

Mierzymy grubość optyczną aerozoli

Krzysztof Markowicz

Instytut Geofizyki, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski

Czas trwania: 20 minut

Czas obserwacji: dowolny w ciągu dnia

Wymagane warunki meteorologiczne: bezchmurnie lub brak chmur w okolicach tarczy słonecznej

Częstotliwość wykonania: 1-5 raz w ciągu dnia

Poziom szkoły: podstawowa, gimnazjum, liceum

Materiały i przyrządy: fotometr słoneczny

1. Wstęp

Aerozole atmosferyczne pełnią bardzo ważną rolę w systemie klimatycznym. Ich obecność w atmosferze prowadzi do redukcji promieniowania słonecznego dochodzącego do powierzchni ziemi, co skutkuje niższą temperaturą powietrza. Aerozole, ponieważ chłodzą klimat zmieszają ogrzewanie poprzez stale rosnący efekt cieplarniany. Z tego powodu ich obecność w atmosferze jest pozytywna. Niestety znaczna część aerozoli nie jest obojętna dla naszego zdrowia. Te drobne cząstki zanieczyszczeń wnikają do dróg oddechowych prowadząc do wielu schorzeń. Z tego powodu podjęto starania o redukcję emisji aerozoli i poprawę jakości powietrza. Aerozole również mają znaczenie w obiegu wody na naszej planecie. Przy ich udziale mogą tworzyć się chmury i powstawać opady. Gdyby w atmosferze w ogólnie nie było aerozoli, (co nam raczej nie grozi, bo aerozole emitowane są również ze źródeł antropogenicznych) nie obserwowalibyśmy praktycznie żadnych chmur na nieboskłonie i nie doświadczalibyśmy opadów deszczu czy śniegu.

Podstawową wielkością mówiącą o ilości aerozoli w atmosferze jest ich grubość optyczna. Wielkość ta określa zawartość aerozoli w pionowej kolumnie powietrza i może być wyznaczona przy użyciu fotometru słonecznego. Fotometr słoneczny jest przyrządem służącym do pomiaru bezpośredniego promieniowania słonecznego, czyli promieniowania pochodzącego z obszaru tarczy słonecznej. Promieniowanie słoneczne przechodząc przez atmosferę jest stopniowo osłabiane

wskutek procesów absorpcji i rozpraszania. Zjawiska ta występują na molekułach gazów atmosferycznych (głównie tlenu azotu i pary wodnej), chmurach oraz na aerozolu. W przypadku braku chmur w okolicach tarczy słonecznej natężenie promieniowania bezpośredniego docierające do powierzchni Ziemi jest tym silniejsze im mniej zanieczyszczeń zawiera pionowa kolumna atmosfery (powietrze jest bardziej przezroczyste). Relacje te opisuje prawo Lamberta-Beera w postaci

$$I(\lambda) = I_{od}(\lambda) \exp(-m\tau(\lambda)) \quad (1)$$

gdzie $I(\lambda)$ jest natężeniem promieniowania słonecznego dochodzącego do fotometru, $I_{od}(\lambda)$ jest natężeniem promieniowania słonecznego dochodzącego do górnych granic atmosfery (spektralna stała słoneczna), m oznacza masę optyczną atmosfery, zaś τ grubość optyczną atmosfery, zaś λ oznacza długość fali w nm. Ze względu na fakt, że stałą słoneczną zależy od chwilowej odległości Ziemia - Słońce d wprowadza się pojęcie stałej słonecznej $I_o(\lambda)$ dla średniej odległości Ziemia-Słońce d_o wówczas prawo Lamberta-Beera przyjmuje postać

$$I(\lambda) = I_o(\lambda) \left(\frac{d_o}{d} \right)^2 \exp(-m\tau(\lambda)) \quad (2)$$

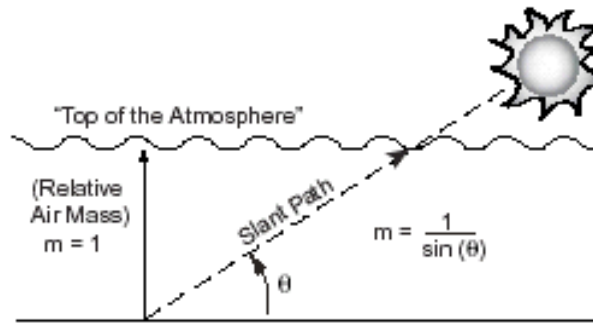
Stosunek kwadratów średniej do chwilowej odległości Ziemia-Słońce wyraża się przybliżonym wzorem:

$$\left(\frac{d_o}{d} \right)^2 = 1 + \left[0.034 \cos \left(2\pi \frac{\text{day}}{365} \right) \right] \quad (3)$$

gdzie day oznacza dzień roku.

Masa optyczna atmosfery jest wielkością bezwymiarową zdefiniowana przez stosunek całkowitej masy kolumny powietrza (o jednostkowej powierzchni) nachylonej w kierunku Słońca do masy pionowej kolumny powietrza. Uwzględnia ona zmianę drogi, jaką pokonuje promieniowanie w atmosferze w zależności od kąta elewacyjnego Słońca. W przypadku, gdy kąt elewacyjny Słońca jest większy od 30° masa optyczna atmosfery może być wyznaczana z przybliżenia płasko-równoległego i wynosi

$$m = \frac{1}{\sin(\alpha)}. \quad (4)$$



W przypadku, gdy Słońce znajduje się na horyzoncie masa optyczna wynosi, około 38, co oznacza, że promieniowanie przechodzi 38 krotnie dłuższą drogą niż gdyby Słońce było w zenicie. Nic, więc dziwnego, że tarcza słoneczna przybiera kolor pomarańczowy i czerwony podczas wschodu czy zachodu Słońca. Wynika to z faktu, że promieniowanie z zakresu niebieskiego, żółtego czy zielonego zostało pochłonięte i rozproszone w atmosferze. Dochodzi do nas jedynie słabiej oddziaływujące z atmosfera promieniowanie z zakresu czerwonego.

Wzór 1 opisuje tzw. całkowitą grubość optyczną gdyż nie tylko aerozole osłabiają promieniowanie docierające do powierzchni ziemi. Całkowita grubość optyczna atmosfery może być wyrażona poprzez sumę grubości optycznej związanej z aerozolami τ_{AOT} , molekułami powietrza (rozpraszanie Rayleigh) τ_{RAY} , parą wodną τ_{H_2O} i innymi gazami śladowymi (ozon) τ_g

$$\tau = \tau_{AOT} + \tau_{RAY} + \tau_{H_2O} + \tau_{O_3} \quad (5)$$

Grubość optyczna związana z molekułami powietrza jest odpowiedzialna za błękitny kolor nieboskłonu. Wielkość ta zmniejsza się z długością fali jak λ^{-4} co oznacza, że fale najkrótsze (niebieskie) są najsilniej rozpraszane w atmosferze. Sprawia to, że nieboskłon pozbawiony chmur ma kolor niebieski. Molekularne grubości optycznej wynoszą odpowiednio 0.61, 0.14, 0.008 dla długości fali 350, 500 oraz 1000 nm. W celu wyznaczenia grubości optycznej związanej z rozpraszaniem na molekułach powietrza stosuje się następujący wzór

$$\tau_{RAY} = \frac{p}{p_0} (A\lambda^{-4} + B\lambda^{-5} + C\lambda^{-6}) \quad (6)$$

gdzie p jest ciśnieniem atmosferycznym w [hPa], λ długością fali w [μm] a pozostałe stałe przyjmują następujące wartości: $p_0=1013$ hPa, $A=8436 \cdot 10^{-6} \mu\text{m}^4$, $B=-1225 \cdot 10^{-7} \mu\text{m}^5$, $C=14 \cdot 10^{-5} \mu\text{m}^6$. W przypadku promieniowania słonecznego w zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni wpływ pary wodnej i ozonu jest na ogół zaniedbywane mały. W tym przypadku grubość optyczna aerozoli może być

więc wyznaczona na podstawie pomiarów promieniowania bezpośredniego ze wzoru

$$\tau_{AOT} = \frac{1}{m} \left[\ln \frac{I_o}{I} + 2 \ln \frac{d}{d_0} \right] - \tau_{RAY} \quad (7)$$

2. Przyrządy pomiarowe

Jednym z przyrządów, który będzie wykorzystany podczas obserwacji jest fotometr słoneczny. Przyrząd ten służy do pomiaru promieniowanie bezpośredniego docierającego do powierzchni ziemi. Energia słoneczna mierzona jest przez fotodiody w różnych zakresach spektralnych, co umożliwia nie tylko wyznaczenie grubości optycznej aerozoli, ale również szacowanie rozmiarów cząstek. Stosowany będzie prosty fotometr słoneczny wyposażony dwa kanały (green oraz red). Przyrząd wyposażony jest w celownik umożliwiający ustawianie czujników w kierunku tarczy słonecznej.

3. Przeprowadzenie obserwacji

Pomiary wykonujemy tylko w pogodny dzień tylko, gdy okolice tarczy słonecznej pozbawione są całkowicie chmur (nawet cienkich słabo widocznych gołym okiem). Procedura pomiarowa będzie składała się z dwóch etapów. Pierwszego związanego z obserwacją nieboskłonu oraz drugiego związanego z pomiarami fotometrem słonecznym.

Uwagi:

- Przynajmniej raz miesiącu sprawdzamy baterie w fotometrze. W tym celu odkręcamy 4 śruby w obudowie i mierzymy napięcie baterii. Jeśli jest poniżej 7.5V to baterie wymieniamy na nową.
- Każdego dnia sprawdzamy ustawienie naszego zegarka. Jeśli różnica jest większa niż 30 sek. dokonujemy synchronizacji względem dowolnego wzorca (radio, TV lub internet)
- W okresie letnim należy zwrócić szczególną uwagę, aby fotometr nie nagrzał się do wysokiej temperatury. Wychodząc na zewnątrz szkoły należy trzymać fotometr w cieniu a jedynie podczas pomiaru wystawiać go na

działanie promieniowania słonecznego. W okresie zimowy natomiast należy zadbać o to, aby fotometr nie wychodził się.

- Pomiar można wykonywać przez okno, ale po jego wcześniejszym otworzeniu.

Procedura pomiarowa

1. Obserwuj okolice tarczy słonecznej poprzez przyciemnione okulary. Jeśli nie widzisz chmur to kontynuujemy procedurę pomiarową, jeśli stwierdzisz obecność chmur nie wykonujemy dalszych punktów
2. Podłączyć woltomierz do fotometru słonecznego.
3. Włączyć fotometr oraz woltomierz i ustawić go na zakres 0-2V lub 0-20V DC
4. Włączyć kanał zielony (GRN)
5. Ustawić się twarzą w kierunku Słońca i nastawić fotometr dokładnie na Słońce przy użyciu celownika. Gdy wybierzemy kanał GRN plamka słońca powinna zakrywać zieloną plamkę celownika, a w przypadku kanału RED słońce powinno padać na plamkę czerwoną.
6. Manewrując lekko położeniem fotometru obserwujemy maksymalne wskazania woltomierza. Po 15-20 sekundach zapisujemy maksymalne napięcie w [V] oraz dokładny czas pomiaru.
7. Zakrywamy palcem wlot światła do fotometru i zapisujemy napięcie (napięcie ciemne).
8. Wybieramy kanał czerwony (RED) i powtarzamy kroki 5-7.
9. Cały cykl pomiarowy powtarzamy trzy krotnie.
10. Wyłączamy fotometr oraz woltomierz.
11. Zapisujemy zachmurzenie oraz rodzaj chmur.
12. Mierzmy temperaturę, ciśnienie oraz wilgotność powietrza.
13. Szacujemy kierunek wiatru
14. Wypełniamy do końca protokół.

4. Protokół wyników

Wypełnij table w karcie pracy wpisując datę oraz godzinę, minutę, sekundę każdego pomiaru w czasie uniwersalnym (odjąć 2 godziny dla czasu letniego lub odjąć 1 godzinę dla czasu zimowego). Po powrocie do kasy wyniki

pomiarów wpisujemy do Excela w zakładce *Fotometr Słoneczny*. Po wpisaniu wszystkich pól program automatycznie obliczy nam grubość optyczną aerozoli w kanale zielonym oraz czerwonym.

	Kanał GRN				Kanał RED			
	I	II	III	średnia	I	II	III	średnia
data pomiaru								
godzina pomiaru [UTC]				X				X
zachmurzenie [%]								
rodzaj chmur								
chmury blisko słońca								
temperatura								
wilgotność [%]								
ciśnienie [hPa]								
kierunek wiatru								
napięcie w słońcu [V]								
napięcie ciemne [V]								

5. Analiza wyników

Grubość optyczna w kanale zielonym poniżej 0,1 wskazuje na czystą masę powietrza, w zakresie 0,1-0,2 na słabo zanieczyszczoną, w zakresie 0,2-0,3 na umiarkowanie zanieczyszczoną, w zakresie 0,3-0,5 na silnie zanieczyszczoną, zaś powyżej 0,5 na bardzo silnie zanieczyszczoną. Wyniki pomiarów grubości optycznej porównujemy z pomiarami koloru nieboskłonu oraz widzialności. Grubość optyczna w kanale czerwonym jest na ogół mniejsza niż w zielonym. Im większa różnica grubości optycznej pomiędzy kanałem zielonym a czerwonym tym mniejsze cząstki występują w atmosferze. W przypadku, gdy różnica, jeśli mała lub równa zero oznacza to obecność dużych aerozoli (np. pył pustylny lub aerozol morski).

6. Literatura

[1] Markowicz, K., Amatorskie pomiary meteorologiczne: fotometr słoneczny, Delta, 04/2010 <http://mimuw.edu.pl/delta/artykuly/delta2010-04/2010-04-pomiary.pdf>