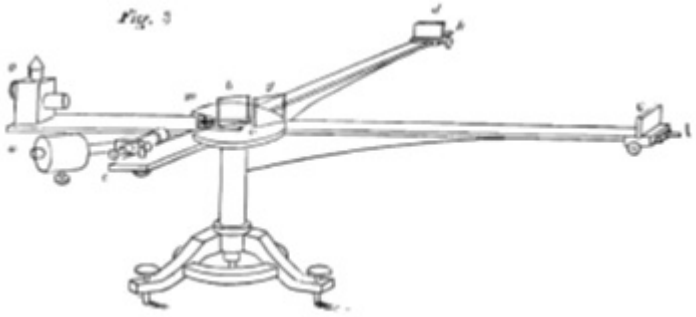
# Wpływ Michelsona na współczesne oblicze układu SI

Autor : Paweł Fotowicz
Opublikowane przez : Adam Żeberkiewicz

Zanim pierwsza Generalna Konferencja Miar w 1889 roku uchwaliła definicje metra i kilograma w oparciu o materialne wzorce tych podstawowych jednostek miar, Albert Michelson opracował i zbudował przyrząd optyczny, nazywany interferometrem, który przyczynił się do późniejszej rewolucji w miarach. Umożliwiał on interferencję fali światła emitowanego z tego samego źródła promieniowania. Urządzenie charakteryzowało się ogromną wrażliwością nawet na niewielkie zmiany położenia zwierciadeł odbijających promieniowanie, dochodzące do ułamkowych części długości fali światła, które można było obserwować w postaci wyraźnego ruchu prążków interferencyjnych lub zmiany ich intensywności. Ta właściwość przyrządu pozwalała na zastosowanie interferometru zarówno do badania natury samego światła, jak i wykorzystania go w metrologii.

Michelson był pasjonatem światła i znaczną część swojego naukowego życia poświęcił pomiarowi jego prędkości, natomiast swój pierwszy interferometr wykorzystał do badania hipotetycznego eteru, jako potencjalnego ośrodka rozchodzenia się fali elektromagnetycznej. Wyniki badawcze przedstawił w artykule opublikowanym w 1881 roku [1], w którym zamieścił rysunek skonstruowanego urządzenia (rys. 1.).

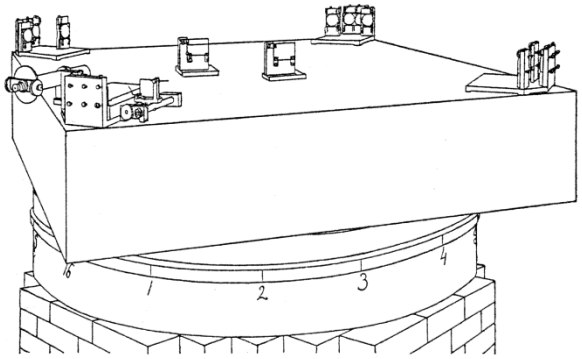


Rys. 1. Rysunek interferometru Michelsona zamieszczony w publikacji [1]

Ramiona interferometru były względem siebie prostopadłe, a źródłem promieniowania była lampa sodowa. Przesunięcie prążków interferencyjnych mierzono poprzez obserwację wykonywaną przy użyciu lunety zaopatrzonej w okular

mikrometryczny. Dzięki temu można było określić zmiany położenia prążka do jednej setnej odległości pomiędzy nimi. Kluczowym zagadnieniem stały się obliczenia Michelsona, które miały pokazać, o ile przesuną się prążki interferencyjne, gdy będziemy obracać interferometr wokół jego osi. Spodziewany ruch prążków miało wywoływać to, że w wyniku obrotu źródło promieniowania naprzemiennie ustawiać się będzie: zgodnie, prostopadle i przeciwstawnie do ruchu orbitalnego Ziemi wokół Słońca. Michelson spodziewał się, że w ten sposób do prędkości światła będzie dodawać się (i od niej odejmować) szybkość orbitalna Ziemi, co po przeliczeniu na zmianę drogi optycznej w gałęziach interferometru spowoduje zauważalny okresowy ruch prążków interferencyjnych. Relacja pomiędzy prędkością światła a prędkością orbitalną Ziemi wynosi dziesięć tysięcy do jednego. Jednakże, w przeliczeniu na hipotetyczną zmianę dróg optycznych w ramionach interferometru, relacja ta powiększała się do kwadratu, czyli do stu milionów. W związku z tym, zgodnie z teoretycznymi obliczeniami, należało zarejestrować maksymalną zmianę drogi optycznej jako cztery stumilionowe jej części, czyli dla długości gałęzi interferometru ponad jeden metr, co najmniej cztery setne mikrometra. Biorąc pod uwagę, że długość światła żółtego lampy sodowej to ponad pół mikrometra, należało zaobserwować zmianę o prawie osiem setnych odległości pomiędzy prążkami. Układ obserwacyjny interferometru zapewniał rozdzielczość do jednej setnej odległości pomiędzy prążkami. Zdaniem Michelsona maksymalny błąd obserwacji nie przekraczał piętnastu tysięcznych odległości pomiędzy prążkami, czyli wynosił mniej niż jedna setna mikrometra, a do zaobserwowania była wielokrotność wartości tego błędu. Jednakże kilkukrotnie powtarzane obserwacje nie wykazały istotnej zmiany w położeniu prążków interferencyjnych. Na podstawie przeprowadzonego eksperymentu Michelson postawił wniosek, że teza o istnieniu eteru jest błędna. Sformułować można też było inny wniosek, a mianowicie o stałości prędkości światła, niezależnej od szybkości poruszania się jego źródła. Jednak postawił go dopiero Albert Einstein, formułując postulat szczególnej teorii względności.

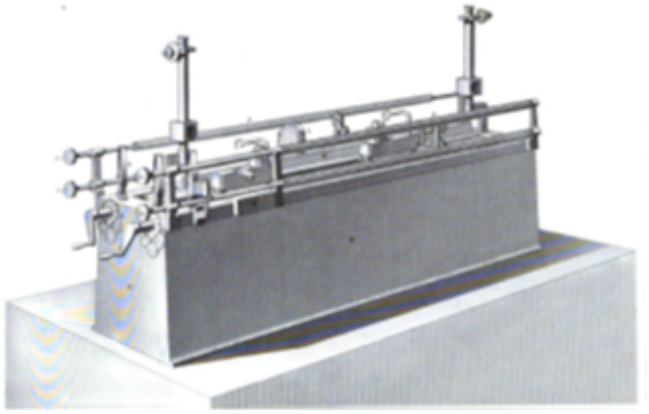
Aby upewnić się co do słuszności postawionego wniosku, Albert Michelson zdecydował się na powtórzenie eksperymentu we współpracy z Edwardem Morleyem. Uczeni zbudowali nowy interferometr, w którym zminimalizowano drgania powstające w trakcie ruchu obrotowego, umieszczając go na płycie kamiennej pływającej w rtęci. Dodatkowo w celu zwiększenia rozdzielczości pomiaru powiększono dziesięciokrotnie drogę optyczną w gałęziach interferometru poprzez system zwierciadeł zwielokrotniających odbicia wiązek światła. Działanie tego interferometru (rys. 2) opisano szczegółowo w artykule opublikowanym w 1887 roku [2].




Rys. 2. Rysunek interferometru Michelsona-Morleya zamieszczony w publikacji [2]

Dzięki temu urządzeniu zrealizowano słynny eksperyment Michelsona-Morleya, który był powtórzeniem wcześniejszych dokonań Michelsona. W publikacji [2] przytoczono obliczenia wpływu dróg optycznych na hipotetyczne przesunięcie prążków interferencyjnych w wyniku pełnego obrotu interferometru wokół jego osi. Przesunięcie to powinno wynosić osiem dziesiątych odległości pomiędzy prążkami i być aż osiemdziesiąt razy większe od rozdzielczości odczytu jego położenia. Podobnie jak w pomiarze z wykorzystaniem pierwszego interferometru uzyskano ten sam rezultat, lecz z większą wiarygodnością, która nie mogła już budzić jakichkolwiek wątpliwości co do stałości prędkości światła, niezależnej od kierunku i szybkości źródła promieniowania. Było to niewątpliwie jedno z największych odkryć w dziedzinie fizyki pod koniec dziewiętnastego wieku.

Obok przedstawionego zastosowania interferometru, Michelson i Morley zastanawiali się również nad metrologicznym wykorzystaniem urządzenia jako wzorca długości. Swoje wnioski sformułowali w kolejnych publikacjach z lat 1887 [3] i 1889 [4]. Postulowali w nich wykorzystanie długości fali światła, jako odniesienia dla pomiarów długości. Eksperymentowali z promieniowaniem lampy sodowej, która generuje światło żółte o długości linii widmowej powyżej pół mikrometra. Morley twierdził, że „nasze pomiary mieściły się w granicach jednego procenta długości fali”, co oznaczało osiągnięcie rozdzielczości wzorca długości w granicach kilku nanometrów. Pozostało już tylko porównanie tego naturalnego wzorca z międzynarodowym wzorcem metra. Ponieważ powyższe działania uczonych zbiegły się czasowo z ustanowieniem materialnego wzorca metra przez pierwszą Generalną Konferencję Miar, to ówczesny dyrektor Międzynarodowego Biura Miar Jean-Rene Benoit zaproponował Michelsonowi porównanie prototypu metra z długością fali światła. Pomiary zostały wykonane na specjalnie zaprojektowanym i wykonanym przez Michelsona komparatorze interferencyjnym, który został zilustrowany w raporcie opublikowanym w 1894 roku [5] (rys. 3.).



Rys. 3. Ilustracja komparatora interferencyjnego Michelsona zamieszczona w publikacji [5]

Michelson, jako źródło światła, wybrał lampę kadmową. Wyznaczył liczby falowe trzech linii widmowych kadmu: czerwonej, zielonej i niebieskiej. Liczby te zawierały się w zakresie od półtora do nico ponad dwóch milinów fal na jeden metr, w zależności od długości linii widmowej. Najistotniejszą z nich była linia czerwona, wynosząca 1 553 163,5 długości fali na jeden metr (w protokole obserwacji obok wyniku pomiaru osiągniętego przez Michelsona, przedstawiony jest również wynik uzyskany przez Benoita, różniący się tylko o jedną dziesiątą długości fali). Powyższa liczba była historycznie pierwszą opublikowaną wartością wyrażającą długość metra jako wielokrotność długości fali światła. Prace związane z nowym wyrażaniem metra Michelson realizował w siedzibie Międzynarodowego Biura Miar w latach 1892 i 1893.

Dokonania Michelsona, mające miejsce w ósmej i dziewiątej dekadzie dziewiętnastego wieku, utorowały drogę do nowego sposobu definiowania jednostek miar już nie w oparciu o materialne wzorce, jak to było w przypadku pierwszej definicji metra czy kilograma, ale o niezmienne odniesienia oparte na zjawiskach i prawach fizyki. Możliwe było to dzięki odkryciu niezmienności prędkości światła oraz porównaniu długości fali światła z wzorcem długości przy wykorzystaniu interferometru Michelsona.

Metr był pierwszą podstawową jednostką miar SI, której definicję oparto na fundamentalnej stałej fizycznej, w postaci prędkości światła, co miało miejsce w 1983 roku. W ślad za tą ideą zostały zdefiniowane, w oparciu też o stałe fizyczne, inne jednostki miar SI, takie jak kilogram, amper, kelwin czy mol.

**Bibliografia**


1. A. Michelson: The relative motion of the Earth and the luminiferous ether. American Journal of Science nr 128 (1881), s. 120–129.
2. A. Michelson, E. W. Morley: On the relative motion of the Earth and the luminiferous ether. American Journal of Science nr 203 (1887), s. 333–345.

3. A. Michelson, E. W. Morley: On a method of making the wave-length of sodium light the actual and practical standard of length. American Journal of Science nr 204 (1887), s. 427–430.
4. A. Michelson, E. W. Morley: On the feasibility of establishing a light-wave as the ultimate standard of length. American Journal of Science nr 225 (1889), s. 181–186.
5. A. Michelson: Determination experimental de la valeur du metre en longuers d’ondes lumineuses. Travaux et Memoires du Bureau International des Poids et Mesures, tom 11, Paris 1894, s. 237.

Albert Michelson (1852–1931)

Urodzony w Strzelnie na Kujawach, w rodzinie kupieckiej. Amerykański uczony, fizyk. Laureat Nagrody Nobla z 1907 roku,
którą otrzymał za precyzyjne przyrządy optyczne oraz badania spektroskopowe i metrologiczne przeprowadzone przy ich pomocy.