

# Astrolabium

Konkurs astronomiczny

## Camera obscura



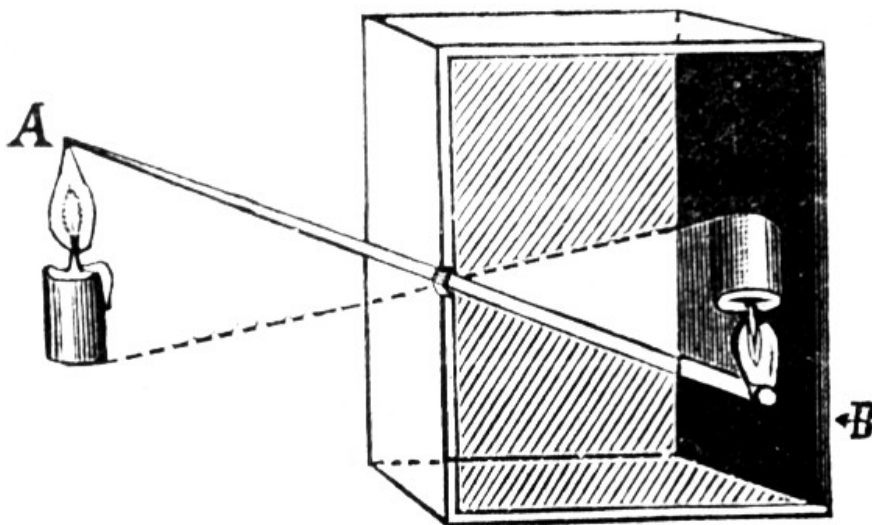
**Szkoła średnia  
Klasy I - IV  
Doświadczenie konkursowe 5**

**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.



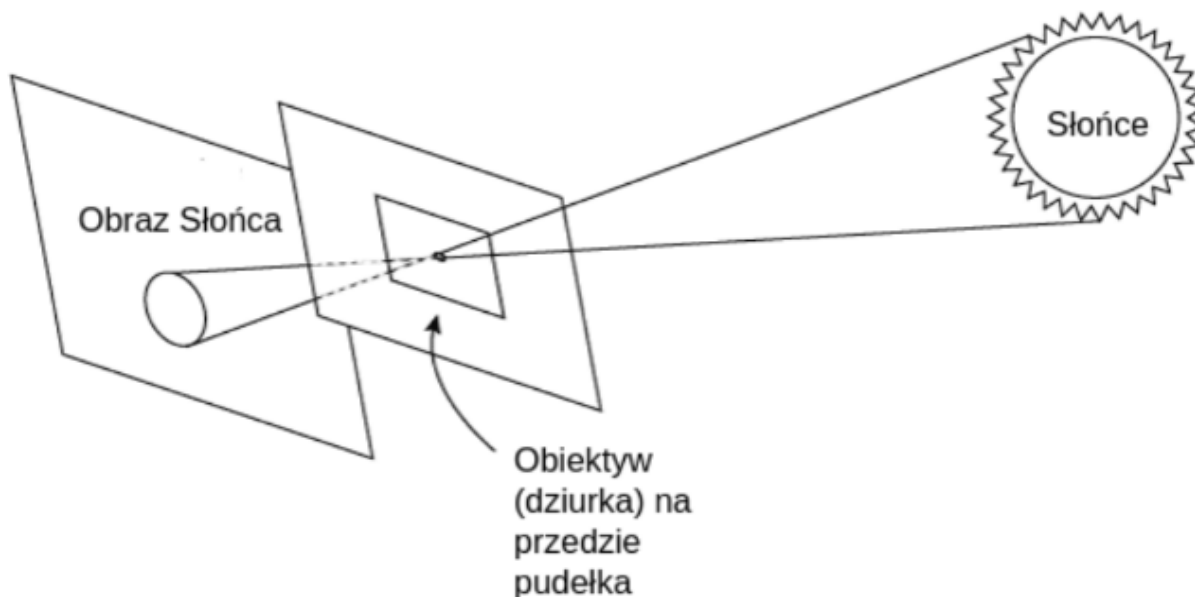
Rys. 2. „Widok z okna w Le Gras”. Pierwsza trwała fotografia, wykonana przez Nicéphora Niépce’a w 1826 lub 1827 roku. Źródło: wikipedia.org

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

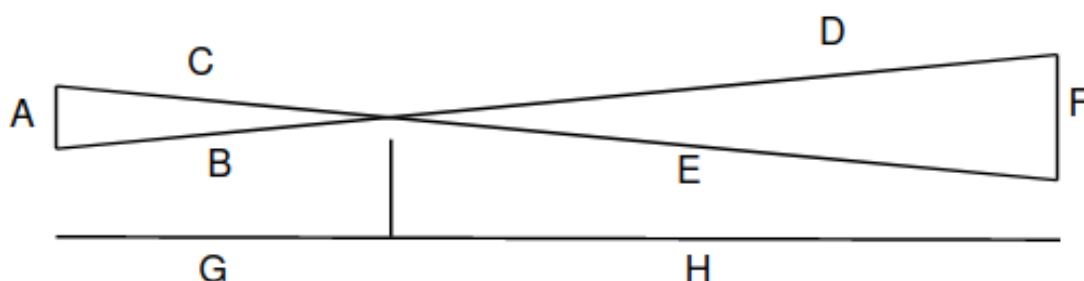
Dynamics Observatory (SDO) czy Solar and Heliospheric Observatory (SOHO). Instrumenty te używają różnych technik, w tym heliosejsmologii i interferometrii, aby zmierzyć średnicę Słońca z niespotykaną wcześniej dokładnością.

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



Rys. 3. Schemat otrzymania obrazu Słońca na pudełku z wykorzystaniem 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  $\angle CB$  oraz  $\angle DE$  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:

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

Z powyższego wzoru można bardzo łatwo wyznaczyć wzór na średnicę Słońca.

Na wpływ jakości obrazu uzyskanego przy użyciu ciemni optycznej wpływa przede wszystkim wielkość i jakość otworu. Ten powinien być idealnie okrągły, wykonany z cienkiego materiału i mieć optymalną wielkość. Im mniejszy otwór, tym ostrzejszy będzie obraz. Jest to jednak prawdziwe jedynie do pewnego momentu, gdyż gdy otwór jest zbyt mały, światło ulega dyfrakcji, co skutkuje rozmazaniem obrazu. Wielkość otworu nie jest natomiast jedynym parametrem, który możemy dostosować, aby uzyskany obraz był lepszej jakości. Pierwszą osobą, która znalazła wzór na optymalną wielkość otworu, był najprawdopodobniej Josef Petzval. Jego propozycja została później udoskonalona przez brytyjskiego laureata Nagrody Nobla – Lorda Rayleigha. Obowiązuje do dziś i wygląda następująco:

$$d = 1,9\sqrt{f \cdot l}$$

Wzór ten łączy ze sobą kilka wielkości: d – średnicę otworu, l – długość fali (tu można przyjąć średnią długość fali światła widzialnego, która wypada w „okolicy” koloru żółtego/zielonego, czyli falę o długości około 550 nm) i f – ogniskową (odległość od ekranu do otworu). Przy użyciu domowych przyrządów mierniczych jest ciężko z powodzeniem zrobić otwór o pożądanej przez nas, submilimetrowej średnicy, ale do tego problemu można też podejść z innej strony – dla zadanej wielkości otworu obliczyć odpowiednią ogniskową.

## 2. Cel doświadczenia

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

### 3. 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. Dla 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 przybliżoną średnicę Słońca.
6. Zmierz, najlepiej za pomocą miarki submilimetrowej, wielkość otworu (możesz też zmierzyć średnicę nóżki pinezki, którą wykonałeś otwór)
7. Wytnij przednią i tylną ściankę ciemni.
8. Przygotuj dość długą (najlepiej około 1 m) deskę lub linijkę. Przyklej prostopadle do deski wycięte ściany po przeciwległych końcach deski/linijki.
9. Powtórz pomiary średnicy Słońca jak wyżej, ale dla różnych długości ogniskowej.
10. Korzystając ze wzoru Lorda Rayleigha, oblicz optymalną długość ogniskowej dla zmierzonej przez Ciebie średnicy otworu. Dokonaj pomiaru średnicy Słońca dla tej wielkości.
11. Sporządź wykres zależności otrzymanych wyników od długości ogniskowej.

#### **Do przemyślenia**

1. Czy rzeczywiście najdokładniejszy wynik otrzymamy korzystając ze wzoru Rayleigha?
2. Co mogło wpłynąć na różnicę w wynikach?
3. Jaki wpływ ma długość ogniskowej na jasność obrazu?



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