

Wyznaczenie masy optycznej atmosfery

Krzysztof Markowicz

Instytut Geofizyki, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski

Czas trwania: 30 minut

Czas obserwacji: dowolny w ciągu dnia

Wymagane warunki meteorologiczne: słonecznie

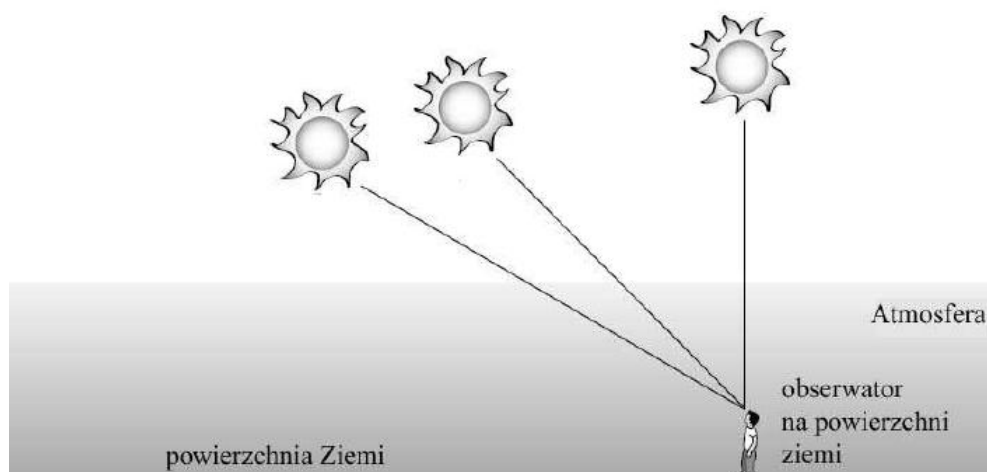
Częstotliwość wykonania: 2-3 razy

Poziom szkoły: podstawówka, gimnazjum, liceum

Materiały i przyrządy: metrówka, gnomon lub pręt od długości ok. 50-100 cm oraz poziomica lub sznurek z ciężarkiem

1. Wstęp

Masa optyczna atmosfery to wielkość określająca o ile dłuższą drogę przebywa promieniowanie słoneczne w atmosferze względem przypadku gdy Słońce znajduje się w zenicie (dokładnie nad głową). Kiedy Słońce jest dokładnie nad głową, promieniowanie słoneczne przechodzi przez najcieńszą warstwę powietrza przed dotarciem do powierzchni ziemi. W tym przypadku Słońce znajduje się 90° nad horyzontem a masa optyczna atmosfery wynosi 1. Kiedy Słońce znajduje się 30° ponad horyzontem, promieniowanie słoneczne musi



Rys. 1 Zróżnicowanie drogi promieniowania w atmosferze w zależności od kąta elewacyjnego słońca.

pokonać dwukrotnie dłuższą drogę, aby dotrzeć do obserwatora, wartość masy optycznej atmosfery wynosi wtedy 2. Najdłuższą drogę promieniowanie pokonuje

podczas wschodu lub zachodu Słońca (jest ona blisko 38 razy dłuższa, niż gdy Słońce jest w zenicie). Natężenie promieniowania słonecznego docierającego do instrumentu pomiarowego w bezchmurny dzień zależy od jego drogi w atmosferze, jak również od zawartości aerozoli, pary wodnej w pionowej kolumnie powietrza. Tak, więc, masa optyczna atmosfery, jaką będziemy wyznaczać w czasie wykonywania niniejszego ćwiczenia ma istotne znaczenie przy interpretacji danych uzyskanych przy użyciu fotometru słonecznego. Do tego wyliczenia potrzebna jest znajomość optycznej masy atmosfery w momencie dokonywania obserwacji. Masę optyczną możemy zmierzyć lub obliczyć korzystając z odpowiedniego programu [1][2].

Ze zmianą masy optycznej w ciągu dnia związane jest zmiana barwy tarczy słonecznej. Podczas wschodu lub zachodu Słońca droga pokonywana przez promienie słoneczne przez atmosferę jest najdłuższa, co powoduje, że światło w tym przypadku jest najsilniej modyfikowane przed atmosferę. Gazy zawarte w atmosferze najsilniej rozpraszają światło niebieskie stąd też najmniej promieni o tej barwie dociera do oka obserwatora. Z tego powodu barwa tarczy słonecznej jest pomarańczowa lub czerwona gdyż tylko światło w tych długościach fali zostało najmniej rozproszone podczas swojej długiej wędrówki w atmosferze.

Aby zrozumieć, w jaki sposób kąt elewacyjny słońca wpływa na optyczną masę atmosfery należy narysować na tablicy kilka poglądowych schematów, takich jak ten widoczny na rys. 1. Następnie przy pomocy metrowej linii mierzymy odległość pomiędzy górną granicą warstwy atmosfery a obserwatorem dla kątów elewacyjnych Słońca wynoszących 90, 45 i 30 stopni. Zauważamy, że w miarę jak kąt elewacyjny Słońca zmniejsza się, długość drogi, jaką muszą przebyć promienie słoneczne przez atmosferę wydłuża się.

Optyczna masa atmosfery może być wyliczona w terenie na podstawie długości cienia rzucanego przez pionowy pręt (gnomon). Na rys. 2 długość drogi promieniowania słonecznego przez atmosferę (p) jest funkcją kąta elewacyjnego Słońca (e). Odległość od powierzchni Ziemi do górnej granicy warstwy atmosfery (d) może być przyjęta, jako stała. Jak ukazuje rys. 3 światło słoneczne padające na gnomon rzuca cień, tworząc w ten sposób trójkąt prostokątny. Trzy boki tego trójkąta są tworzone przez: wysokość gnomonu (h), długość cienia rzucanego przez niego na powierzchni ziemi (r) i umowną przeciwprostokątną łączącą koniec gnomonu z końcem cienia (c). Kąt elewacyjny Słońca (e) jest taki sam w trójkątach prostokątnych na obu rycinach, co czyni je trójkątami podobnymi, w

których stosunek przyprostokątnej do boku przeciwległego kątowi e jest taki sam w obu przypadkach. W związku z tym, można określić optyczną masę atmosfery (p/d) poprzez pomiar boków trójkąta utworzonego przez gnomon i jego cień. Jest kilka sposobów wyznaczenia optycznej masy atmosfery w zależności od sprawności matematycznej uczniów. Jeśli znają oni jedynie arytmetykę, powinni zmierzyć przeciwprostokątną (c) bezpośrednio, tak jak sugerują poniższe kroki, a następnie zastosować następujące równanie

$$\text{Masa optyczna atmosfery} = c/h \quad (1)$$

Jeśli uczniowie znają już podstawy geometrii i pierwiastki kwadratowe, mogą zmierzyć

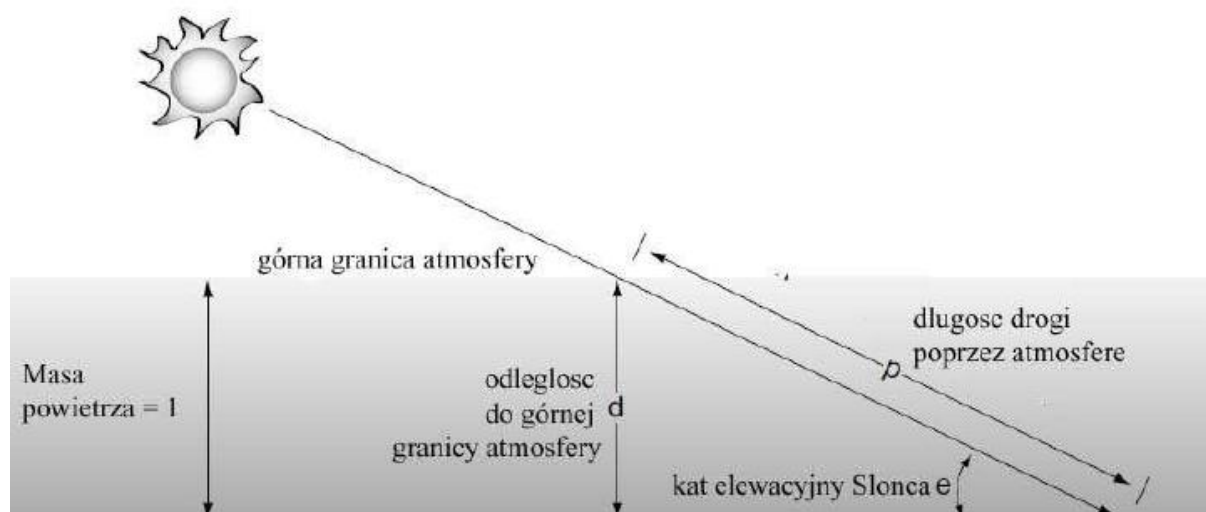
długość cienia (r) i wysokość gnomonu (h), a następnie wykorzystać równanie:

$$\text{Masa optyczna atmosfery} = \sqrt{\frac{h^2 + r^2}{h^2}} = \sqrt{1 + \frac{r^2}{h^2}} \quad (2)$$

Jeśli uczniowie znają już funkcje trygonometryczne, mogą zmierzyć wartość kąta elewacyjnego Słońca e i wykonać następujące obliczenia:

$$\sin e = \frac{h}{c} \quad (3)$$

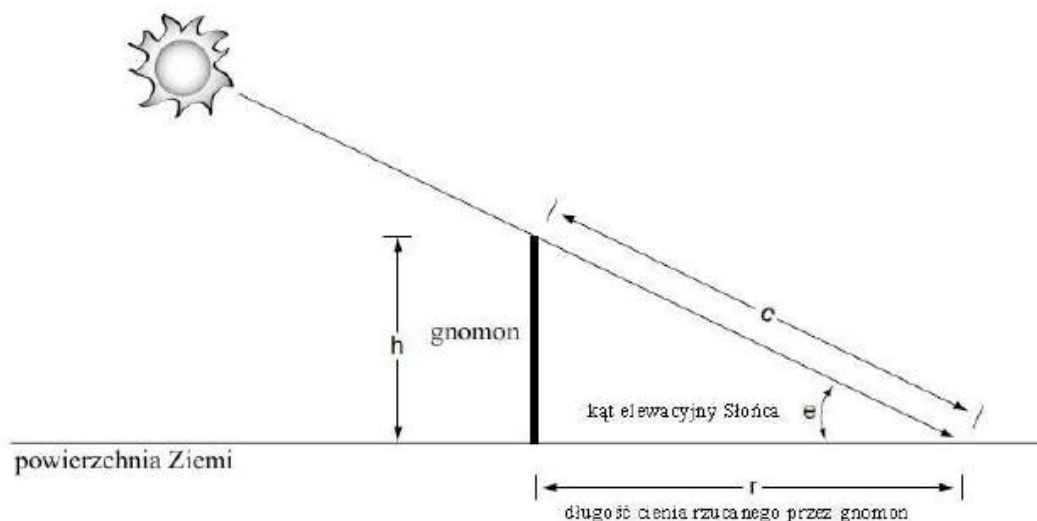
$$\text{Masa optyczna atmosfery} = \frac{h}{c} = \frac{1}{\sin e} \quad (4)$$



Rys. 2 Droga promieniowania słonecznego w atmosferze.

Przedstawione powyżej obliczenia dotyczą płaskiej powierzchni ziemi. W rzeczywistości powierzchnia ziemi ulega zakrzywieniu i przy małych kątach elewacyjnych (po niżej 20 stopni) należy uwzględnić krzywiznę Ziemi. W takim

przypadku stosuje się bardziej skomplikowane równania lub używa specjalnych programów do wyznaczania masy optycznej atmosfery [1],[2].



Rys. 3 Układ doświadczalny do pomiaru kąta elewacyjnego słońca.

2. Przyrządy pomiarowe

Nasz układ doświadczalny będzie składał się z gnomonu zbudowanego z drewnianego koła lub metalowego pręta, metrówki, poziomicy lub nitki z ciężarkiem. Ponadto wykorzystamy programy komputerowe do obliczania położenia Słońca oraz masy optycznej atmosfery.

3. Przeprowadzenie obserwacji.

1. W słoneczny dzień wybieramy płaskie miejsce w terenie, które nie będzie zacienione w trakcie wykonywania
2. Umieścić pionowo w ziemi gnomon (np. drewniany kołek lub inny prosty słupek) o długości, co najmniej 50 cm. Przy użyciu sznurka z ciężarkiem lub poziomnicy należy upewnić się, że gnomon jest prostopadły do powierzchni ziemi.
4. Należy zmierzyć długość gnomonu powyżej gruntu z dokładnością od 0.5 cm
5. Następnie, przy użyciu taśmy mierniczej lub sznurka zmierzyć odległość od czubka kołka do końca rzucanego przez cienia z dokładnością do 0.5 cm. To jest przeciwprostokątna trójkąta.

6. Punkty 5-6 należy powtórzyć 3 krotnie.

4. Protokół wyników

Wypełnij tablele wpisując datę pomiaru, godzinę w czasie uniwersalnym (odjąć 2 godziny dla czasu letniego lub odjąć 1 godzinę dla czasu zimowego), oraz wyniki kolejnych trzech pomiarów wysokości gnomonu oraz długości jego cienia. Oblicz wartości średnie w obu przypadkach. Wyznacz kąt elewacyjny Słońca oraz masę optyczną atmosfery ze wzoru 2 lub 4. Na podstawie serwisu maps.google.pl lub pomiarów wykonanych GPsem zapisz współrzędne geograficzne szkoły, a następnie na ich podstawie oraz daty i godziny pomiaru oblicz, przy użyciu kalkulatora internetowego [1],[2], kąt elewacyjny Słońca oraz masę optyczną atmosfery [2].

	Pomiary			
	I	II	III	średnia
Data i godzina [UTC] pomiaru				
Wysokość gnomonu [cm]				
Długość cienia [cm]				
Kąt elewacyjny słońca	x	x	x	
Masa optyczna atmosfery				
Szerokość geograficzna szkoły				
Długość geograficzna szkoły				
Kąt elewacyjnych słońca z programu				
Masa optyczna z programu komputerowego				

7. Analiza wyników

Zastanów się, w jaki sposób optyczna masa atmosfery wpłynie na natężenie promieniowania słonecznego docierającego do obserwatora na ziemi. Porównaj zmierzony i obliczony programem komputerowym kąt elewacyjny słońca oraz masę optyczną atmosfery. Przedyskutuj błędy pomiarowe oraz zastanów się, jaki wyniki uzyskasz dla małych kątów elewacyjnych Słońca?

8. Literatura

[1] Kalkulatory kąta elewacyjnego Słońca

<http://blog.kubiczek.eu/2008/11/kalkulator-polozenia-slonca/>

<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/index.html>

<http://pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/sun-position-calculator>

[2] Kalkulator kąta elewacyjnego Słońca oraz masy optycznej atmosfery

<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/neubrew/SolarCalc.jsp>