

Astrolabium

Konkurs astronomiczny

Camera obscura



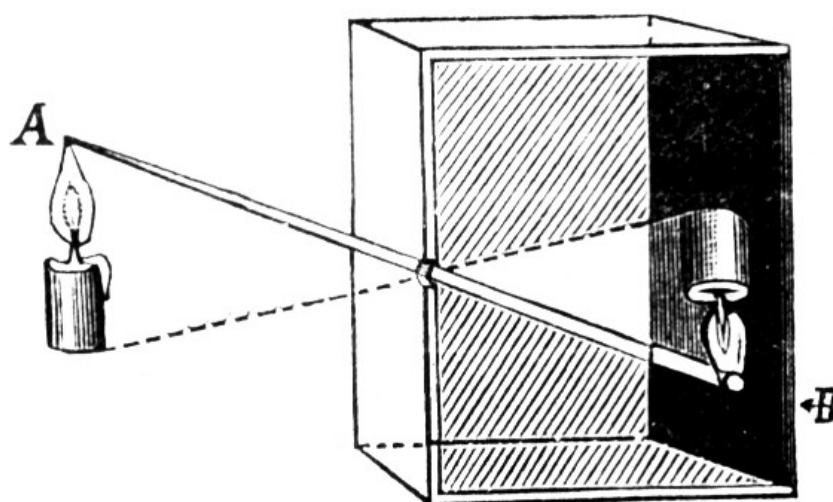
Szkoła Podstawowa
Klasy VII-VIII
Doświadczenie konkursowe 5

Rok 2023

1. Wstęp teoretyczny

Camera obscura

Camera obscura (z łaciny: ciemna komnata, często po polsku nazywana też ciemnią optyczną) to proste urządzenie optyczne składające się z pudełka z małą dziurką po jednej stronie, pełniącą rolę obiektywu. Wykorzystany jest tu fakt, że światło porusza się w linii prostej. Światło zatem, po przejściu przez obiektyw, rzutuje odwrócony i pomniejszony (lub powiększony, w zależności od ustawienia) obraz na wewnętrzną część pudełka.

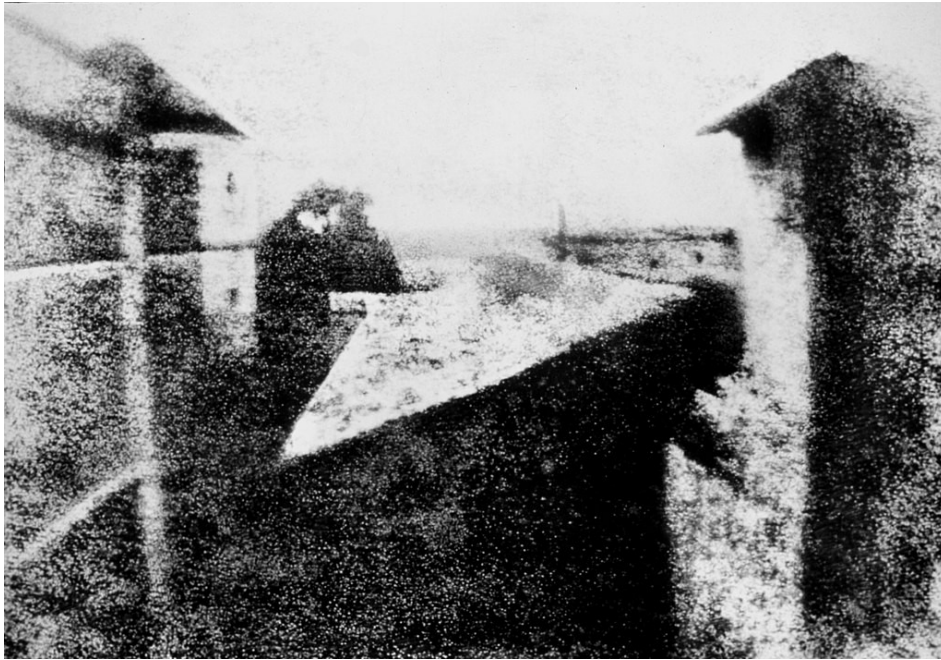


Rys. 1. Schemat działania camera obscura. Źródło: Wikipedia.org

Schemat działania ciemni optycznej był znany już w starożytności. Możliwość powstawania obrazu przez przejście promieni słonecznych przez niewielki otwór opisywał już Euklides w swoim dziele na temat optyki. Obserwacje za pomocą tego przyrządu były prowadzone przez starożytnych Chińczyków, Arabów i Greków, jednak pierwszy matematyczny opis przyrządu powstał dopiero w XI wieku i był dziełem arabskiego matematyka Alhazena z Basry. Z camera obscura korzystał również Leonardo da Vinci w XVI wieku – w charakterze pomocy do określania perspektywy podczas tworzenia swoich obrazów. Istnieje również hipoteza, zgodnie z którą sam Mikołaj Kopernik (którego 550 urodziny obchodziliśmy 19 lutego 2023 roku!) wykorzystywał ciemnię optyczną do obserwacji zaćmień Słońca.

Camera obscura jest też prekursorem współczesnych aparatów fotograficznych. Pierwsza trwała fotografia została wykonana właśnie przy jej użyciu, dzięki pokryciu wewnętrznej części pudła materiałem światłoczułym. Dziś jest często wykorzystywana do nauczania podstaw optyki i fotografii. Może

zostać użyta do przeprowadzenia wielu eksperymentów optycznych, na przykład wyznaczenia średnicy Słońca.



Rys. 2. „Widok z okna w Le Gras”. Pierwsza trwała fotografia, wykonana przez Nicéphora Niépce'a w 1826 lub 1827 roku. Źródło: wikipedia.org

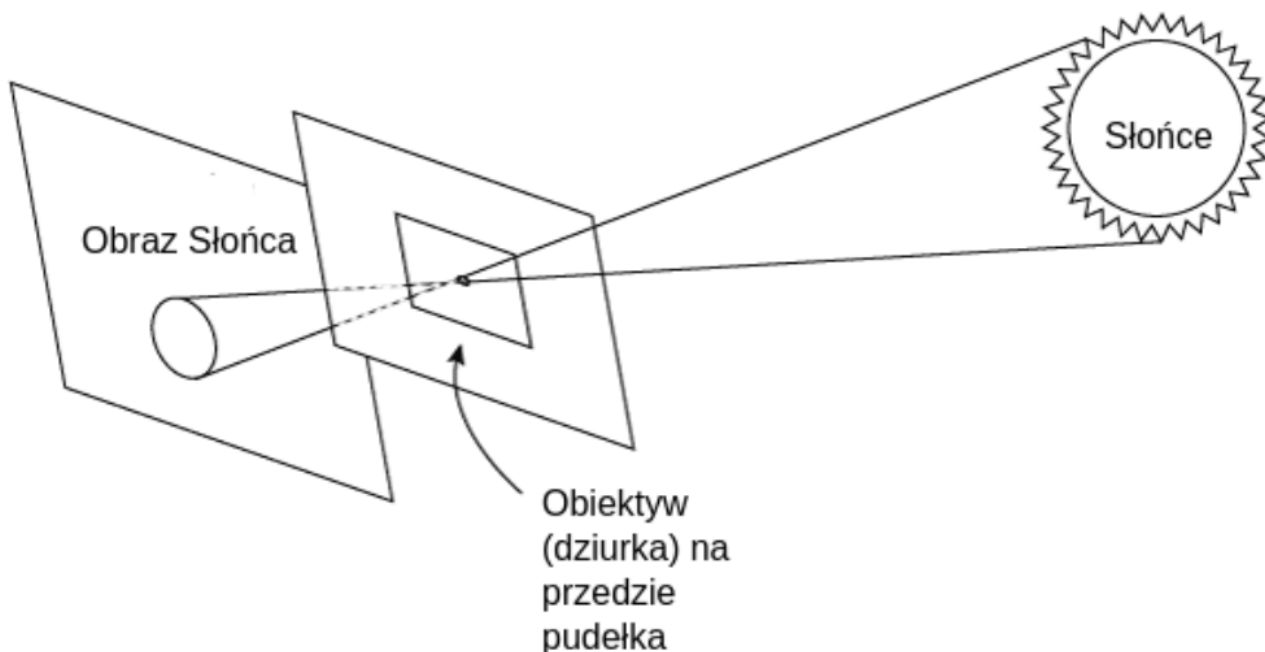
Wyznaczanie średnicy Słońca za pomocą ciemni optycznej

Historia wyznaczania rozmiarów Słońca sięga V wieku p.n.e., kiedy grecki filozof Anaksagoras obserwował zaćmienie Słońca. Zmierzył on długość cienia rzucanego przez Księżyc i, korzystając z metody triangulacji, wyznaczył średnicę Słońca jako 18 razy większą od średnicy Księżyca. Na dużą rozbieżność między jego wynikiem a rzeczywistym rozmiarem Słońca niewątpliwie wpłynął fakt, że w swoich obliczeniach przyjął, że... Ziemia jest płaska. Jak również nieprecyzyjność urządzeń pomiarowych dostępnych w tamtym czasie. Około 200 lat później, korzystając z tej samej metody, jednak tym razem zakładając już kulistość Ziemi, Eratostenes wyznaczył średnicę Słońca na około 8000 mil, co daje wynik bliższy rzeczywistemu, choć dalej dość jemu daleki. Dopiero w XVII wieku wynalezienie teleskopu pozwoliło na dokładniejsze pomiary rozmiarów Słońca. Dokonał tego m. in. angielski astronom Jeremiah Horrocks, który z pomocą teleskopu obserwował tranzyt Wenus na tle tarczy Słońca, co pozwoliło mu oszacować jego średnicę z dokładnością do kilku procent jej rzeczywistej wartości.

Obecnie najdokładniejsze pomiary średnicy Słońca pochodzą z instrumentów umieszczonych w przestrzeni kosmicznej, takich jak Solar Dynamics Observatory (SDO) czy Solar and Heliospheric Observatory (SOHO).

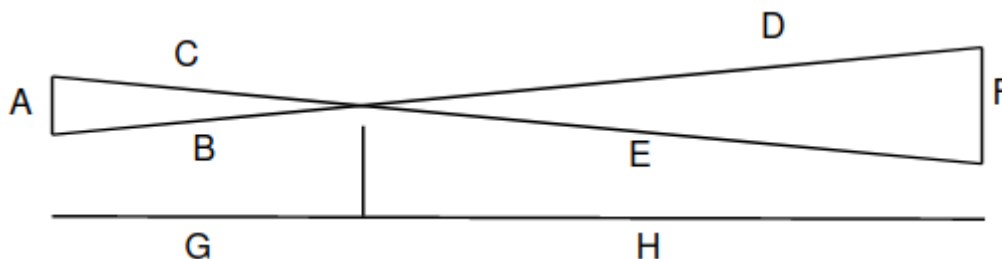
Instrumenty te używają różnych technik, w tym heliosejmolologii i interferometrii, aby zmierzyć średnicę Słońca z niespotykaną wcześniej dokładnością.

Wyznaczenie średnicy Słońca za pomocą camera obscura opiera się na twierdzeniu o trójkątach podobnych.



Rys. 3. Schemat otrzymywania obrazu Słońca na pudełku przy wykorzystaniu ciemni optycznej.

Śledząc dwa promienie biegnące od przeciwległych brzegów Słońca, przechodzące przez obiektyw i trafiające na kartkę papieru, tworzymy dwa trójkąty:



Rys. 4. Schemat biegu dwóch promieni światła. A - średnica obrazu, F - średnica Słońca, G - odległość od obrazu do obiektywu (długość pudełka), H - odległość od obiektywu do Słońca (przyjmujemy, że jest ona równa po prostu odległości od Ziemi do Słońca, czyli w przybliżeniu 149595390 km). C,B,D,E to pozostałe boki trójkąta.

Widzimy, że kąty $\angle CB$ oraz $\angle DE$ są równe jako kąty wierzchołkowe. Tak

samo kąty $\angle CA$ oraz $\angle FE$ są równe jako kąty naprzemianległe. Oznacza to, że spełniona jest cecha kąt-kąt-kąt, więc trójkąty ABC oraz EDF są podobne, a ich stosunki odpowiednich boków są równe. Jako że nie jesteśmy w stanie określić długości boków C, B D i E, dzielimy oba trójkąty horyzontalnie, aby wprowadzić dwie znane nam wielkości – długość pudełka oraz odległość Ziemi od Słońca (jako, że kąty $\angle CB$ i $\angle DE$ są bardzo małe, możemy również przyjąć, że długości C i B są równe G, a D i E równe H). Korzystając z własności trójkątów podobnych, możemy zapisać:

$$\frac{A}{G} = \frac{F}{H}$$

Czyli szukaną średnicę Słońca F możemy znaleźć w prosty sposób przekształcając powyższy wzór.

1. Cel doświadczenia

Celem doświadczenia jest zbudowanie prostego modelu ciemni optycznej i wykorzystanie jej do określenia średnicy Słońca.

2. Opis wykonania doświadczenia

UWAGA!

Podczas wykonywania doświadczenia nie należy nigdy patrzeć bezpośrednio na Słońce! Bezpośrednie patrzenie na Słońce może spowodować poważne i trwałe uszkodzenie wzroku!

1. Przygotuj pudełko (np. po butach), kartkę papieru i folię aluminiową. Celem wygodniejszego odczytu średnicy obrazu możesz użyć papieru milimetrowego.

2. Wytnij z przodu pudełka dziurę, a następnie przymocuj w jej miejsce folię aluminiową za pomocą np. taśmy klejącej.

3. Zrób mały otwór w folii, np. za pomocą pinezki.

4. W słoneczny, bezchmurny dzień, najlepiej gdy Słońce jest wysoko na niebie, zamontuj solidnie przyrząd tak, aby przedni i tylny bok był jak najbardziej prostopadły do kierunku na Słońce. W celu lepszej widoczności powstałego obrazu doświadczenie najlepiej przeprowadzić w pomieszczeniu, przez okno skierowane na południe.

5. Zmierz średnicę powstałego obrazu oraz długość pudełka i skorzystaj ze wzoru 1., aby wyznaczyć średnicę Słońca.



Rys. 5. Przygotowana camera obscura. Źródło: Michael Moltenbrey

Do przemyślenia:

1. Czy rozmiar otworu ma znaczenie przy obliczaniu średnicy Słońca? Jeśli tak, to jakie?
2. Czy istnieje różnica w jasności uzyskanych obrazów przy zmianie wielkości otworu?

Na oba pytania możesz także próbować odpowiedzieć powtarzając doświadczenie z różnymi wielkościami otworów. Jeśli się na to zdecydujesz, sporządź wykres zależności otrzymanej średnicy Słońca od wielkości otworu. Jakie wnioski można wyciągnąć analizując ten wykres?