

## VII.5. Eksperyment Michelsona-Morleya.

Zauważmy, że pomiar ruchu absolutnego jakiegokolwiek obiektu materialnego, z założenia musi odnosić się do prędkości fali świetlnej w eterze, ponieważ naszą jedyną informacją o ewentualnym istnieniu eteru, są właśnie „fale eteru”.

Dlatego wyznaczenie wartości liczbowej ilorazu  $\beta = v/c$  jest równoważne wyznaczeniu wartości absolutnej  $v$ , jeżeli wartość prędkości  $c$  światła jest znana z innych pomiarów.

Dosyć dokładne pomiary wartości  $c$ , bez uciekania się do obserwacji astronomicznych, pierwsi wykonali w warunkach laboratoryjnych: w roku 1849 – Armand Hippolyte Fizeau (metoda koła zębatego), oraz w roku 1868 – Jean Bernard Foucault (metoda wirującego zwierciadła).

W tej sytuacji, znając wartość  $c$ , można wykorzystać eksperymenty Roemera oraz Bradleya do wyznaczenia prędkości absolutnej (względnej) Ziemi.

Jednak będą to wyniki oparte na obserwacjach astronomicznych, w których do wyznaczenia prędkości względnej Ziemi wykorzystywane jest pozaziemskie źródło światła, o stosunkowo dobrze określonym położeniu na sferze niebieskiej.

Natomiast, gdybyśmy podjęli próbę wyznaczenia wartości  $\beta = v/c$  w warunkach ziemskich (laboratoryjnych), to obserwator i źródło światła poruszają się jednocześnie i z jednakową prędkością w eterze. Może to uniemożliwić wyznaczenie wartości  $\beta$ , a tym samym uniemożliwić wykrycie i pomiar ruchu absolutnego.

Przeszło sto lat temu, Albert Abraham Michelson<sup>1</sup> orzekł, że możliwy jest w warunkach laboratoryjnych pomiar ruchu absolutnego Ziemi, a to za pomocą przez niego skonstruowanego interferometru.

Pierwsze pomiary, słynne później pod ogólną nazwą doświadczenia Michelsona-Morleya (Edward Williams Morley, 1838-1923), zostały wykonane po roku 1880 (A.A. Michelson, E.W. Morley, *American Journal of Science*, **34**, 333 (1887)).

Schemat konstrukcji oraz zasada działania interferometru A.A. Michelsona zostały przedstawione na rys. VII.5.1.

Zaznaczamy, że jest to opis zaczerpnięty z tzw. „literatury przedmiotu”.

Interferometr składa się z monochromatycznego źródła światła **S**, półprzepuszczalnej płytki **P**, oraz dwóch zwierciadeł **A** i **B**, ustawionych w równych odległościach  $PA = PB = l$  od miejsca padania wiązki światła na płytkę **P**.

Na ustawioną pod kątem  $45^\circ$  płytkę **P** pada wiązka światła ze źródła **S**, która ulega rozszczepieniu na dwie wiązki biegnące wzajemnie prostopadle do zwierciadeł **A** i **B**. Po odbiciu się od **A** i **B**, wiązki te wracają do płytki **P**, gdzie ponownie ulegają rozszczepieniu, i część wraca do źródła **S**, a pozostała część biegnie razem do teleskopu **T**.

Na drodze **PT** obydwie wiązki interferują ze sobą, a obraz interferencyjny oglądany jest w głównej płaszczyźnie ogniskowej teleskopu **T**.

---

<sup>1</sup> 1852-1931, fizyk amerykański, urodzony w Strzelnie, Prusy. Studiował w Berlinie, Heidelbergu i Paryżu. Był profesorem fizyki w Clark University (1889-92) i później dyrektorem wydziału fizyki Uniwersytetu w Chicago (1892-1929). W 1907 r. Nagroda Nobla. Jego badania eksperymentalne dotyczące t.zw. „unoszenia eteru” przyczyniły się do rozwinięcia szczególnej teorii względności przez Alberta Einsteina. Autor książek: *Velocity of light* (1902), *Light Waves and their Uses* (1903), *Studies in Optics* (1927).

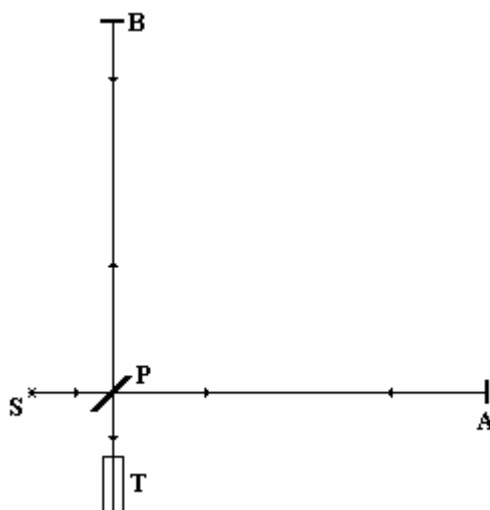


Fig. VII.5.1. Interferometr A.A.Michelsona.

W ogólności, interferencja zachodzi, gdy różnica przebytych dróg wynosi:

$$\Delta = k \lambda \quad (k = 0, 1, 2, \dots, n) \quad (\text{VII.5.1.})$$

gdzie:  $\lambda$  – długość fali światła monochromatycznego.

Wobec tego, dla nierównych długości ramion  $l_a$  oraz  $l_b$  interferometru, różnica  $\Delta$  dróg przebytych przez światło w tych ramionach jest taka, że:

$$\Delta = 2(l_a - l_b) \cos \phi = k \lambda$$

gdzie  $\phi$  jest kątem padania (od normalnej) promieni światła na zwierciadło **B**.

Powyższy opis odnosi się do interferometru z założenia nieruchomego względem eteru.

Obecnie założmy, że interferometr porusza się ze stałą względną prędkością  $v$ , jak to pokazano na rys. VII.5.2.

Rozpatrzmy bieg wiązki światła w ramieniu **PB** interferometru. Ze względu na ruch przyrządu, światło nie odbije się od płytki **P** pod kątem  $45^\circ$ , lecz ulegnie odchyleniu o kąt  $\phi$  taki, że:

$$\sin \phi = \frac{v}{c} = \beta \quad (\delta = 90^\circ)$$

Promień światła odchylany jest w kierunku ruchu przyrządu, a więc ma dłuższą drogę w eterze do zwierciadła **B**, i do którego dobiega w miejscu **B'**. Oczywiście, względem eteru prędkość światła wzdłuż drogi **PB'** wynosi  $c$ , natomiast wzdłuż ramienia **PB** przyrządu, światło ma prędkość  $c'$ .

Z trójkątą **PBB'**, znajdujemy:

$$c' = c\sqrt{1 - \beta^2}$$

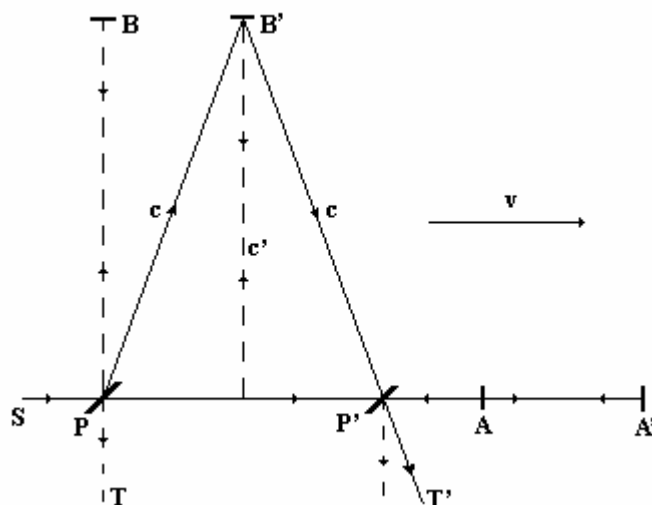


Fig. VII.5.2. Bieg wiązek światła w interferometrze Michelsona w czasie ruchu z prędkością  $v$ .

Gdyby przyrząd był nieruchomy, to odległość  $l = PB$  światło przebyłoby z prędkością  $c$  w czasie  $t$  takim, że:  $l = ct$ .

Ponieważ przyrząd porusza się z prędkością  $v$ , to prędkość światła względem ramienia  $PB$  wynosi  $c'$ , a odległość  $l$  światło przebywa w czasie  $t'_B$ . Jest więc:

$$l = ct = c't'_B = t'_B c\sqrt{1-\beta^2}$$

skąd otrzymujemy:

$$t'_B = \frac{t}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

Wobec tego, czas  $t_B$  przebycia przez światło w eterze odległości  $PB'P'$  z prędkością  $c$ , a także odległości  $2l = 2PB$  względem interferometru z prędkością  $c'$ , wynosi:

$$t_B = \frac{2t}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

Ale w czasie  $t_B$  światło przebywa w eterze odległość  $L_B = ct_B$ , i wobec tego mamy:

$$L_B = ct_B = \frac{2ct}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

Obecnie rozpatrzmy bieg wiązki światła w ramieniu  $PA$ . Światło biegnąc od płytki  $P$  dogania zwierciadło  $A$  po czasie  $t'_A$ .

Prędkość światła względem zwierciadła  $A$  wynosi  $(c - v)$ . Wobec tego, mamy:

$$l = ct = t'_A(c - v)$$

A z powyższego:

$$t'_A = \frac{t}{1-\beta}$$

Po odbiciu się od zwierciadła **A** światło biegnie naprzeciwko płytki **P**, do której dobiega po czasie  $t''_A$ . Obecnie prędkość światła względem płytki wynosi  $(c + v)$ . Mamy więc:

$$l = c \cdot t = t''_A (c + v)$$

skąd znajdujemy:

$$t''_A = \frac{t}{1 + \beta}$$

Wobec tego, łączny czas przebycia drogi „to and fro” w ramieniu **PA**, wynosi:

$$t_A = t'_A + t''_A = \frac{2t}{1 - \beta^2} \quad (\text{VII.5.2.})$$

a droga przebyta w tym czasie przez światło w eterze z prędkością  $c$ , jest równa:

$$L_A = c \cdot t_A = \frac{2ct}{1 - \beta^2} \quad (\text{VII.5.3.})$$

Jak z powyższego widać, światło przebywa w eterze w różnych czasach  $t_A$  oraz  $t_B$  odpowiednio różne odległości  $L_A$  oraz  $L_B$ . Różnice tych czasów i odległości, wynoszą:

$$\Delta t = t_A - t_B = \frac{2t(1 - \sqrt{1 - \beta^2})}{1 - \beta^2} \quad (\text{VII.5.4.})$$

oraz

$$\Delta L = L_A - L_B = \frac{2l(1 - \sqrt{1 - \beta^2})}{1 - \beta^2} \quad (\text{VII.5.5.})$$

Jeżeli cały przyrząd obrócimy o  $90^\circ$  tak, by kierunek **PA** pokrywał się z poprzednim kierunkiem **PB**, wówczas promień zmienia kierunek względem kierunku ruchu Ziemi, i znak przy różnicy czasów oraz odległości zmienia się na odwrotny. Dzięki temu, obrót przyrządu powinien prowadzić do zmiany różnicy czasów i odległości o podwójną wartość różnic przedstawionych przez zależności (VII.5.4) oraz (VII.5.5.) (patrz, m.in.: S. Frisz i A. Timoriewa - Kurs fizyki, tłum. z ros., PWN Warszawa, 1959, Tom III, str.229).

W doświadczeniu Michelsona-Morleya długość poszczególnych ramion interferometru wynosiła:  $l = PA = PB = 11 \text{ m}$ , długość fali:  $\lambda = 0,589 \mu\text{m}$ . Przyjmując:  $v = 30 \text{ km/s}$  oraz  $c = 300\,000 \text{ km/s}$ , to wielkość oczekiwanego przesunięcia obrazu interferencyjnego oceniona została na:

$$\Delta \lambda = 0,37 \quad \text{długości fali.}$$

Według A.A.Michelsona, dokładność przyrządu pozwalała na rejestrację przesunięć o kilka setnych części długości fali użytego światła monochromatycznego.

*Jednak w tym, oraz w wielu innych podobnych doświadczeniach nie zaobserwowano żadnego dającego się zmierzyć przesunięcia prążków interferencyjnych!*

Można jednak było zaobserwować tylko niewielką zmianę intensywności (jasności) prążków interferencyjnych.

Doświadczenia powtarzano wielokrotnie, w różnych porach roku i w różnych miejscach na kuli ziemskiej, ale zawsze z jednakowo **negatywnym** wynikiem!

Nieoczekiwanie negatywne wyniki doświadczeń Michelsona-Morleya stoją w wyraźnej sprzeczności z wynikami innych eksperymentów opartych na efekcie Dopplera. Wywołało to obszerne i czasami bardzo gwałtowne dyskusje naukowe, oraz dało impuls do przeprowadzenia eksperymentów ze zmodyfikowanym interferometrem A.A. Michelsona.

Zauważmy, że powyższe szacowania oczekiwanych wyników eksperymentów odnoszą się do ruchu orbitalnego Ziemi, a nie do ruchu w Kosmosie układu planetarnego jako całości.

Jest to tzw. „błąd w sztuce”. W powyższym zawarte jest założenie, że Słońce jest absolutnie nieruchome w Kosmosie. A to nie jest prawda.

Uwaga: według zależności (X.7.8.), prędkość w Kosmosie układu planetarnego jako całości można szacować na ok. 5000 km/s.

Jest to prędkość ponad sto pięćdziesiąt razy większa od prędkości orbitalnej Ziemi.

Przesunięcie prążków interferencyjnych powinno wynosić:  $0,37 \times 150 = 50,5$  długości fali!

Tym samym, tak w eksperymencie **M-M** jak i dalej opisanych eksperymentach, **nie powinno być żadnych problemów technicznych z wykryciem ruchu absolutnego Ziemi.**

A to oznacza, że problem tkwi nie w technice pomiaru, lecz w **metodzie** eksperymentu!