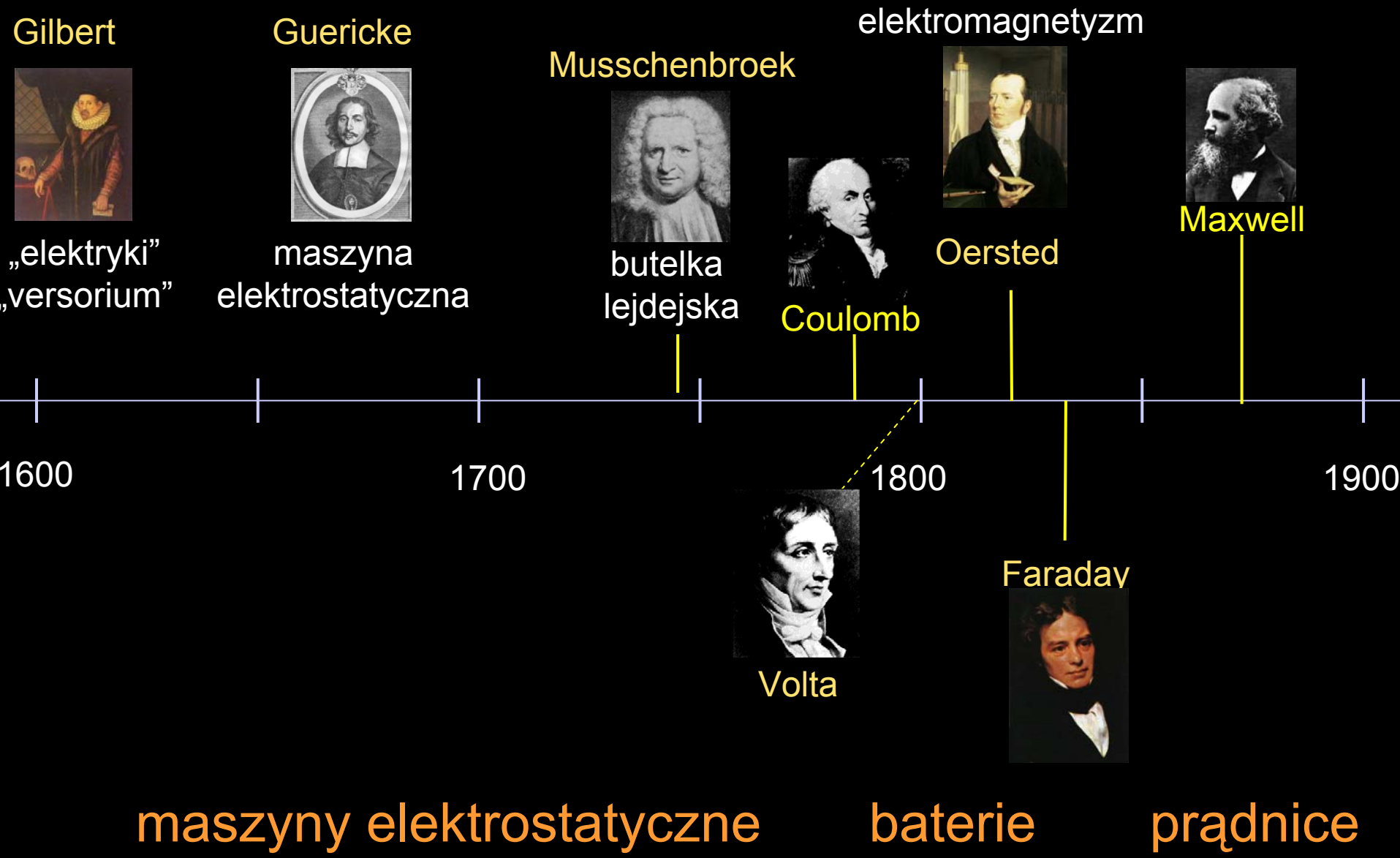


Fizyka XIX wieku

część 1

Od stosu Volty
do elektromagnetyzmu

Trzy stulecia historii elektromagnetyzmu



TRAITÉ
DE PHYSIQUE
EXPÉRIMENTALE
ET MATHÉMATIQUE,

PAR J. B. BIOT,

Membre de l'Académie des Sciences, Adjoint du Bureau des Longitudes,
Professeur au Collège de France et à la Faculté des Sciences de Paris;
de la Société philomatique de Paris; des Sociétés royales de Londres,
d'Edimbourg, des Antiquaires d'Ecosse; des Académies royales de
Turin, de Munich, et de l'Université de Wilna.

Utens enim Philosophia difficilis in eo venari videtur, ut,
à phantasiam suam, levisque sine ostent, distat,
et in vicinis, demerentur pluresque nictis.
Natura, Princip. profat.

TOME PREMIER.

A PARIS,

CHEZ DETERVILLE, LIBRAIRE, RUE HAUTEPEUILLE, N° 8.

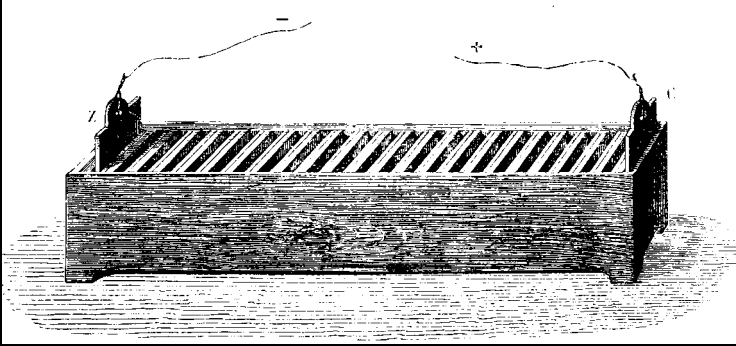
1816.

Jean Baptiste Biot: *Traité de physique expérimentale et mathématique*

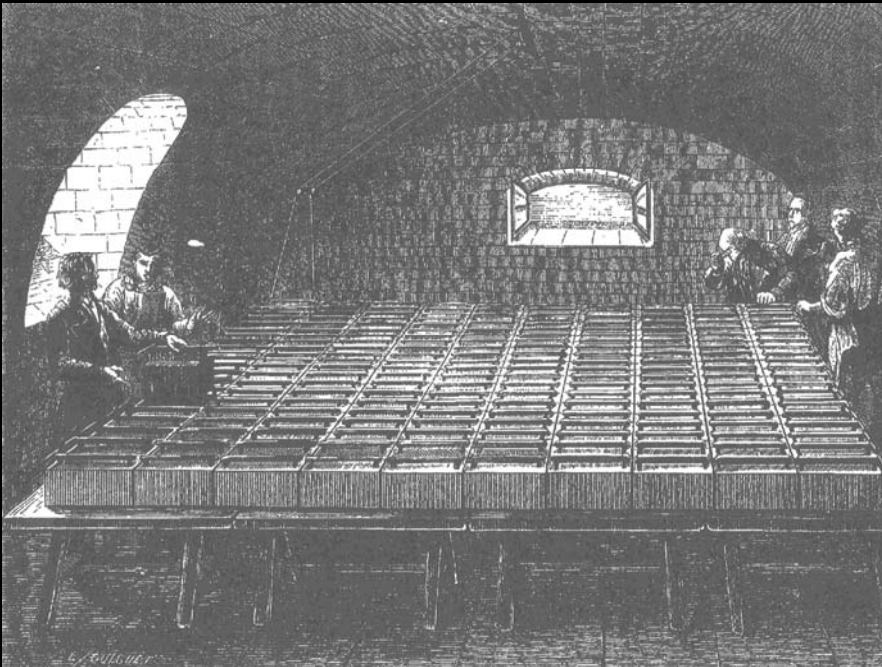
Cztery tomy: prawie 2400 stron, siedem ksiąg

- 1) Zjawiska ogólne i przyrządy pomiarowe (22%)
- 2) Akustyka (9%)
- 3) Elektryczność (15%)
- 4) Magnetyzm (6%)
- 5) Światło i 6) Polaryzacja światła, (42%)
- 7) Ciepłik promienisty i utajony (6%)

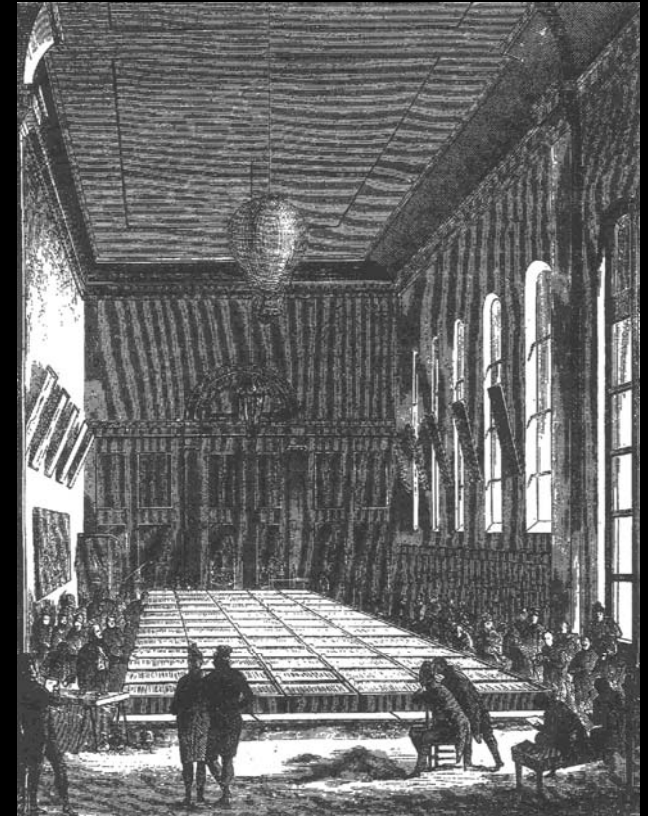
Fizyka powinna być ograniczona „do badań zjawisk spowodowanych przez działanie niewidzialnych, nieuchwytnych i nieważkich czynników, takich jak elektryczność, magnetyzm, ciepłik i światło.”



Stos korytkowy



Wielki stos Royal Society



Wielki stos paryskiej
Szkoły Politechnicznej

„Musimy przyznać, że cała nauka o elektryczności jest jeszcze w stanie niedoskonałym. Wiemy mało lub zgoła nic o naturze tej substancji i o związanych z nią działaniach; nie możemy nigdy przewidzieć, bez uprzedniego eksperymentu, gdzie i jak zostanie ona wzbudzona. Nie wiemy zupełnie niczego o budowie ciał, dzięki której są one obdarzone różnymi mocami przewodzenia i zdołaliśmy tylko wyciągnąć ogólne wnioski dotyczące rozkładu i równowagi hipotetycznego fluidu elektrycznego, na podstawie praw przyciągania i odpychania, jakie zdaje się on wykazywać. Wydaje się istnieć powód by przypuszczać, na podstawie zjawisk przyciągania i odpychania, że przyczyną tych sił jest ciśnienie ośrodka sprężystego; jeśli taki ośrodek istnieje, to jest być może blisko związany z fluidem elektrycznym.”



„Tylko niektórzy obecnie wątpią w identyczność ogólnych przyczyn zjawisk elektrycznych i galwanicznych. W naszym kraju [tj. w Anglii] główne zjawiska galwanizmu uważa się za związane z przemianami chemicznymi. Przypuszczalnie także czas pokaże, że elektryczność jest istotnie związana z zasadniczymi właściwościami, które wyróżniają rozmaite rodzaje ciał naturalnych, jak również z tymi cechami i działaniami mechanicznymi, które leżą prawdopodobnie u podstaw wszystkich przemian chemicznych. Lecz obecnie nie wydaje się bezpieczne wysuwanie przypuszczeń na temat przedmiotu tak niejasnego, chociaż doświadczenia pana Davy'ego w pewnym stopniu usprawiedliwiają już śmiałość tej sugestii.”



Thomas Young, *A Course of Lectures on Natural Philosophy* (1807)

„Chociaż może być nieco ryzykowne przewidywanie postępu nauki, mogę zauważyć, że impuls stworzony przez oryginalne doświadczenia Galwaniego, wskrzeszony przez odkrycie przez Voltę stosu i doprowadzony do najwyższego stopnia dzięki zastosowaniu do rozkładu chemicznego przez Sir H. Davy’ego, wydaje się w znacznym stopniu osłabnąć. Można przypuszczać, iż wykorzystaliśmy moc tego instrumentu do jego ostatecznych granic i nie wydaje się, abyśmy obecnie byli na drodze do osiągnięcia jakiegokolwiek istotnego przyczynku do naszej wiedzy o jego skutkach, lub też uzyskania nowego oświecenia teorii jego działania.”

John Bostock, *An Account of the History and Present State of Galvanism* (1818)



**Hans Christian
Oersted
(1777-1851)**



**André Marie
Ampère
(1775-1836)**



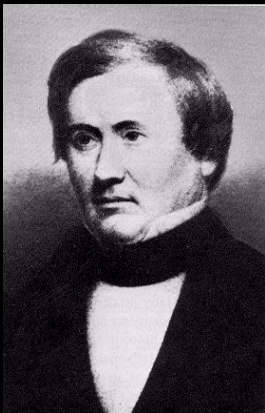
**Jean-Baptiste
Biot
(1774-1862)**



**Georg Simon
Ohm
(1789-1854)**



**Michael
Faraday
(1791-1867)**



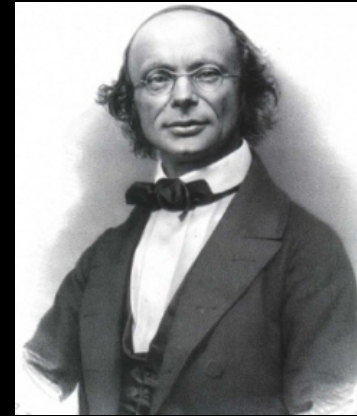
**Joseph Henry
(1797-1878)**



**Simeon Denis
Poisson
(1781-1840)**



**Carl Friedrich
Gauss
(1777-1855)**



**Wilhelm Eduard
Weber
(1804-1891)**



**Franz Ernst
Neumann
(1798-1895)**

Odkrycie elektromagnetyzmu (1820)

EXPERIMENTA

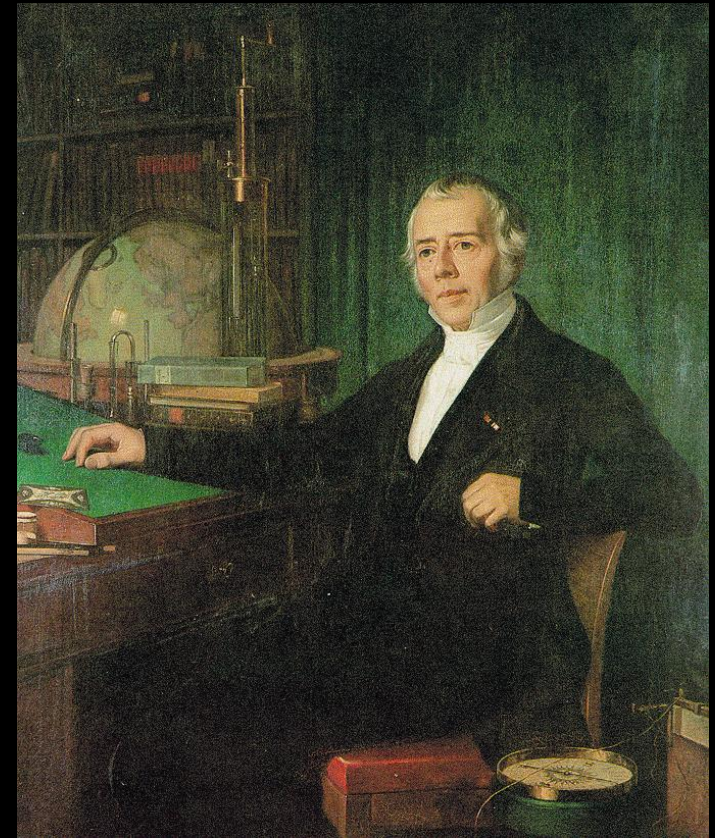
CIRCA EFFECTUM

CONFLICTUS ELECTRICI IN ACUM MAGNETICAM.

Prima experimenta circa rem, quam illustrare aggredior, in scholis de Electricitate. Galvanismo et Magnetismo proxime-superiori hieme a me habitis instituta sunt. His experimentis monstrari videbatur, acum magneticam ope apparatus galvanici e situ moveri; idque circulo galvanico cluso, non aperto, ut frustra tentaverunt aliquot abhinc annis physici quidam celeberrimi. Cum autem hæc experimenta apparatu minus efficaci instituta essent, ideoque phænomena edita pro rei gravitate non satis luculenta viderentur, socium adscivi amicum Esmarch, regi a consiliis justitiæ, ut experimenta cum magno apparatu galvanico, a nobis conjunctim instructo, repeterentur et augerentur. Etiam vir egregius Wleugel, eques auratus ord. Dan. et apud nos præfectus rei gubernatoriæ, experimentis interfuit, nobis socius et testis. Præterea testes fuerunt horum experimentorum vir excellentissimus et a rege summis honoribus decoratus Hauch, cujus in rebus naturalibus scientia jam diu inclaruit, vir acussimus Reinhardt, Historiæ naturalis Professor, vir in experimentis instituendis sagacissimus Jacobsen, Medicinæ Professor, et Chemicus experientissimus Zeise, Philosophiæ Doctor. Sæpius equidem solus experimenta circa materiam propositam institui, quæ autem ita mihi contigit detegere phænomena, in conventu horum virorum doctissimorum repetivi.

In experimentis recensendis omnia præteribo, quæ ad rationem rei invenientiam quidem conduxerunt, hæc autem inventa rem amplius illustrare nequeunt; quæ igitur, quæ rei rationem perspicue demonstrant, acquiescamus.

Apparatus galvanicus, quo usus summus, constat viginti receptaculis cupreis rectangularibus, quorum et longitudo et altitudo duodecim æqualiter est pollicum, latitudo autem duos pollices et dimidium vix excedit. Quodvis receptaculum duabus laminis cupreis instructum est ita inclinatis, ut baculum cupreum, qui laminam zincæ in aqua receptaculi proximi sustentat, portare possint. Aqua receptaculorum $\frac{1}{2}$ sui ponderis acidi sulphurici et pariter $\frac{1}{2}$ acidi nitrici continet. Pars cujusque laminæ Zincæ in aqua submersa. Quadratum est, cujus latus circiter longitudinem 10 pollicum habet. Etiam apparatus minores adhiberi possunt, si modo filum metallicum candefacere valeant.



Hans Christian Oersted
(1777-1851)

Opis odkrycia elektromagnetyzmu opracowany przez Oersteda dla *Edinburgh Encyclopedia* (1830):

„Elektromagnetyzm został odkryty w 1820 r. przez profesora Hansa Christiana Oersteda z uniwersytetu w Kopenhadze. Podczas zimy 1819-20 miał on wykłady na temat galwanizmu i magnetyzmu dla słuchaczy, którzy poprzednio zaznajomili się z zasadami filozofii naturalnej. Przygotowując wykład, w którym miał omawiać analogię między elektrycznością i magnetyzmem wpadł on na pomysł, że jeśli jest możliwe wywołanie przez elektryczność jakiegoś efektu magnetycznego, to efekt ten nie powinien występować w kierunku prądu, gdyż to sprawdzano wielokrotnie bez powodzenia, lecz musi być spowodowany pewnym działaniem w bok.”

Opis odkrycia elektromagnetyzmu opracowany przez Oersteda dla *Edinburgh Encyclopedia* (1830), cd.

„Było to ściśle związane z innymi jego ideami, gdyż traktował on przenoszenie elektryczności przez przewodnik nie jako jednostajny strumień. lecz jako zbiór kolejnych naruszeń stanu równowagi i powrotów do niej zachodzących w taki sposób, że siły elektryczne prądu nie pozostają w trwałej równowadze, ale w ciągłym konflikcie. Skoro efekt świetlny i cieplny prądu rozchodzi się we wszystkich kierunkach od przewodnika przenoszącego wielką ilość elektryczności, przypuszczał on, że podobnie może promieniować efekt magnetyczny...”

Opis odkrycia elektromagnetyzmu opracowany przez Oersteda dla *Edinburgh Encyclopedia* (1830), cd.

„Daleki był jednak od oczekiwania znacznego efektu magnetycznego i stale myślał, że potrzeba takiej mocy, przy której drut rozżarzyłby się. Pierwszy eksperyment był planowany tak, aby prąd z małej baterii galwanicznej używanej zwykle w jego wykładach przepuścić przez bardzo cienki drut platynowy umieszczony nad kompasem przykrytym szkłem. Przygotowania do eksperymentów zostały zakończone, ale pewien wypadek przeszkodził mu wypróbować je przed wykładem, toteż planował odłożenie ich na inną okazję. Jednakże podczas wykładu szansa powodzenia wydała mu się większa, toteż wykonał ten eksperyment po raz pierwszy w obecności słuchaczy. Igła magnetyczna doznała zaburzenia, chociaż była zamknięta w pudełku; efekt był jednak bardzo słaby i wydawał się być - przed wykryciem rządzącego nim prawa - bardzo nieregularny, toteż eksperyment nie wywarł silnego wrażenia na słuchaczach.”

Opis odkrycia elektromagnetyzmu opracowany przez Oersteda dla *Edinburgh Encyclopedia* (1830), cd.

„Może się wydać dziwne, że odkrywca nie wykonywał żadnych eksperymentów na ten temat przez następne trzy miesiące; on sam nie znajduje na to łatwego wyjaśnienia. Jednakże niezmierna małość efektu i pozorny brak prawidłowości w pierwszym eksperymencie, pamięć o licznych błędach popełnionych w tym przedmiocie przez wcześniejszych filozofów, zwłaszcza przez jego przyjaciela Rittera, oraz świadomość, że sprawa musi być traktowana z największą uwagą, mogły go przekonać o odłożeniu badań na dogodniejszą porę. ”

Opis odkrycia elektromagnetyzmu opracowany przez Oersteda dla *Edinburgh Encyclopedia* (1830), cd.

„W lipcu 1820 r. podjął on znów eksperymenty używając dużo znacniejszego przyrządu galwanicznego. Tym razem powodzenie było oczywiste, jednakże efekt przy pierwszym powtórzeniu eksperymentu był nadal bardzo słaby, ponieważ używane były tylko bardzo cienkie druty zgodnie z przekonaniem, że efekt magnetyczny nie wystąpi, jeśli prąd galwaniczny nie wytworzy światła i ciepła; wkrótce jednak stwierdził, że przewodniki o większej średnicy dają dużo większy efekt i wówczas odkrył na podstawie kilkudniowych doświadczeń fundamentalne prawo elektromagnetyzmu, a mianowicie, że efekt magnetyczny prądu galwanicznego ma wokół niego ruch kołowy...”

„Pierwsze doświadczenia nad przedmiotem, który pragnę wyjaśnić, były wykonywane podczas wykładów o elektryczności, galwanizmie i magnetyzmie, jakie miałem w ciągu ubiegłej zimy. Z tych doświadczeń wydawało się wynikać, że igłę magnetyczną można wyprowadzić z jej położenia za pomocą przyrządu galwanicznego i to przy obwodzie zamkniętym, nie zaś przy otwartym, jak tego na próżno próbowali przed kilku laty niektórzy sławni fizycy. Ponieważ pierwsze moje doświadczenia były wykonane z niezbyt silnym przyrządem, przeto otrzymane efekty nie były wystarczające dla rzeczy tak doniosłej; wzięwszy więc do pomocy mojego przyjaciela, radcę prawnego Esmarcha, powtórzyłem wraz z nim eksperymenty przy użyciu znaczniejszego, wspólnie przez nas zestawionego przyrządu.”



Ørsted, *Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam*
(21 VII 1820 r.)

„Przy naszych doświadczeniach był także obecny jako uczestnik i świadek prezydent rady Wleugel, kawaler orderu Danii. Ponadto świadkami eksperymentów byli najznakomitsi mężowie, odznaczeni przez króla najwyższymi honorami, a to: marszałek dworu Hauch - od dawna znany jako znakomity fizyk, słynący z bystrości profesor historii naturalnej Reinhard, wyborny eksperymentator, profesor medycyny Jacobson oraz znawca chemii, doktor filozofii Zeise. Często wykonywałem eksperymenty sam, ale za każdym razem, gdy napotykałem jakieś nowe zjawisko, powtarzałem je w obecności tych uczonych...”

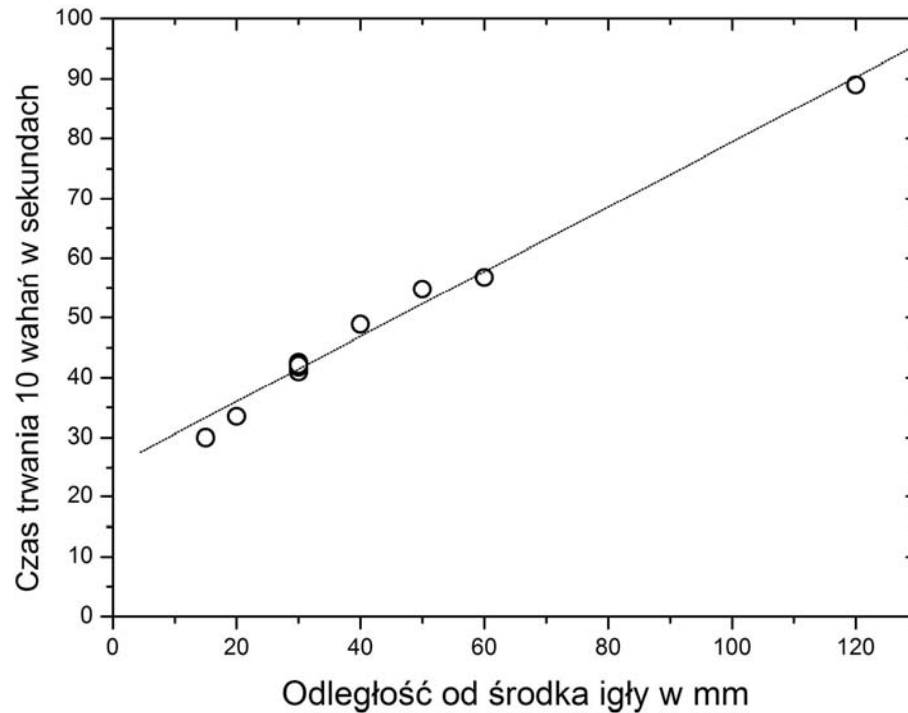


Oersted, *Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam*
(21 VII 1820 r.)

1820 - *annus mirabilis*

- 21 VII Oersted ogłasza o swoim odkryciu
- 4 IX referat Arago na posiedzeniu Académie des Sciences
- 11 IX Arago powtarza eksperymenty Oersteda w obecności akademików
- 18 IX pierwsze wystąpienie Ampère'a w Académie des Sciences
- 25 IX drugie wystąpienie Ampère'a (9 dalszych jego wystąpień w kolejne poniedziałki)
- 30 X Biot i Savart ogłaszają swoje wyniki w Académie des Sciences
- 6 IX w Halle Johann Schweigger demonstruje swój multiplikator

Arago (w Paryżu) i Davy (w Londynie) donoszą, że pręty żelazne wewnątrz cewek z prądem stają się namagnesowane



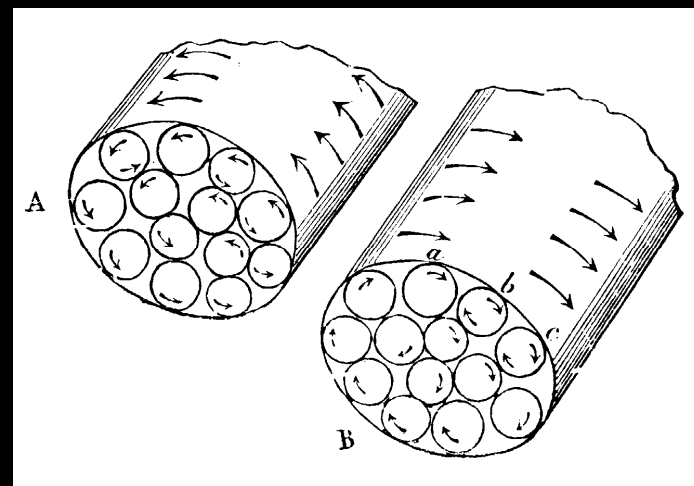
Dane doświadczalne, na podstawie których Biot i Savart sformułowali swoje prawo

Zapiski Ampère'a (18 IX 1820 r.)

„Sprowadziłem zjawiska obserwowane przez Oersteda do dwóch ogólnych faktów. Wykazałem, że prąd znajdujący się w stosie działa na igłę magnetyczną tak jak prąd w przewodzie łączącym. Opisałem doświadczenia, w których stwierdziłem przyciąganie lub odpychanie igły przez przewód łączący. Opisałem przyrządy, które zamierzam zbudować, między innymi spirale i zwoje galwaniczne. Zapowiedziałem, że te ostatnie winny wywierać we wszystkich przypadkach takie samo działanie jak magnesy. Zająłem się także pewnymi szczegółami sposobu, w jaki pojmuję magnesy, jako zawdzięczające swe właściwości wyłącznie prądom elektrycznym w płaszczyznach prostopadłych do ich osi i podobnym prądom, których istnienie zakładam w kuli ziemskiej; wobec tego wszystkie zjawiska magnetyczne sprowadziłem do zjawisk czysto elektrycznych”.

Zapiski Ampère'a (25 IX 1820 r.)

„Rozwinałem bardziej tę teorię i oznajmiłem o nowym fakcie przyciągania lub odpychania dwóch prądów elektrycznych bez pośrednictwa jakiegokolwiek magnesu, a także o fakcie, który obserwowałem na przewodnikach zwiniętych spiralnie. Powtórzyłem te doświadczenia podczas posiedzenia”.





Ampère w liście do swego syna Jean-Jacquesa
(wieczorem 25 IX 1820 r.):

„Cały czas miałem zajęty przez sprawy wielkiej wagi dla mojego życia. Od chwili, gdy dowiedziałem się o świetnym odkryciu pana Oersteda, profesora w Kopenhadze, o działaniu prądów galwanicznych na igłę magnetyczną, ciągle o tym myślałem chcąc podać obszerną teorię tych zjawisk, poruszyć teorie istniejące wcześniej i wykonać doświadczenia wynikające z mojej teorii; doświadczenia te się udały i pozwoliły poznać wiele faktów. Początek traktatu przedstawiłem na posiedzeniu w poniedziałek tydzień temu. W następnych dniach wykonałem albo z Fresnelem, albo z Despretzem doświadczenia potwierdzające moje wnioski.”



Ampère w liście do swego syna Jean-Jacquesa
(wieczorem 25 IX 1820 r.) cd:

„W piątek powtórzyłem wszystkie doświadczenia u Poissona. Wszystko pięknie się udało, ale końcowe doświadczenie, które traktowałem jako ostateczny dowód, wykonane przy użyciu dwóch zbyt słabych stosów, nie udało się mnie i Fresnelowi. Wreszcie wieczorem otrzymałem od Dulonga wielki stos i doświadczenia jakie wykonałem przyniosły pełny sukces; dziś o 4-tej powtórzyłem je na posiedzeniu Akademii. Nie było żadnych sprzeciwów, jest to nowa teoria sprowadzająca wszystkie zjawiska do zjawisk galwanizmu. Zupełnie to nie podobne do tego, co myślałem dotychczas. Jutro objaśnię na nowo tę teorię panu Humboldtowi, a pojutrze panu Laplace'owi...”

André Marie Ampère (1820)



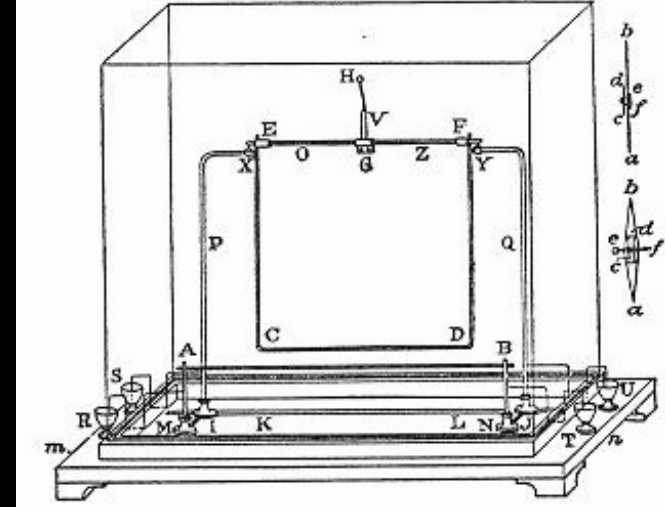
„Działanie elektromotoryczne przejawia się w dwóch rodzajach zjawisk, które - jak sądzę - należy rozróżnić precyzyjnymi definicjami. Pierwsze nazwę *napięciem* elektrycznym, a drugie - *prądem* elektrycznym.

Pierwsze obserwujemy, jeżeli ciała, między którymi ono występuje, są oddzielone od siebie przez ciała nieprzewodzące we wszystkich punktach ich powierzchni, z wyjątkiem tych, gdzie ono się zdarza; drugie występuje, kiedy ciała tworzą część obwodu ciał przewodzących, które są w kontakcie w punktach powierzchni różnych od tych, w których działanie elektromotoryczne powstaje...

W tym drugim przypadku nie ma już napięcia elektrycznego, lekkie ciała nie są w widoczny sposób przyciągane, a zwykły elektrometr nie może już nam wskazywać stanu ciał; mimo to jednak działanie elektromotoryczne się utrzymuje...”



André Marie Ampère



„Rozważając różne przyciągania i odpychania w przyrodzie wpadłem na myśl, że siła, której wyrażenia szukam, jest także odwrotnie proporcjonalna do odległości. Dla większej ogólności założyłem, że ta siła jest odwrotnie proporcjonalna do odległości w potęgze n , gdzie stałą n należy wyznaczyć. Oznaczając przez ρ nieznaną funkcję kątów θ , θ' miałem $\rho ii' ds ds' / r$ jako ogólne wyrażenie na siłę oddziaływania między elementami ds , ds' dwóch prądów o natężeniach i oraz i' .”

Jeżeli θ oraz θ' są kątami między r oraz elementami ds oraz ds' , a ε jest kątem między elementami ds oraz ds' , to według Ampère'a:

$$F = \frac{ii' ds ds'}{2r^2} (2 \cos \varepsilon - 3 \cos \theta \cos \theta')$$



James Clerk Maxwell o pracach Ampère'a

„Badania doświadczalne, na których podstawie Ampère ustalił prawa działania mechanicznego między prądami elektrycznymi, stanowią jedno z najświetniejszych osiągnięć w nauce. Wydaje się, że ta całość, teoria i doświadczenie, wyskoczyły z mózgu tego „Newtona elektryczności” całkowicie ukształtowane i gotowe do użytku. Forma jej jest doskonała, ścisłość bez zarzutu, a wszystko streszcza się w jednym wzorze, z którego można wyprowadzić wszystkie zjawiska, i który musi na zawsze pozostać zasadniczym wzorem elektrodynamiki. Ale metoda Ampère'a, chociaż ułożona w postać indukcji, nie pozwala nam śledzić tego kształtowania się pojęć, które nią kierowało. Trudno nam uwierzyć, że Ampère rzeczywiście odkrył prawo działania prądów na podstawie eksperymentów jakie opisuje. Zaczynamy podejrzewać to, o czym zresztą on sam mówi, że odkrył to prawo jakąś metodą, której nam nie pokazuje, a następnie zbudowawszy dowód doskonały, zatarł wszelkie ślady rusztowania, które służyło mu do jego wzniesienia.”

(*Treatise on Electricity and Magnetism*, cz. IV)

Długoletnie nieudane poszukiwania zjawiska wytwarzania prądu przez magnetyzm spowodowane tym, że poszukiwano efektu **statycznego**

1822 Doświadczenie Ampère'a i de la Rivy - błędna interpretacja zauważonego efektu indukcji elektromagnetycznej

1824 Doświadczenie Arago z oscylacjami igły magnetycznej

1825 Doświadczenie Arago z pociąganiem igły magnetycznej przez obracającą się tarczę

1825 Nieudane doświadczenie Colladona

1824-1829 Nieudane doświadczenia Faradaya

29 VIII 1831 Odkrycie indukcji elektromagnetycznej

Michael Faraday



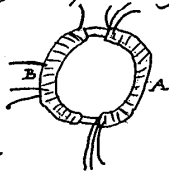
- 22 IX 1791 Urodził się w Londynie
- 1 III 1813 Asystent w Royal Institution
- IX 1821 Odkrycie „rotacji magnetycznej”
- III 1823 Skroplenie chloru
- II 1825 Dyrektor Royal Institution
- V 1825 Odkrycie benzenu
- 29 VIII 1831 Odkrycie indukcji elektromagnetycznej
- 1832 Dowód identyczności 5 rodzajów elektryczności
- 1832-1834 Prawa elektrolizy
- 1836 „Klatka Faradaya”
- od 1837 Badania dielektryków
- 1845-1855 Idea pola elektromagnetycznego
- 13 IX 1845 Odkrycie zjawiska magnetoptycznego
- 4 XI 1845 Odkrycie diamagnetyzmu i paramagnetyzmu
- 25 VIII 1867 Umarł w Londynie

„Sierpień 29, 1831. Eksperymenty dotyczące wytwarzania elektryczności z magnetyzmu etc. Wykonałem pierścień żelazny (z miękkiego żelaza) okrągły, 7/8 cala grubości, o zewnętrznej średnicy 6 cali. Nawinałem na jednej połowce wiele zwojów drutu miedzianego, zwoje odizolowane były od siebie sznurkiem i perkalem. Były tam trzy kawałki drutu, każdy o długości około 24 stopy; można je było łączyć razem, lub używać oddzielnie. Sprawdziłem przy użyciu baterii, że każdy z kawałków był odizolowany od drugiego. Tę część przewodnika nazwę A. Po drugiej stronie w pewnym odstępie nawinięty był drut z dwóch kawałków o łącznej długości około 60 stóp, kierunek nawinięcia tak jak w poprzednich zwojach; tę część pierścienia nazwę B.”

Aug 29th 1831.

Effts on the production of Electricity from Magnets etc

There had an wire my made (soft iron), was round and ^{1/2} inches thick & my 6 inches in external diameter. Wound many coils of copper wire round one half the coils being separated by wire of silk - there were 3 lengths of wire each about 24 feet long, and they could be connected as one length or used as separate lengths by trial with a trough each was wrapped from the other will call this side of the Ring A. on the other side but separated by an interval was wound wire in two pairs together amounting to about 60 feet in length the direction being as with the former coils this side call B.



Changed a battery of 10 ft plates 4 inches square. Made the coil on B only one coil and connected its extremities by a copper wire passing to a distance and put over a magnetic needle (3 feet from wire ring). Then connected the end of one of the pairs on A side with battery. immediately a visible effect on needle it oscillated & settled at half an angular position. On breaking connection of A side with battery again a disturbance of the needle.

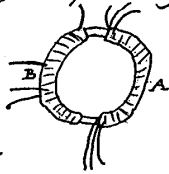
Made all the wires on A side one coil and sent one sent from battery through the whole. Effect on needle much stronger than before.

The effect of the needle then had a very small part of that which the wire communicating directly with the battery could produce.

Aug 29th 1831.

Effts on the production of Electricity from Magnets

There had an wire ^{10 ft} made (soft iron), was wound ¹⁰⁰ inches thick of very 6 inches in external diameter. Wound many coils of copper wire round one half the coils being separated by wire of silk - there were 3 lengths of wire each about 24 feet long, and they could be connected as one length or used as separate lengths by trial with a trough each was wound from the other will call this side of the Ring A. on the other side but separated by an interval was wound over in two pairs together amounting to about 60 feet in length the direction being as with the former coils this side call B.



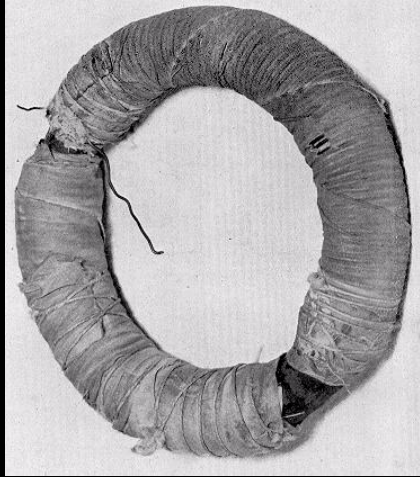
Changed a battery of 10 ft plates 4 inches square. Made the coil on B only one coil and connected its extremities by a copper wire passing to a distance and put over a magnet wire (3 feet per wire only). Then connected the end of one of the pairs to a side with battery. immediately a visible effect on needle to pull out of center at bit in original position. On breaking connection of -A side with battery gave a disturbance of the needle.

Made all the wires on one side one coil and sent one sent from battery through the whole. Effect on needle much stronger than before.

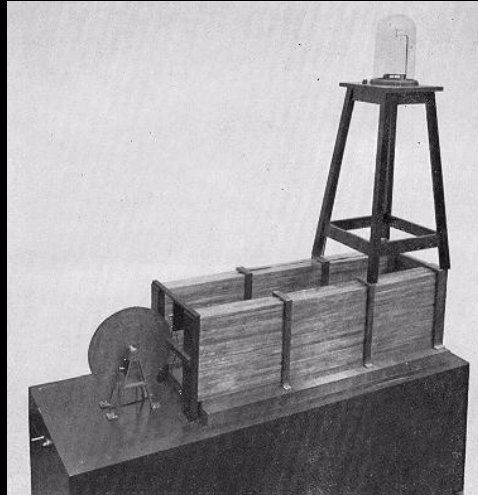
The effect of the needle then had a very small part of that which the wire communicating directly with the battery could produce.

„Naładowałem baterię z dziesięciu par czterocalowych płyt. Połączyłem zwoje po stronie B w jedną cewkę i połączyłem jej końce drutem miedzianym, który w odległości 3 stóp od pierścienia przechodził tuż ponad igłą magnetyczną. Potem połączyłem końce jednego z odcinków po stronie A z baterią; natychmiast widoczny wpływ na igłę. Oscylowała ona i powróciła w końcu do pierwotnego położenia. Przy przerwaniu połączenia strony A z baterią znów zaburzenia igły. Połączyłem wszystkie odcinki po stronie A w jedną cewkę i przepuściłem przez tę całość prąd z baterii. Wpływ na igłę dużo silniejszy niż poprzednio...”

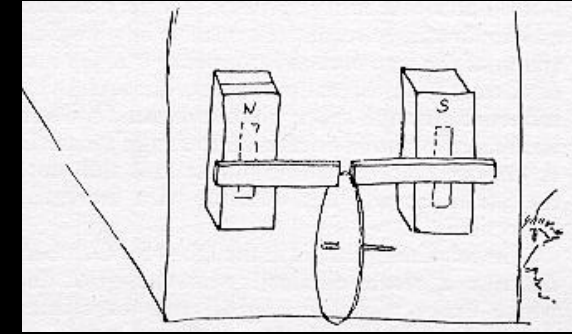
Eksperymenty Michaela Faradaya



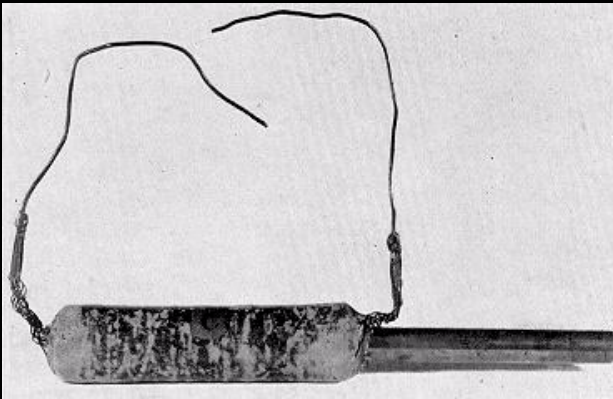
Cewka użyta
29 VIII 1831



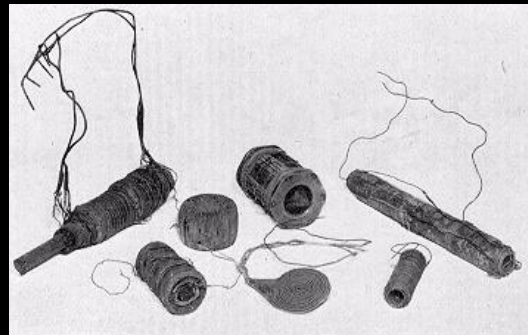
Eksperyment z 28 X 1831



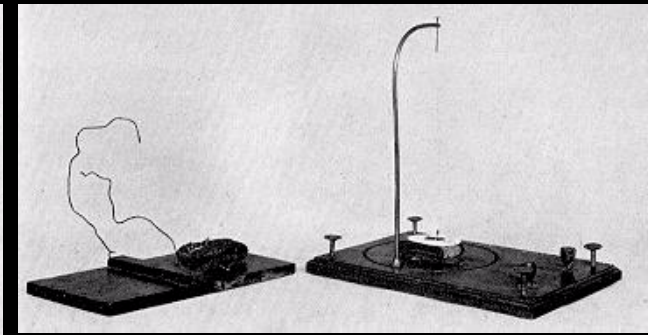
(szkic)



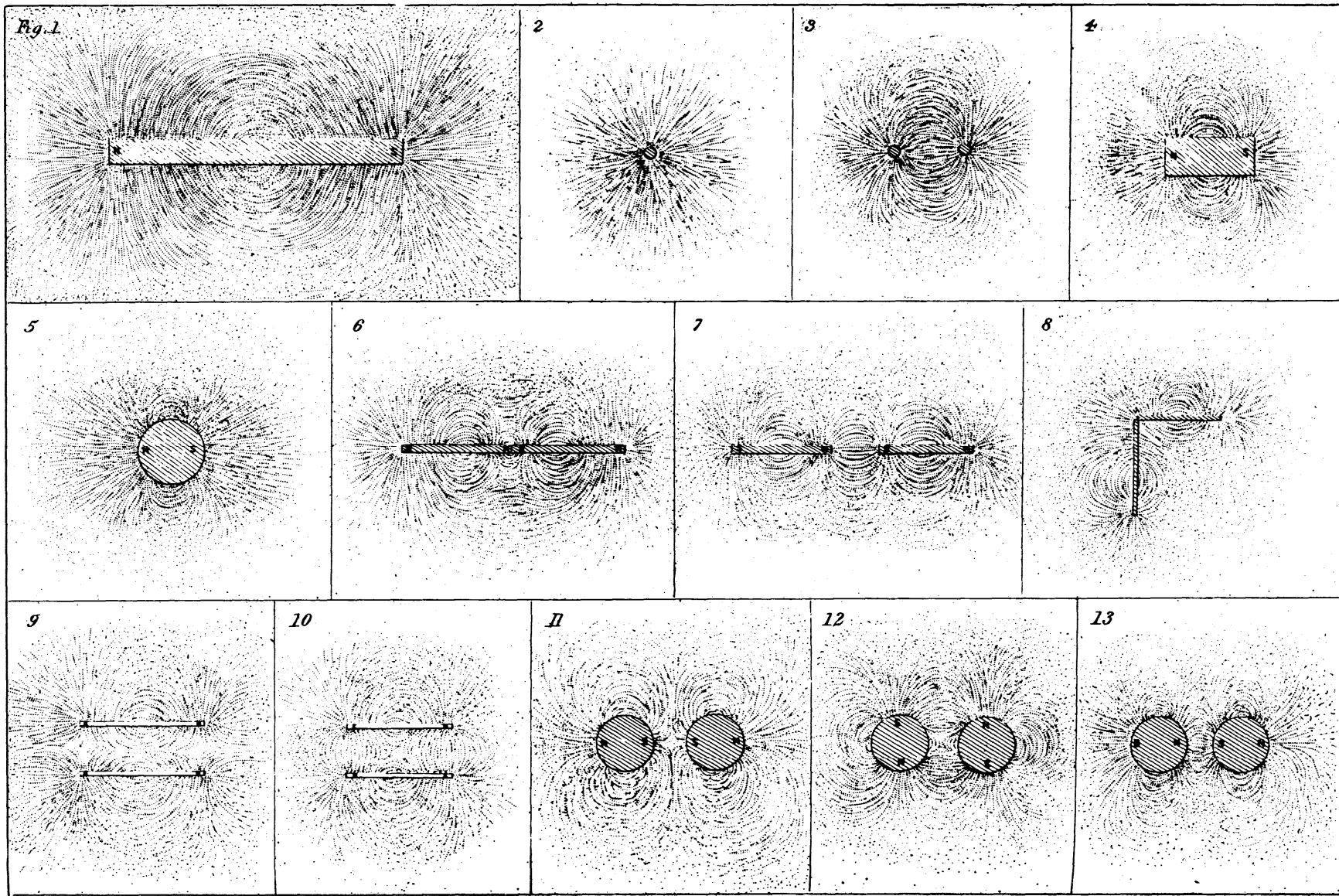
Cewka użyta
17 X 1831



Cewki Faradaya



Galwanometry
Faradaya



Linie pola magnetycznego w doświadczeniach Faradaya

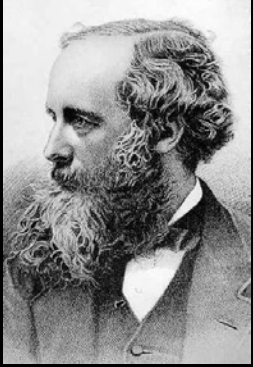


Maxwell o metodzie Faradaya



„Metoda, którą posługiwał się Faraday w swych badaniach polegała na ciągłym odwoływaniu się do doświadczenia jako środka sprawdzania poprawności pojęć i na ciągłym doskonaleniu tych pojęć pod bezpośrednim wpływem doświadczenia. W ogłoszonych przez niego opisach badań znajdujemy te pojęcia wyrażone językiem, który jest najwłaściwszy dla rodzącej się nauki, ponieważ jest nieco odmienny od stylu fizyków przywykłych do matematycznych form rozumowania.”

Traktat o elektryczności i magnetyzmie, cz. 4

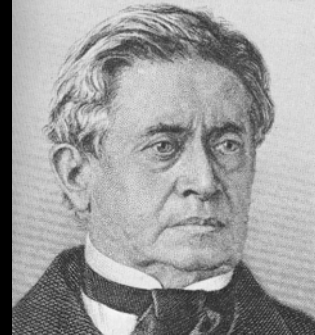


Maxwell o metodzie Faradaya



„Było to może z korzyścią dla nauki, że Faraday, chociaż w pełni świadom zasadniczych pojęć przestrzeni, czasu i siły, nie był zawodowym matematykiem. Nie kusilo go zagłębianie się w liczne interesujące dociekania w matematyce czystej, które by mu podsuwały jego odkrycia, gdyby były ujęte w formę matematyczną, i nie czuł się powołany do narzucania swym pomysłom kształtu odpowiadającego matematycznemu gustowi jego epoki, ani do wyrażania ich w postaci, którą by matematycy mogli atakować. W ten sposób miał dość czasu, aby wykonywać swe prace, uzgadniać swe idee z poznawanymi faktami i wyrażać je językiem naturalnym i nietechnicznym.”

Odkrycie samoindukcji



„Chciałbym wspomnieć jeden fakt, o którym nie widziałem wzmianki w żadnej pracy, a który wydaje mi się należeć do tej samej klasy zjawisk, co opisane powyżej. Oto on: jeśli mała bateria jest nieznacznie wzbudzona przez rozcieńczony kwas, a jej bieguny - które muszą się kończyć w naczyniach z rtęcią - są połączone drutem miedzianym o długości mniejszej niż stopa, to nie obserwuje się iskry przy zamykaniu lub przerywaniu połączenia; jeśli jednak zamiast drutu krótkiego użyje się drutu o długości 30 lub 40 stóp, to chociaż nie widać iskry przy zamykaniu połączenia, wyraźna iskra tworzy się przy jego przerywaniu - przez wyciągnięcie jednego końca drutu z naczynia z rtęcią. Jeżeli działanie baterii uczynimy bardziej intensywnym, to iskrę widać przy użyciu krótkiego drutu... Efekt ten wydaje się nieco większy, gdy drut zwiniemy w cewkę, zdaje się też zależeć w pewnym stopniu od długości i grubości drutu. Mogę wyjaśnić te zjawiska tylko przypuszczając, że drut długi staje się naładowany elektrycznością, która działając na siebie samą wytwarza iskrę przy przerywaniu połączenia...”

Joseph Henry, O wytwarzaniu prądów i iskier elektryczności z magnetyzmu, *American Journal of Science and Arts* (1832)

Heinrich Friedrich Emil Lenz (1834)



„Kiedy przeczytałem rozprawę Faradaya doszedłem do wniosku, że wszystkie eksperymenty nad indukcją elektrodynamiczną można bardzo łatwo sprowadzić do praw ruchu elektrodynamicznego, jeśli więc uznamy te ostatnie za znane, to tym samym będą określone te pierwsze... Prawo, według którego zjawiska magnetoelektryczne redukują się do zjawisk elektromagnetycznych brzmi następująco: Jeżeli przewodnik metaliczny porusza się w sąsiedztwie prądu galwanicznego lub magnesu, to powstanie w nim prąd galwaniczny o kierunku takim, że gdyby drugi przewodnik był nieruchomy, to prąd ten spowodowałby ruch dokładnie w kierunku przeciwnym; zakłada się przy tym, że drut w spoczynku mógłby się przesuwac tylko w kierunku ruchu i w kierunku przeciwnym. Zatem, aby przedstawić kierunek prądu wzbudzonego w poruszającym się drucie przez indukcję elektrodynamiczną, rozważamy kierunek, w jakim winien by płynac prąd, aby wywołać ruch zgodny z prawami elektromagnetycznymi; prąd w drucie będzie wzbudzony w kierunku przeciwnym...” (1834)

Eksperymenty Ohma (1825)



Druty jednakowej grubości, różnej długości

Drut standardowy:

Odczyt s

Drut badany

Odczyt a

„Ułamkowa strata siły”

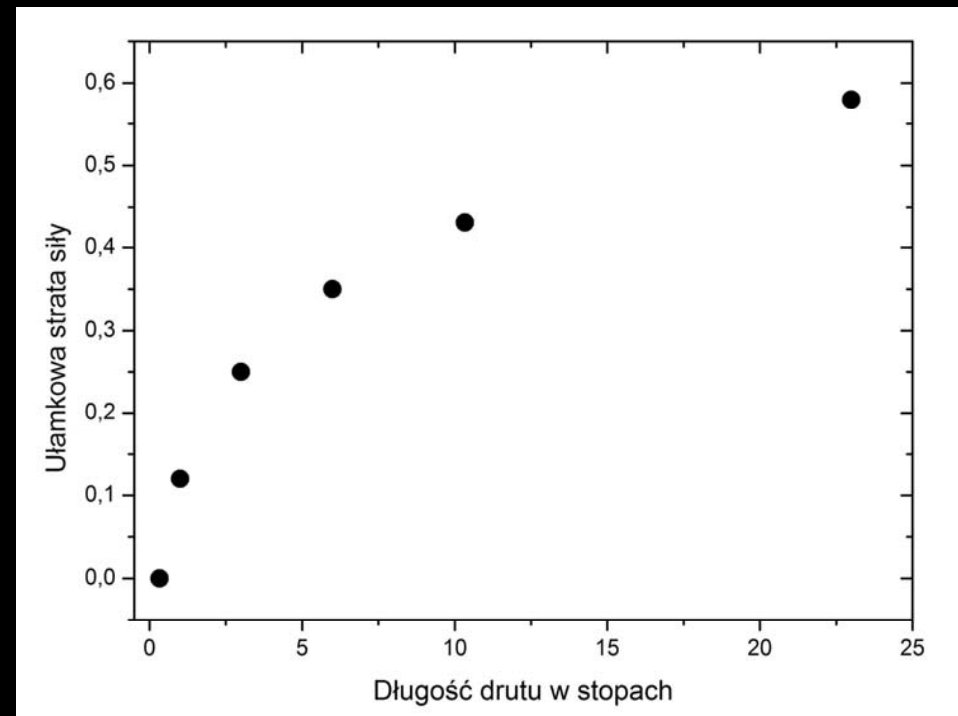
$$v = (s - a)/s$$

Prawo Ohma (1825)

$$v = m \log(1 + x/a)$$

(x - długość drutu,

m - parametr)



V.

Vorläufige Anzeige des Gesetzes, nach welchem Metalle die Kontaktelektricität leiten;

von

Dr. G. S. Ohm, Oberlehrer zu Köln.

Durch mehrere Wahrnehmungen veranlaßt, habe ich sorgfältige und vielfach wiederholte Versuche über die Fortleitung der Kontaktelektricität in Metallen angestellt und Resultate erhalten, zu deren schleuniger Mittheilung ich mich um so mehr bewogen fühle, als meine geringe, ziemlich verkümmerte Muse mir es nicht gestattet, das Ende dieser Untersuchung so bald herbeizuführen. Und ich hoffe, dem theilnehmenden Publikum einen Dienst zu erzeigen, indem ich an jeder Stelle den Grund angebe, der mich zu einer neuen Reihe von Versuchen bewog.

Zu den Versuchen selbst gebrauchte ich einen Kupfer-Zink-Trog von 13 Zoll Höhe und 16 Zoll Länge. Aus dem Zink ging ein Draht *A* in ein Gefäß mit Quecksilber *M*, aus dem Kupfer ein Draht *B* in ein Quecksilbergefäß *N*; ferner wurde ein Draht *C* aus dem Gefäße *M* in ein drittes *O* geleitet. Der Kürze halber werde ich die Dräthe *A*, *B*, *C* zusammen genommen den *unveränderlichen Leiter* nennen. Außer diesen hatte ich noch 6 andere: *o*, *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, deren Längen respektive $\frac{1}{2}$, 1, 3, 6, $10\frac{1}{2}$, 23 Fufs be-



Theilers *C* vom unveränderlichen Leiter 2 Fufs 0,3 Linien dicken Draht, so daß also im Ganzen der unveränderliche Leiter jetzt aus 4,5 Fufs von demselben Drahte bestand, woraus die veränderlichen Leiter *a* bis *f* gebildet waren. Das Resultat dieser Versuche war folgendes:

Leiter	<i>o</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
Kraftverlust beob.	0,00	0,04	0,10	0,16	0,23	0,30	0,56

Setzt man in obige Formel, wie hier geschehen muß, $a = 4,5$ und wählt für *m* den Werth 0,452, wie ihn die letzte Angabe liefert, so findet man

Leiter	<i>o</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>
Kraftverlust berechn.	0,000	0,039	0,100	0,166	0,234	0,355	0,56

Diese Uebereinstimmung der beobachteten mit den berechneten Werthen ist als vollkommen anzusehen, um so mehr, als bei diesen Versuchen die Normalkraft an der Drehwage stets zwischen 44 und 43 Theilen sich aufhielt, und ich kleinere als halbe Theile nie berücksichtigt habe.

Nach diesen Versuchen sehe ich das Gesetz

$$v = m \log \left(1 + \frac{x}{a} \right)$$

als hinlänglich durch die Erfahrung bestätigt an. Daß es für $x = -a$, $v = -\infty$ giebt, widerspricht keineswegs unserer anderweitigen Vorstellung von der Natur der galvanischen Kraft. Aus ihm erklärt sich von selbst die auffallend starke Wirkung des von

Eksperymenty Ohma (1825)



Porównanie z językiem obecnym:

$$v = m [\log(a + x) - \log a] \approx mx/a$$

ponieważ $\log(a + x) = \log a + x/a + x^2/2a^2 + \dots$

$$I_n = E/R \quad I_o = E/(R + r) \quad \{r - \text{drut badany}, R \approx R_w\}$$

$$I_n - I_o = E [1/R - 1/(R + r)] \approx Er/R^2$$

dla $r \ll R$, $(I_n - I_o)/I_n \approx Er/I_n R^2$

Eksperymenty Ohma (1826)

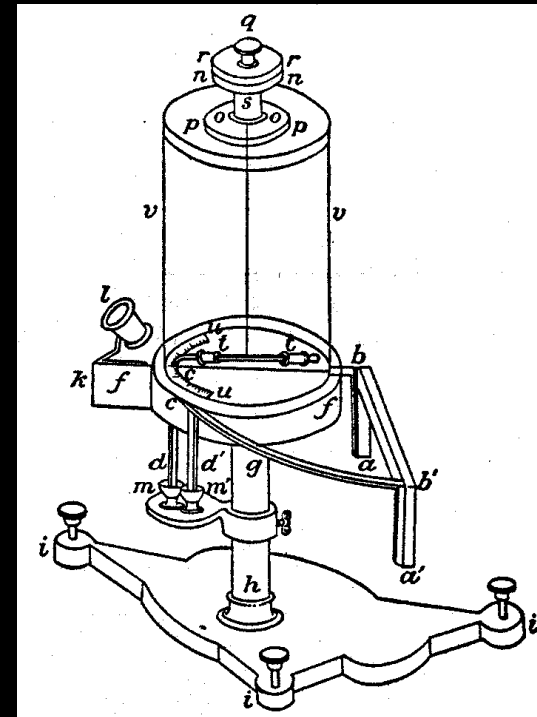


„Działanie magnetyczne prądu” $X = a/(b + x)$

x - długość drutu

a - parametr zależny od ΔT

b - parametr charakteryzujący
niezmienną część obwodu





Wzór Webera (1846) na całkowitą siłę odpychania elektrostatycznego między dwoma poruszającymi się ładunkami e and e' :

$$F = \frac{ee'c^2}{r^2} \left[1 + \frac{r}{c^2} \frac{d^2r}{dt^2} - \frac{1}{2c^2} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 \right]$$

r – odległość między ładunkami,

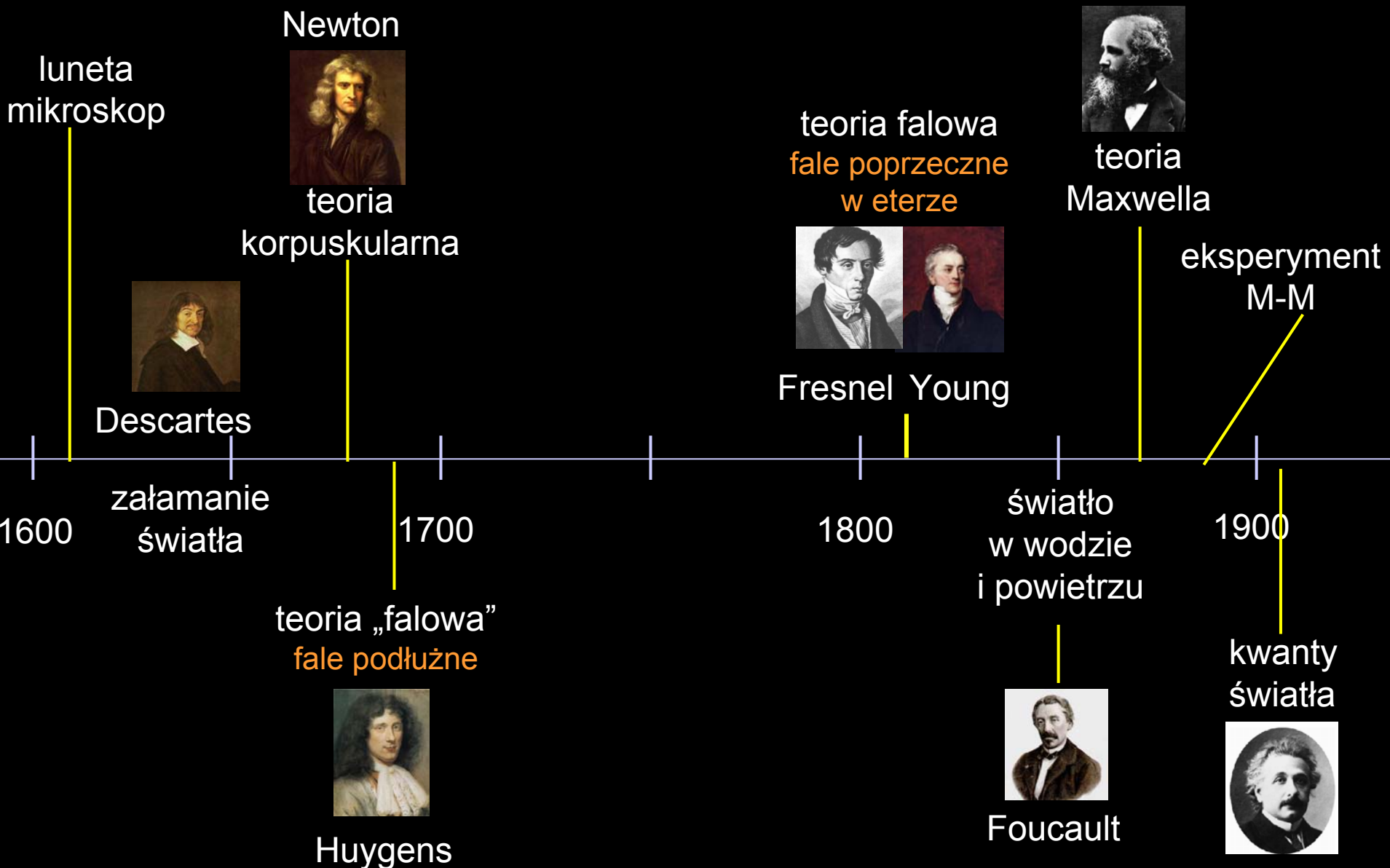
c – stała o wymiarze prędkości, równa w przybliżeniu $3 \cdot 10^{10}$ cm/s.

Według Webera sens fizyczny stałej c polegał na tym, że przy względnej prędkości ruchu ładunków punktowych e i e' równej $dr/dt = c\sqrt{2}$ ich przyciąganie elektrostatyczne jest skompensowane przez odpychanie elektrodynamiczne, tak że wypadkowa siła będzie równa zero. Wartość stałej c można było wyznaczyć bezpośrednio ze stosunku jednostek elektrostatycznych do elektrodynamicznych

Weber i Kohlrausch (1856) wyznaczyli $c\sqrt{2} = 4,3944 \cdot 10^{10}$ czyli $c = 3,107 \cdot 10^{10}$

Rozwój optyki

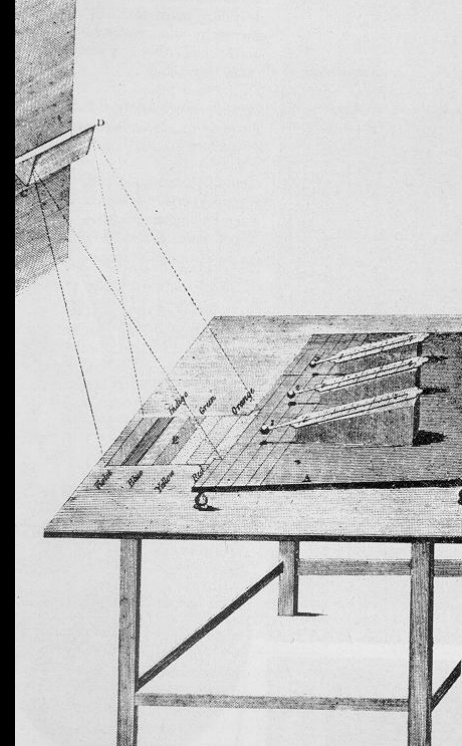
Trzy stulecia poznawania natury światła



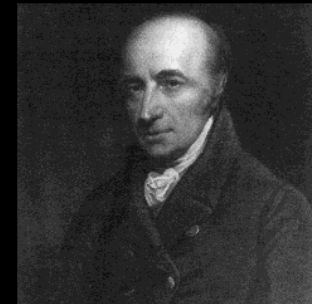


William Herschel

odkrycie promieni
podczerwonych
(1800)



odkrycie promieni
ultrafioletowych
(1801)



Johann Wilhelm Ritter
(1776-1810)

William Hyde Wollaston
(1766-1828)



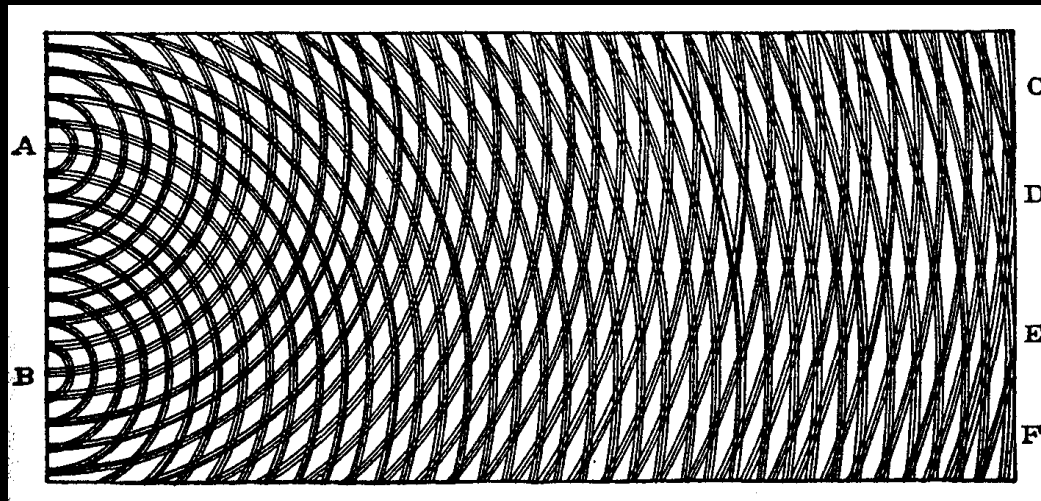
Cztery podstawowe postulaty Thomasa Younga (1801):

1. Cały wszechświat jest wypełniony światłonośnym eterem o bardzo małej gęstości i dużej sprężystości.
2. Światło wysyłane przez ciało wywołuje w eterze drgania.
3. Wrażenie różnych barw wynika z różnej częstości drgań wywołanych przez światło na siatkówce.
4. Wszystkie ciała materialne przyciągają eter, wskutek czego gromadzi się wewnątrz nich i w małej odległości od nich i ma tam większą gęstość, ale niezmienną sprężystość.

Thomas Young (1773-1829)

Ogólne prawo interferencji światła:

„... Kiedykolwiek dwie części tego samego światła dochodzą do oka po różnych drogach, albo dokładnie albo prawie dokładnie w tym samym kierunku, to światło staje się bardziej intensywne jeśli różnica dróg jest wielokrotnością pewnej długości, albo mniej intensywne w pośrednich stanach interferujących części; długość ta jest różna dla światła różnych barw...” (1802)



„Odrzucamy obecnie kiepski elaborat tego autora, gdzie bezskutecznie poszukiwaliśmy jakichś śladów wiedzy, wnikliwości i pomysłowości, które by mogły skompensować oczywisty brak umiejętności rzetelnego myślenia, spokojnego i cierpliwego dociekania oraz stopniowego odkrywania praw przyrody przez nieustanne, bezpretensjonalne obserwacje jej działań. Przystąpiliśmy do badania tej sprawy bez żadnych uprzedzeń z wyjątkiem zrozumiałej niechęci w stosunku do niejasnej hipotezy, która przez ponad półtora stulecia zwodziła prawdziwych miłośników nauki...

Czujemy się tym szczególnie powołani do wyrażenia naszej dezaprobaty, ponieważ wobec niespodziewanego wyróżnienia tej pracy przez najznakomitsze ciało naukowe, jest tym bardziej potrzebne odnotowanie protestu przed skromnym trybunałem piśmiennictwa.”

Lord Henry Brougham o pracy Younga (*Edinburgh Review*, 1805)

Badania światła spolaryzowanego

1808 Odkrycie polaryzacji światła
przy odbiciu

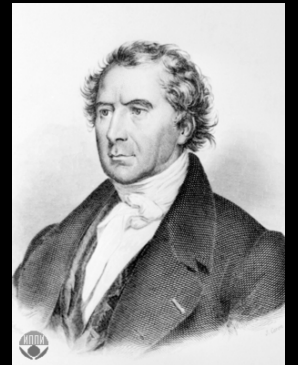
Etienne Louis Malus (1775-1812)



1810 Polaryzacja chromatyczna

1811 Polaryzacja kołowa

François Dominique Arago (1786-1853)



1815 Kąt Brewstera

David Brewster (1781-1868)

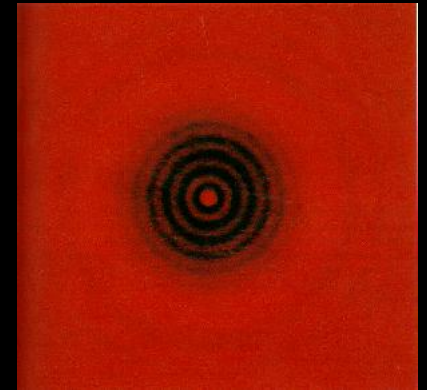




Augustin Fresnel (1788-1827)

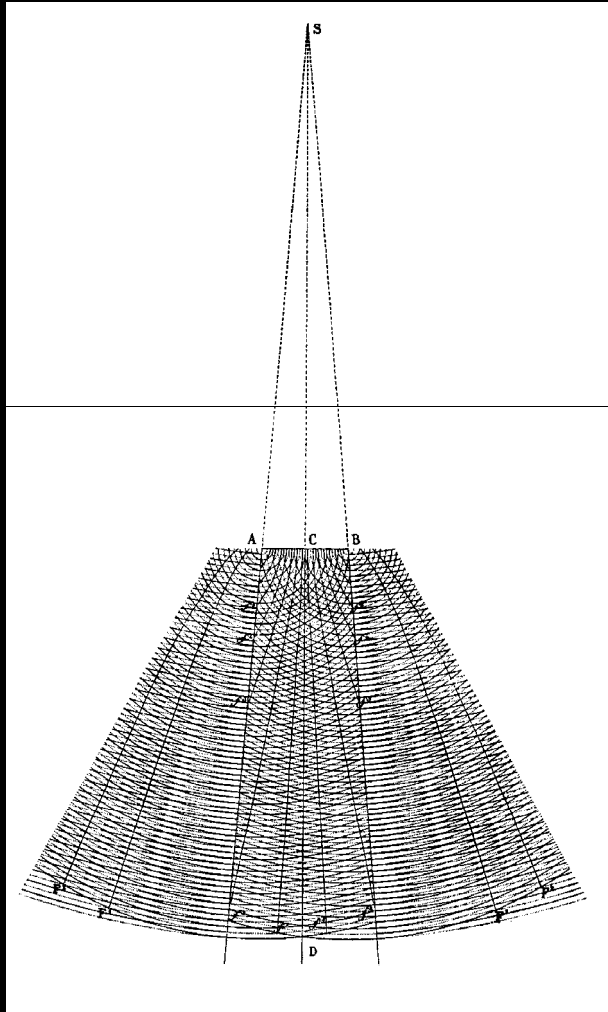
Dyfrakcja światła wybrana jako temat konkursu Académie des Sciences na rok 1818

Jury, w skład którego wchodził Arago, Biot, Gay-Lussac, Laplace i Poisson było zmuszone przyznać nagrodę Fresnelowi



Plamka
Poissona





Prażki dyfrakcyjne na rysunku w pierwszej rozprawie Fresnela na temat dyfrakcji światła (1816)

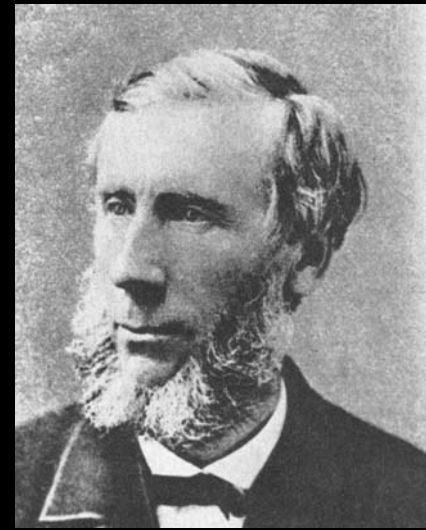


W celu wyjaśnienia polaryzacji światła Fresnel i Young, niezależnie od siebie i równocześnie (1817), zaproponowali, że światło to fale **poprzeczne**, a nie podłużne, jak to uważano powszechnie od czasów Hooke'a i Huygensa. Teoria falowa światła w jej współczesnej postaci jest zatem słusznie nazywana teorią Fresnel-Younga.

Postulat Fresnela i Younga o poprzeczności drgań świetlnych zapoczątkował studia nad właściwościami hipotetycznego eteru, ośrodka, który byłby ciałem stałym o bardzo dużej sprężystości, ale przezroczystym i nie stawiającym widocznego oporu w ruchu ciał niebieskich.

Autorami ważnych prac na temat właściwości eteru było wielu wybitnych uczonych: Augustin Cauchy, George Fitzgerald, George Green, Oliver Heaviside, Hermann Helmholtz, Gustav Kirchhoff, Joseph Larmor, Hendrik Lorentz, James Mac Cullagh, James Clerk Maxwell, Arnold Sommerfeld, George Stokes, William Thomson (Kelvin).

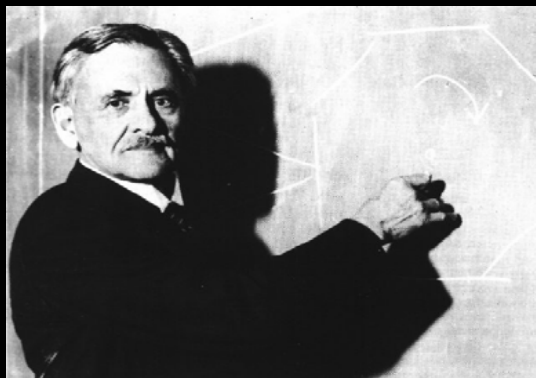
„...polot wyobraźni, wypełniający całą przestrzeń eterem świetlnym, drgającym w falach świetlnych, śmiałością swoją odstręczył umysły zbyt ostrożne.



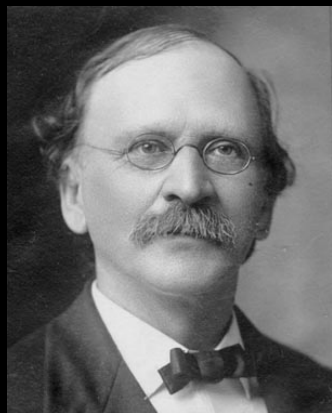
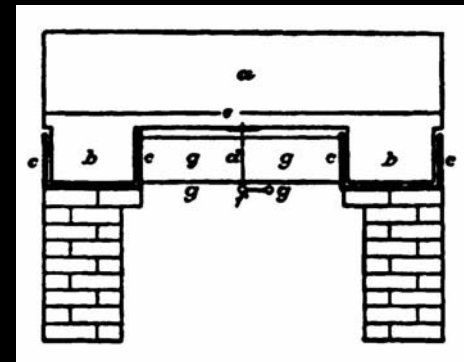
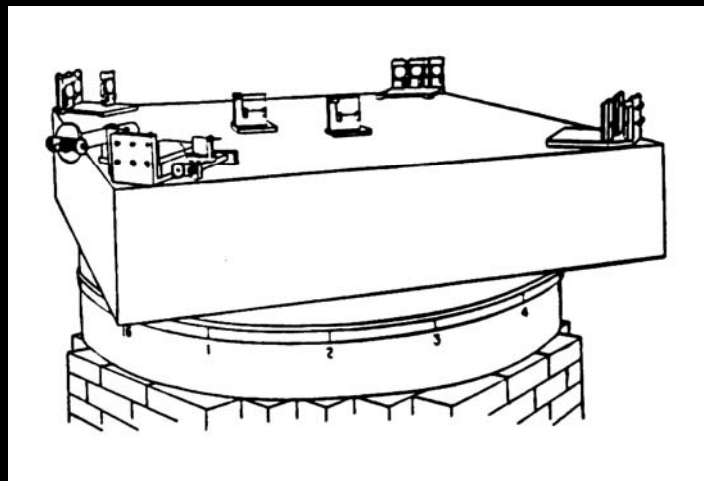
Podczas ostatniej ze mną pogawędki sir David Brewster podał jako najważniejszy zarzut przeciwko teorii falowej to, że nie może przypuścić, aby Stwórca był w stanie powziąć plan tak niedorzeczny, jak wypełnienie przestrzeni eterem dla wytworzenia fal świetlnych.”

John Tyndall, *Sześć wykładów o świetle wygłoszonych w Stanach Zjedn. w 1872-1873*, przekład z ang., Warszawa 1899

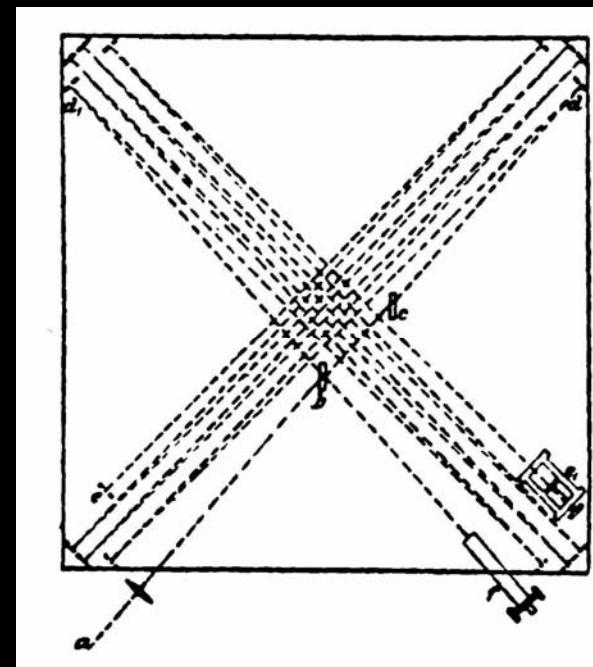
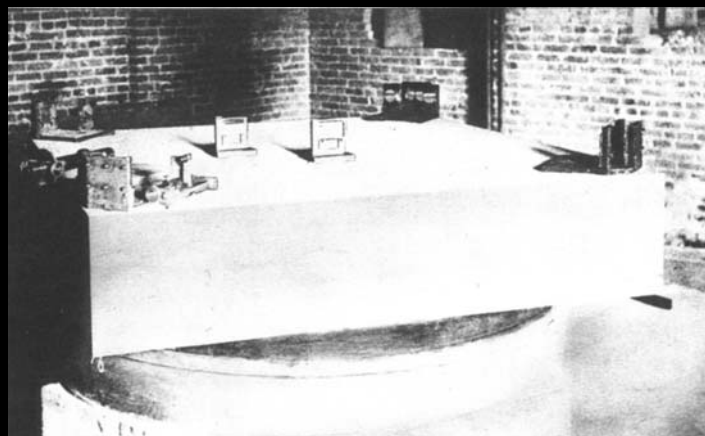
Eksperyment Michelsona-Morleya (1887)

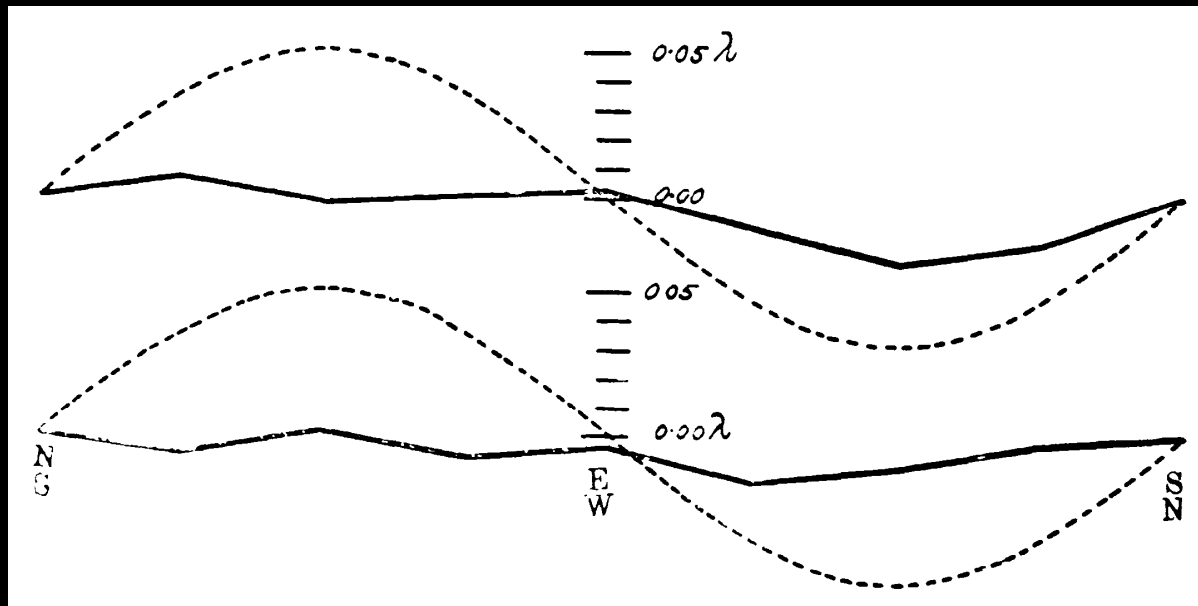


**Albert Michelson
(1852-1931)**



Edward Morley





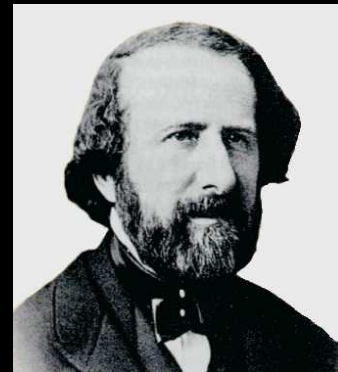
„Wyniki obserwacji są przedstawione w formie graficznej na rysunku. Krzywa górna odpowiada obserwacjom w południe, a krzywa dolna – obserwacjom wieczornym. Krzywe przerywane przedstawiają ósmą część przesunięcia teoretycznego. Wydaje się, że na podstawie tego rysunku można wnioskować, iż jeżeli istnieje jakiegokolwiek przesunięcie spowodowane względnym ruchem Ziemi i światłonośnego eteru, to nie może ono być dużo większe niż 0,01 odległości między prążkami.”

Michelson i Morley, *Amer. J. Sci.* XXXIV, No. 203, 333-345 (1887).

Christian Doppler (1803-1853)

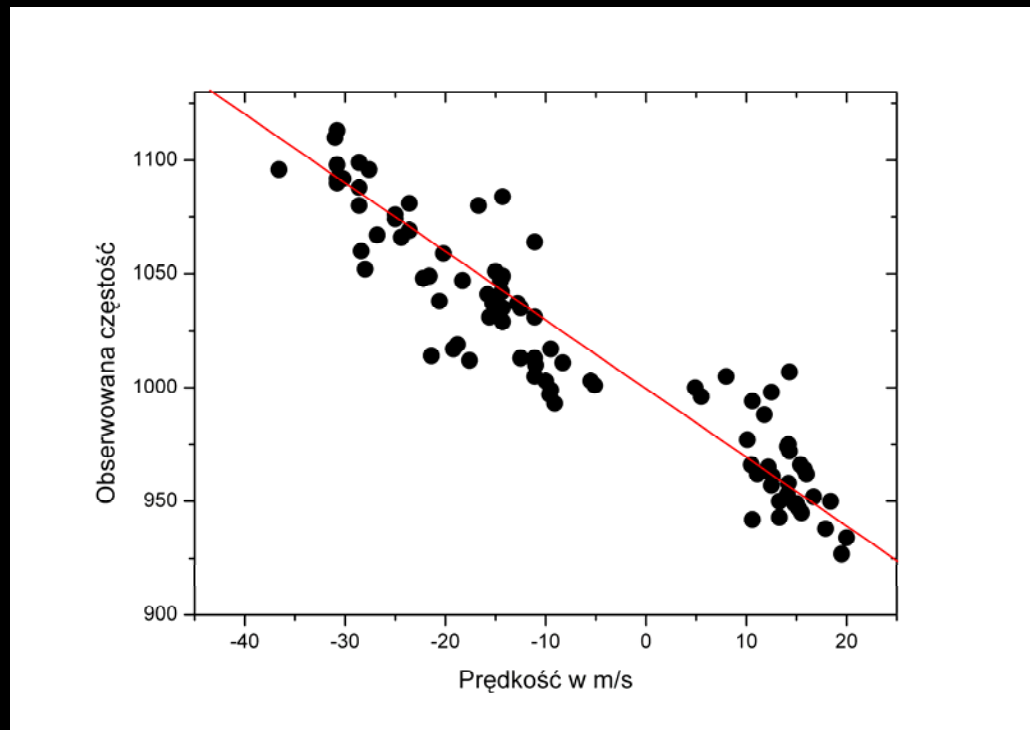


*Über das farbige Licht
der Doppelsterne* (1842)



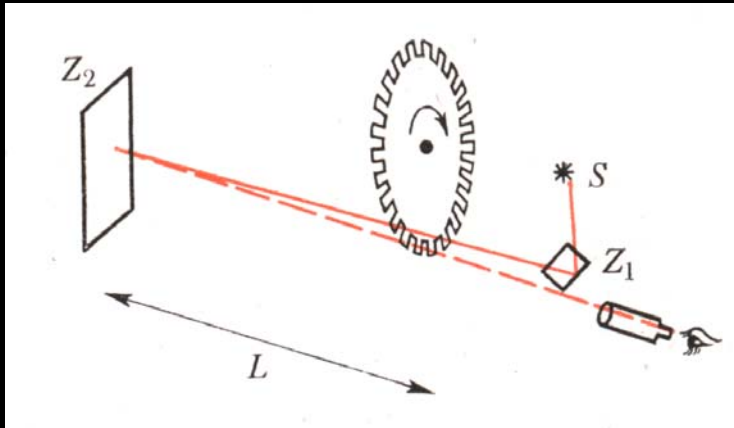
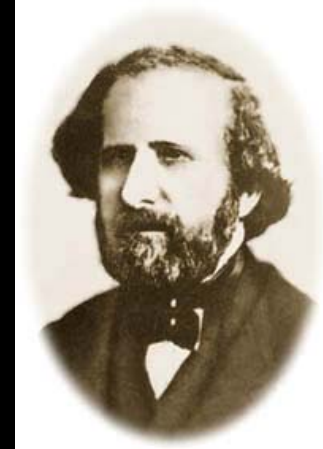
Hippolyte Fizeau podał pierwsze
poprawne wyjaśnienie zjawiska
Dopplera dla fal świetlnych (1849)

Eksperyment Buys-Ballota (1845)



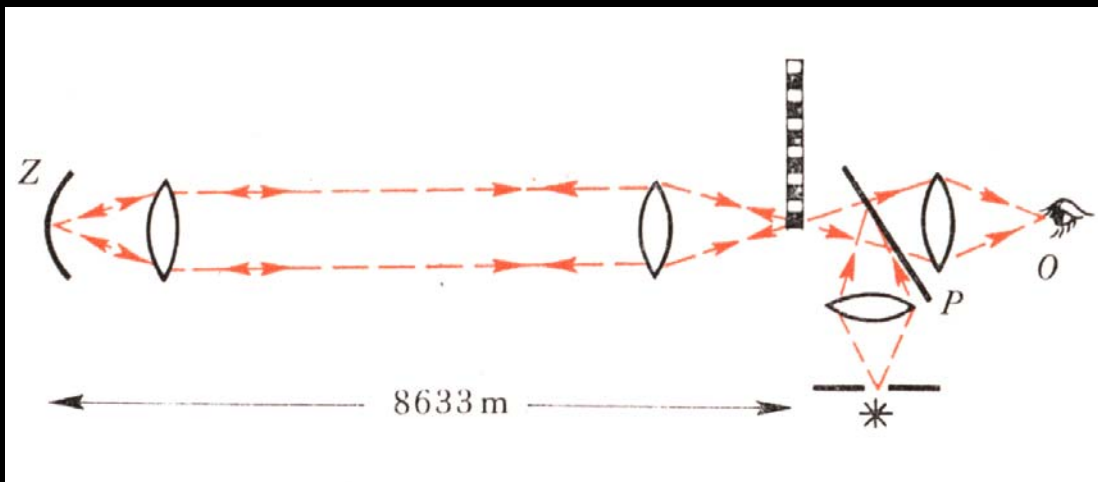
Pierwszy eksperyment potwierdzający zjawisko Dopplera dla fal dźwiękowych wykonał **Christophorus Buys-Ballot** na torze kolei między Utrechtem i Maarsen (1845)

Pierwszy laboratoryjny pomiar prędkości światła

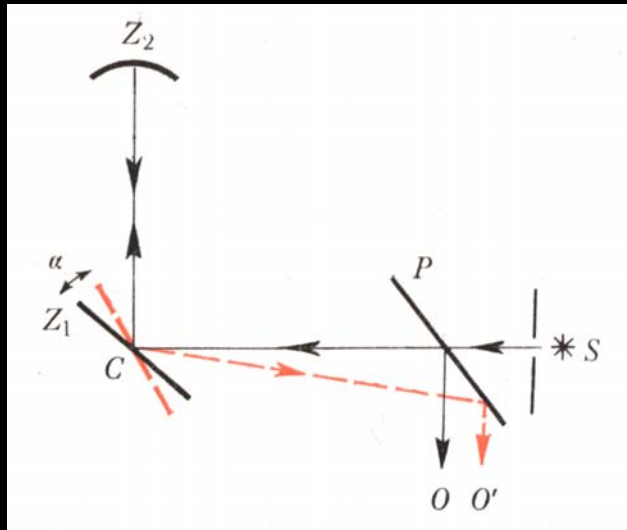


Metoda koła zębatego Fizeau

$c = 314\,000$ km/s (1849)



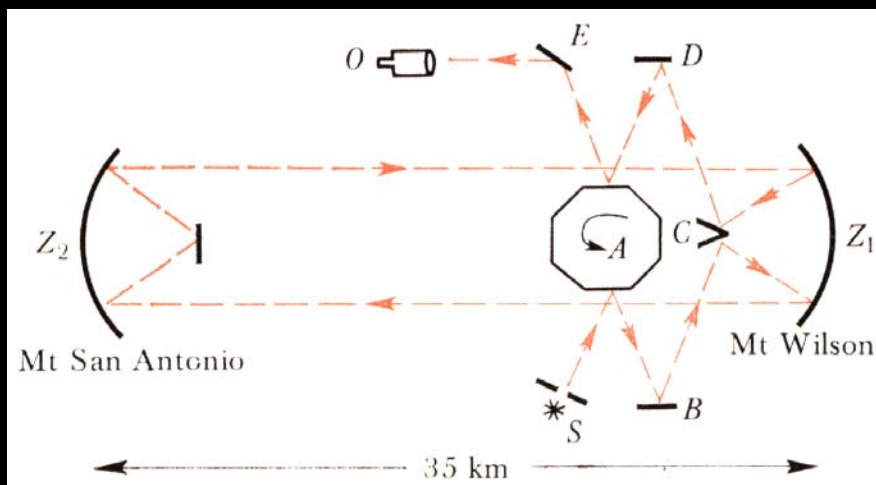
Laboratoryjne pomiary prędkości światła



Metoda Foucaulta
wirującego zwierciadła

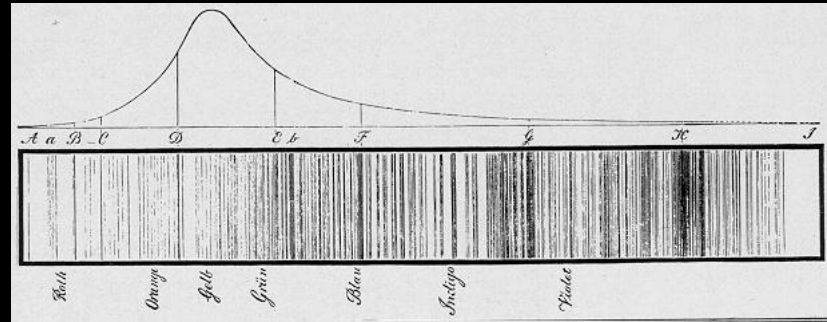
$c = 298\,300$ km/s (1850)

Prędkość światła w wodzie
mniejsza niż w powietrzu



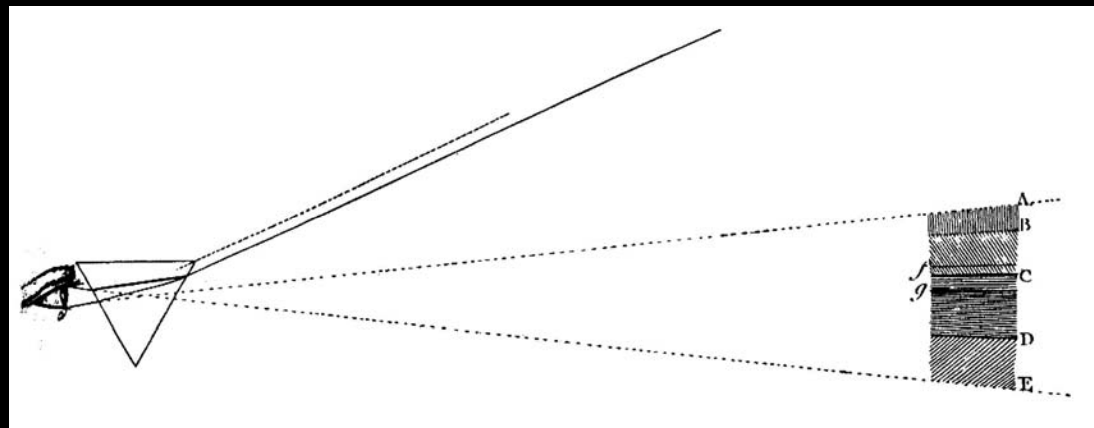
Metoda Michelsona

Josef Fraunhofer (1787-1826)



Skatalogował 574 ciemne linie w widmie Słońca

Ciemne linie w widmie Słońca zauważył wcześniej (1802) William Wollaston, ale uznał je po prostu za przerwy między barwami i nie kontynuował badań nie przywiązując wagi do swej obserwacji



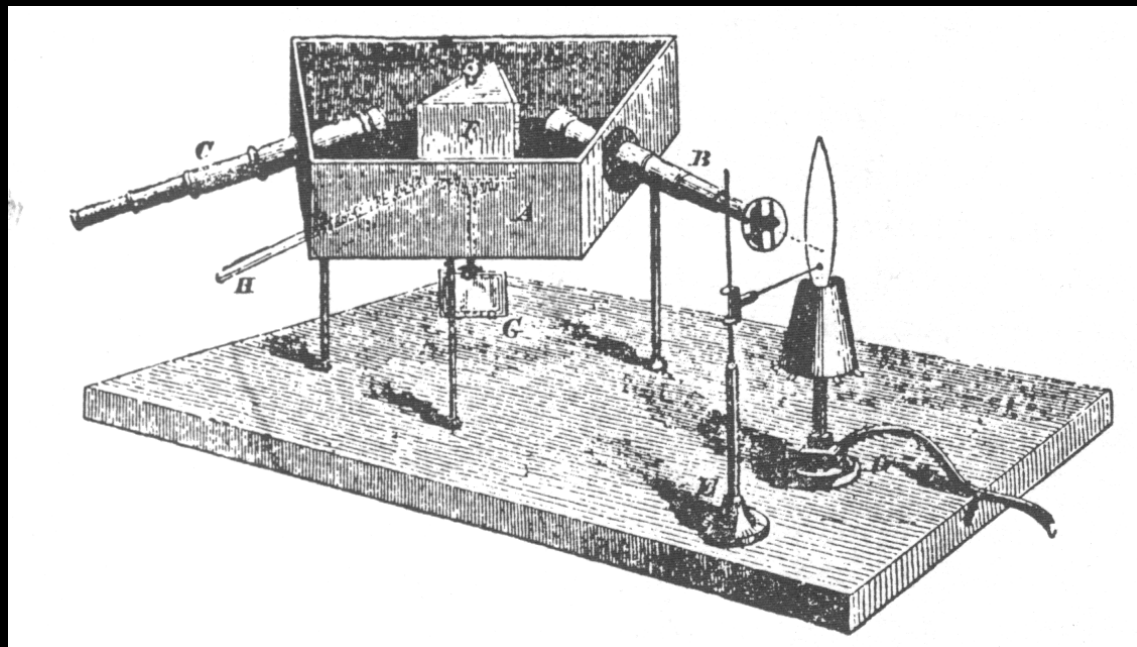
Analiza widmowa



Robert Bunsen
(1811-1899)



Gustav Kirchhoff
(1824-1887)



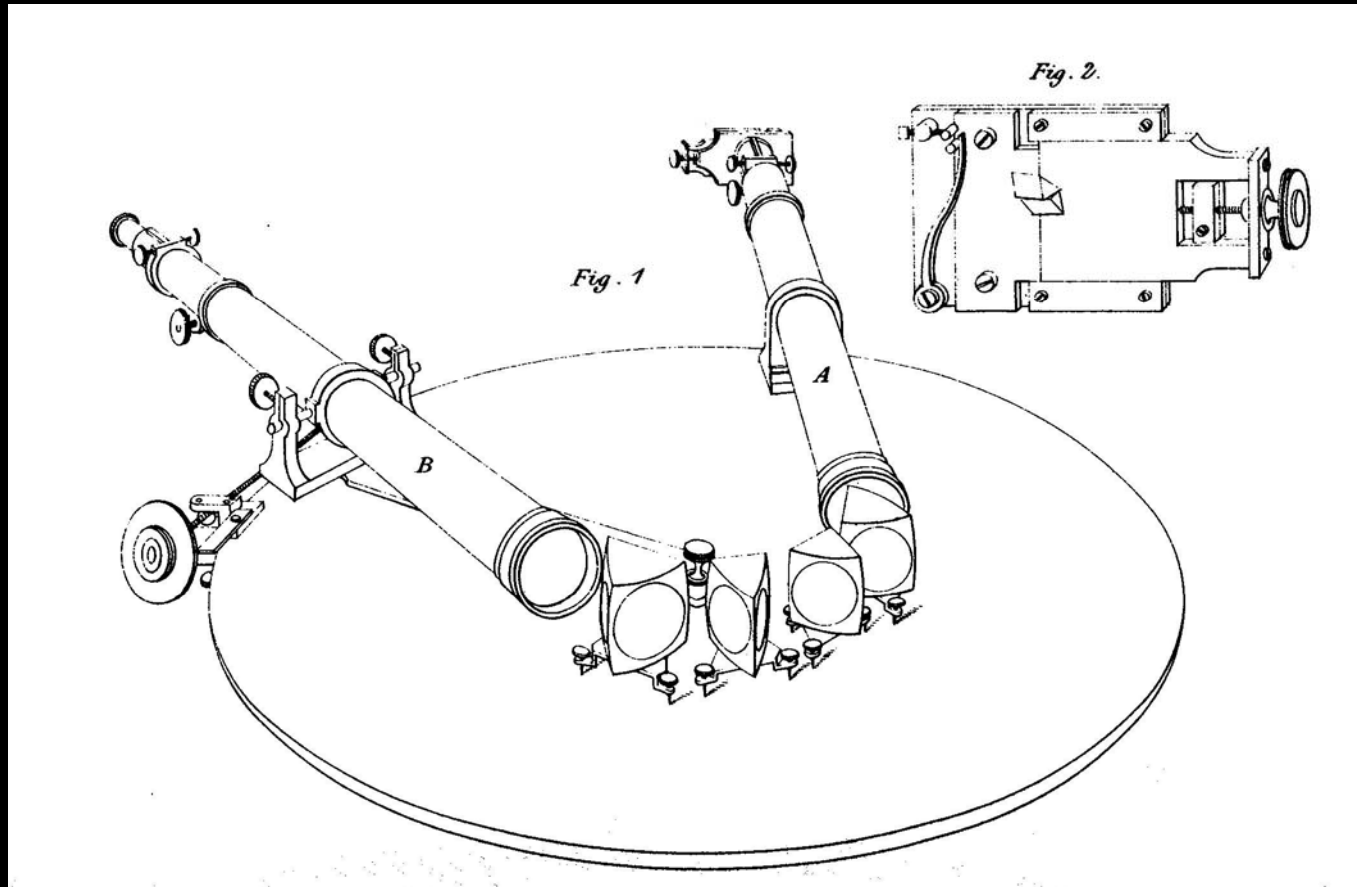
Spektroskop (1859)



W połowie XIX stulecia twórca pozytywizmu Auguste Comte (1798-1857) podawał skład chemiczny gwiazd jako przykład wiedzy niedostępnej, której człowiek nigdy nie posiada.

„...nigdy w żaden sposób nie będziemy mogli zbadać składu chemicznego gwiazd... wiedza pozytywna, jaką możemy mieć o nich, jest ograniczona tylko do ich właściwości geometrycznych i mechanicznych.”

Cours de philosophie positive (1830-42)



Aparatura Kirchhoffa służąca do badania widma Słońca i widm pierwiastków (1861)