

# Plansza nr 7

## Światło

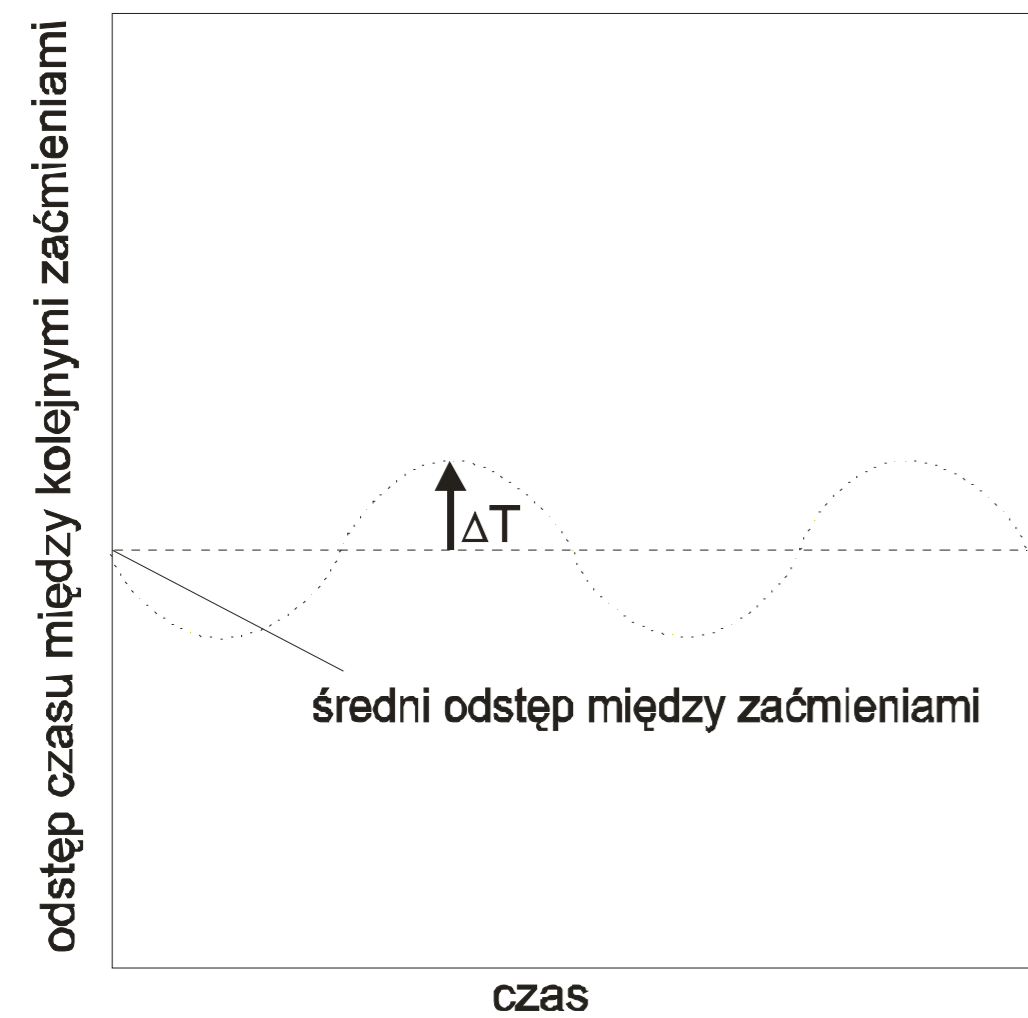
Światło jest bodajże największym dobrodziejstwem natury. To ono, chociaż samo w sobie wciąż pozostaje dla człowieka tajemnicą, nie tylko leży u podstaw zaistnienia i podtrzymywania życia we Wszechświecie, ale jest też pośrednikiem między tym co rozgrywa się w przyrodzie jako takiej, a tym co może rozgrywać się w ludzkim umyśle; zwłaszcza umyśle nastawionym na przenikanie tajemnic natury. Światło jest najwspanialszym nośnikiem informacji o Kosmosie w jego mikro- i makro skali.

Człowiek zwrócił uwagę na fenomen światła już w u najgłębszym zaraniu swojej rozumnej egzystencji. Od razu przypisywał mu najbardziej boskie atrybuty, bo w głębi swego jestestwa wyczuwał w świetle jakiś ponadnaturalny i wspaniały byt. Człowiek współczesny, jeśli jeszcze znajduje czas na głębsze refleksje, nie wiele różni się od człowieka pierwotnego w traktowaniu światła. Im więcej odkrywa w nim tajemnic, tym większym darzy go zachwytem.

Naukowy wgląd w niektóre tajniki światła został zapoczątkowany stosunkowo niedawno, bo właściwie dopiero w epoce cywilizacyjnego odrodzenia, czy oświecenia. W swoim dziele *Dioptrice* Johannes Kepler na początku XVII wieku zawarł całą zastaną wiedzę o świetle i wspaniale rozszerzył ją przez swoje własne przemyślenia. Studium tego dzieła pozwoliło zrozumieć nie tylko naturę oka, jako naturalnego narządu optycznego, ale również zaowocowało powstaniem wspaniałych przyrządów optycznych, m. in. teleskopów i mikroskopów. Wiedza spisana przez Keplera w *Dioptrice* jest dziś przekazywana w podręcznikach szkolnych i akademickich w rozdziałach poświęconych optyce geometrycznej. Wszystkie współczesne przyrządy optyczne, poczynając od zwykłych okularów, a na teleskopach kosmicznych kończąc, korzystają z Keplerowego opisu geometrycznych właściwości światła. A sprowadzają się one właściwie do praw odbicia i załamania światła w kontakcie z przeszkodą materialną.

Od czasów trudnych do ustalenia, zastanawiano się czy światło rozchodzi się z prędkością skończoną, czy nieskończoną. Bo jeśli z nieskończoną, to światło daje nam informację o świecie takim, jak wygląda on w momencie oglądania. Gdyby światło przemieszczało się z prędkością skończoną, wtedy światło dawałoby informację o świecie, jakim był on w przeszłości.

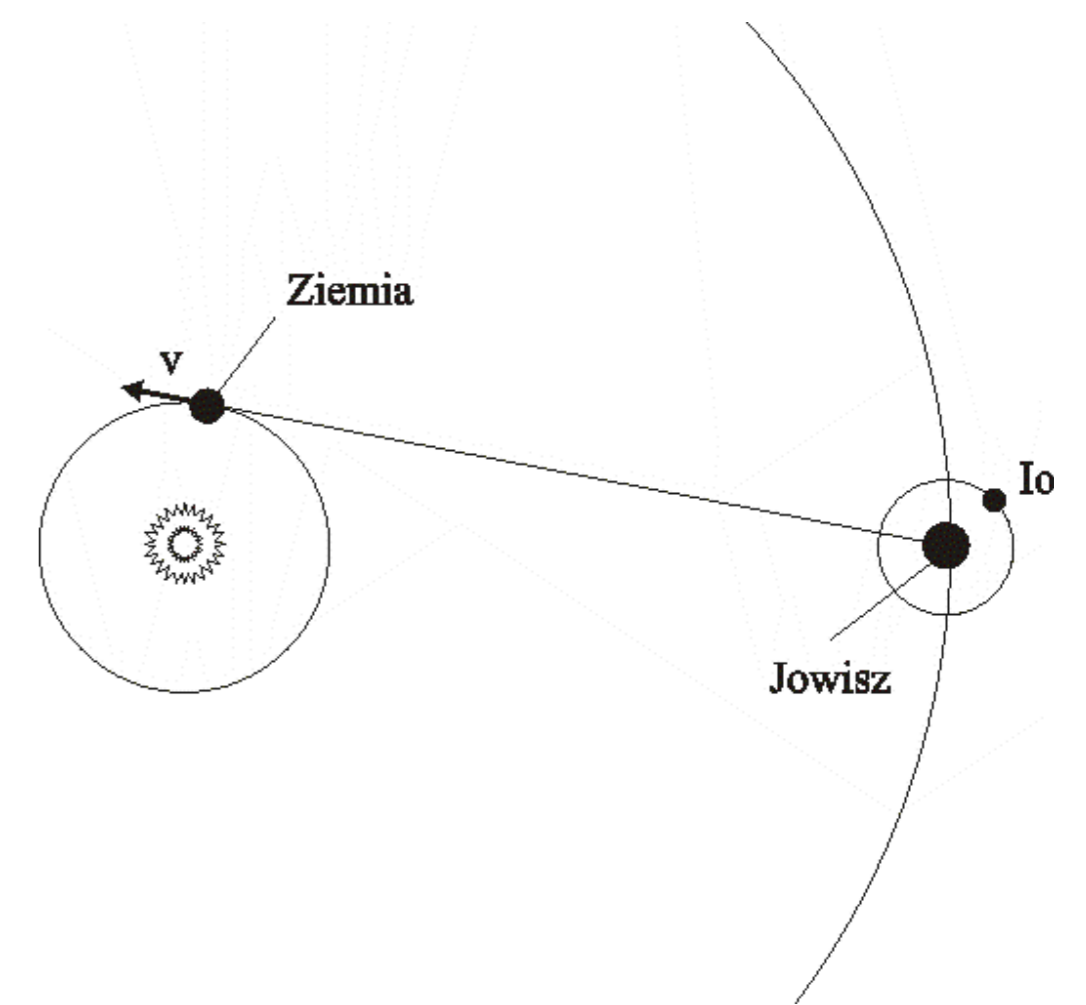
Problem skończoności prędkości światła, oraz solidne oszacowanie jej wartości, rozwiązano jeszcze przed końcem XVII wieku. Duński astronom, Ole Christensen Rømer w 1676 roku przedstawił metodę rozstrzygnięcia dylematu skończonej/nieskończonej prędkości rozchodzenia się światła w przestrzeni. Rozstrzygnięcie to miało nastąpić na gruncie obserwacji astronomicznych. [Bo, jak pokazuje wiele przykładów z historii nauki, prawa dotyczące spraw nawet najbardziej lokalnych, dotykających, powszechnie doświadczanych w życiu codziennym, z jakichś powodów odkrywają się w oparciu o obserwacje zjawisk na niebie.] W metodzie Rømera wykorzystuje się obserwacje ruchów księżycy Jowisza Io, który porusza się po swojej orbicie ze średnim okresem obiegu równym  $42^h30^m$ . Długość tego okresu waha się jednak regularnie w czasie, przy czym okres wahań wynosi około roku. Maksymalne odchylenie wartości okresu obiegu (okres obiegu jako odstęp między kolejnymi zaćmieniami księżycy Io przez Jowisza) od średniej wynosiło 15 sekund, w chwilach odległych o około 6 miesięcy (patrz rysunki poniżej). Stąd dało się obliczyć prędkość rozchodzenia się światła w oparciu o znajomość średniej orbitalnej prędkości Ziemi (29.8 km/s).



(z lewej) Schematyczne zachowanie się odstępów czasu między kolejnymi zaćmieniami księżycy Io. (z prawej) Konfiguracja odpowiadająca maksymalnej prędkości oddalania się Ziemi od Jowisza.

**Uwaga:** W poniższym wywodzie pomijamy (jako fakty mocno komplikujące obliczenia, a mające minimalny wpływ na wynik obliczeń): a) fakt, że orbita Jowisza nie leży dokładnie w płaszczyźnie orbity Ziemi (ekliptyki), ale jest do niej nachylona pod małym kątem  $i = 1^\circ.35$ , b) fakt eliptyczności orbit Jowisza i Ziemi.

Gdyby Ziemia nie zmieniała swojej odległości względem Jowisza, to obserwowalibyśmy zaćmienia Io zawsze w tych samych odstępach czasu  $T = T_{sr} = 42^h30^m$ . Skoro jednak prędkość Ziemi względem Jowisza się zmienia (w przeciągu roku Ziemia wykona pełen obieg dookoła Słońca podczas gdy Jowisz zaledwie około 1/12 swojego obiegu), to odstęp pomiędzy kolejnymi zaćmieniami księżycy Io będzie się zachowywał tak jak to zostało ideowo przedstawione na lewym rysunku. Maksymalne wydłużenie okresu,  $\Delta T$ , będzie wtedy, gdy Ziemia oddala się od Jowisza z maksymalną prędkością, czyli równą liniowej prędkości Ziemi wzdłuż jej orbity (rysunek po prawej). W przeciągu czasu  $T_{sr} = 42^h30^m$ , dzielącego kolejne zaćmienia, Ziemia zdąży zwiększyć swą odległość od Jowisza o wartość  $\Delta r = v_{sr} \cdot T_{sr} = 29.8 \text{ km/s} \cdot 42.5 \cdot 3600 \text{ s} = 4\,559\,400 \text{ km}$ . Skoro maksymalne wydłużenie



okresu wynosi  $\Delta T = 15 \text{ s}$ , to prędkość światła wyliczymy jak następuje:  $c = \Delta r / \Delta T = 4\,559\,400 / 15 \text{ km/s} = 303\,960\,000 \text{ m/s}$ . [Współczesne wyznaczenia dają wartość  $c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$ ].

Dla astronomii rozstrzygnięcie co do prędkości światła ma fundamentalne znaczenie. Skończona prędkość oznacza, że to co obserwujemy na niebie nie jest dokładnie takie, jakie jawi się naszym zmysłom (czy innym detektorom) podczas obserwacji, ale jest takie jakie było w przeszłości, tym odleglejszej im dalej znajduje się obserwowany obiekt. Słońce dla przykładu widzimy takim, jakie było ok. 8 minut wcześniej. Inne gwiazdy widzimy takimi, jakie w rzeczywistości były przed wieloma laty czy setkami/tysiącami lat. Obiekty głębszego Wszechświata widzimy takimi, jakie w rzeczywistości były przed milionami i miliardami lat. Żeby wiedzieć jak one wyglądają teraz, musielibyśmy wykonać obserwacje za miliony/miliardy lat. Badania astronomiczne, dzięki tej właściwości światła, pozwalają wnioskować o ewolucji Wszechświata w czasie. Im dalej zaglądamy, tym wcześniejszy Wszechświat widzimy. W szczególności mamy dziś możliwość oglądania Wszechświata takim, jakim był kiedy jeszcze nie było w nim Ziemi ani Słońca. Ta możliwość przenikania przeszłości Wszechświata wyróżnia astronomię spośród innych nauk. Pożywką dla astronomii jest światło. Jego właściwości rozciągają przed astronomią niewyobrażalne wręcz możliwości rozwoju. Astronom, analizując światło przybywające z głębin Wszechświata, odsłania dla siebie i innych jego tajemnice. Bo Wszechświata człowiek nie może zaprojektować czy obliczyć! Wszechświat jest ponad te, sprawdzone na wojnach, techniki. Wszechświat ogląda się w świetle widocznym i niewidocznym, wysiłkiem ludzkiego ciała, intelektu i ducha!

W drugiej połowie XIX wieku, przede wszystkim za sprawą Jamesa Maxwella, stało się jasne, że światło widzialne jest falą elektromagnetyczną (promieniowaniem elektromagnetycznym), fenomenem ogólniejszym, którego światło widzialne jest zaledwie bardzo małym wycinkiem. Promieniowanie elektromagnetyczne poddaje się opisowi falowemu, t.j. wiele jego właściwości daje się skutecznie opisywać na gruncie matematycznego formalizmu wypracowanego dla fal. Są jednak eksperymenty, które domagają się traktowania promieniowania elektromagnetycznego (w tym światła) jako wiązki cząstek (fotonów, kwantów). Pojedynczym fotonom, które w próżni mają poruszać się z prędkością  $c$ , przypisuje się (za Maxem Planckiem) energię  $E = h \cdot \nu$ , gdzie  $h$  jest stałą Plancka, a  $\nu$  oznacza częstotliwość odpowiadającej fotonowi fali. Uważa się, że światło (w ogólności promieniowanie elektromagnetyczne) ma naturę dualną – falową i cząsteczkową.

