

Wyznaczanie efektu cieplarnianego

Krzysztof Markowicz

Instytut Geofizyki, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski

Czas trwania: 30 minut

Czas obserwacji: dowolny

Wymagane warunki meteorologiczne: dowolne

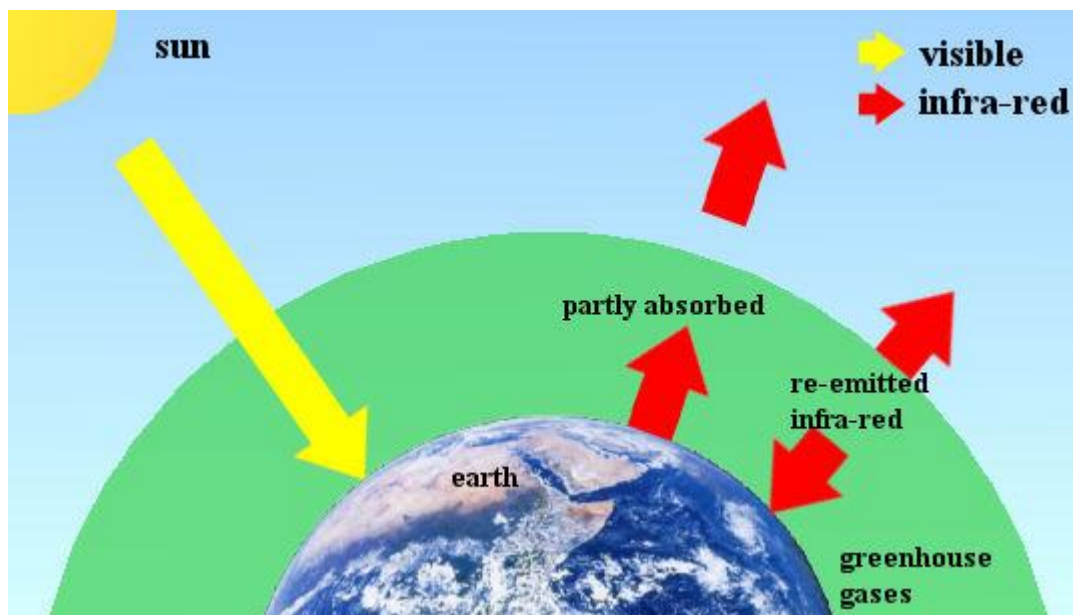
Częstotliwość wykonania: 1 raz w ciągu dnia

Poziom szkoły: gimnazjum, liceum

Materiały i przyrządy: pirometr, luksomierz

1. Wstęp

Efekt cieplarniany jest zjawiskiem występującym w ziemskim systemie klimatycznym od zarania dziejów. Ma on istotne znaczenie z punktu widzenia rozwoju życia na naszej planecie. Na Ziemi pozbawionej efektu cieplarnianego temperatura powietrza byłaby ok. 30°C niższa niż jest obecnie uniemożliwiając tym samym rozwój życia w takiej formie, jakie je dziś znamy. W ostatnich dziesięcioleciach obserwujemy jednak, że efekt cieplarniany przybiera na sile głównie za sprawą rosnącej koncentracji dwutlenku węgla oraz metanu. Pomimo, że para wodna jest najważniejszym gazem cieplarnianym to pozostałe gazy mają



Rys.1 Wizualizacja efektu cieplarnianego. Gazy cieplarniane są przezroczyste dla promieniowania słonecznego (żółta linia) oraz pochłaniają silnie promieniowanie

podczerwone (czerwone linie). Źródło:
http://www.weather.gov.hk/climate_change/human_activities_e.htm.

istotne znacznie z punktu widzenia klimatu. Np. wzrost koncentracji CO₂ powoduje ogrzewanie klimatu to zaś zwiększa koncentrację pary wodnej co jeszcze bardziej wzmacnia efekt cieplarniany. Rozumienie podstawowych procesów klimatycznych z udziałem gazów cieplarnianych jest istotne z punktu widzenia naszej wiedzy na temat obecnych oraz przyszłych zmian klimatu.

Zjawisko efektu cieplarnianego może być wyjaśnione na podstawie powyższego diagramu energii. Czerwonymi liniami zaznaczone jest promieniowanie podczerwone, które jest silnie pochłaniane przez gazy cieplarniane. Gdyby w atmosferze nie było gazów cieplarnianych promieniowanie podczerwone emitowane przez powierzchnię ziemi swobodnie opuszczałoby ziemską atmosferę. Jednak ze względu na gazy cieplarniane tak nie jest gdyż promieniowanie to jest pochłaniane, a następnie emitowane w kierunku powierzchni ziemi oraz przestrzeni kosmicznej. W rezultacie do powierzchni ziemi dociera dodatkowa część promieniowania, która ogrzewa niskie warstwy atmosfery, zaś emitowanie w przestrzeń kosmiczną promieniowanie jest znacząco mniejsze niż w atmosferze pozbawionej tych gazów. Tak więc gazy cieplarniane zatrzymują znaczną część energii w systemie klimatycznym, przez co podnoszą jego temperaturę.

W celu zbadania efektu cieplarnianego wykorzystamy płytkę pleksi lub szybę, która podobnie jak gazy cieplarniane przepuszczają promieniowanie słoneczne, ale zatrzymują promieniowanie ciepłe. Ćwiczenie polegało będzie na wykonaniu pomiaru temperatury powierzchni ziemi (najlepiej silnie nagrzaną - asfalt, beton) poprzez skierowanie pionowo w dół pirometru, a następnie na powtórzeniu pomiaru, gdy na drodze pomiędzy powierzchnią ziemi a pirometrem znajduje się płytkę. W ten sposób obserwować będziemy redukcję promieniowania emitowanego przez powierzchnię ziemi, jaka ma miejsce w atmosferze. Wykonany pomiar będzie analogiczny do obserwacji satelitarnych, które wykonują pomiary promieniowania ponad warstwą gazów cieplarnianych. W drugim przypadku będziemy mierzyć temperaturę nieboskłonu w kierunku zenitu a następnie powtórzymy pomiar, gdy na drodze od zenitu do pirometru umieścimy płytkę. W tym przypadku skumulować będziemy jak efekt cieplarniany wpływa na powietrze przy powierzchni ziemi ma. Pomiary powtarzamy nad powierzchnią trawy lub inna, której temperatura jest istotnie

niższa niż w pierwszym przypadku. Ćwiczenie najlepiej wykonać jest w słoneczny dzień, gdy powierzchnia ziemi nagrzewa się silnie. Można je wykonać zarówno w lecie jak i w zimie nad powierzchnią śniegu.

2. Przyrządy pomiarowe

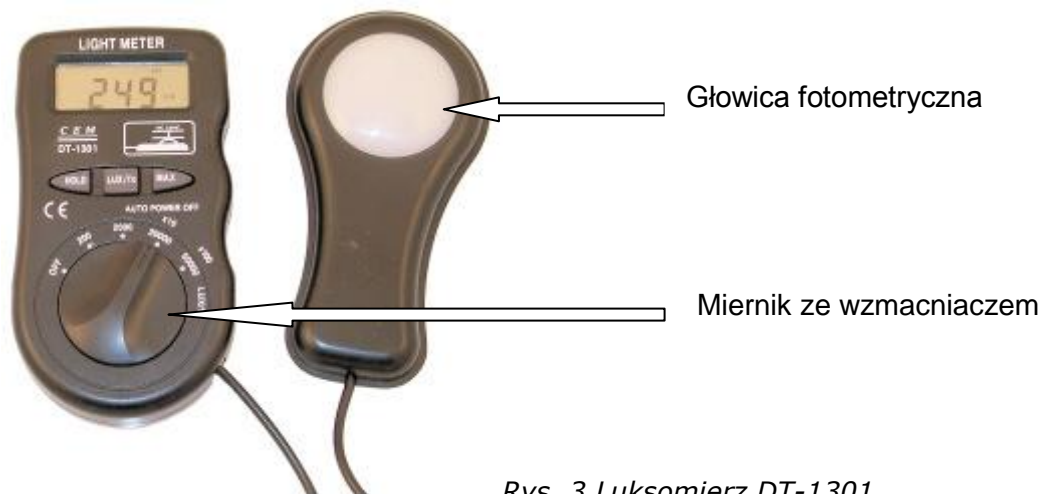
Jednym z przyrządów, który będzie wykorzystany podczas obserwacji jest pirometr. Przyrząd ten służy do bezdotykowego pomiaru temperatury. Pirometr mierzą ilość (natężenie) energii emitowanej przez ciała w określonej jednostce czasu poprzez pomiar temperatury elementu, na który pada promieniowanie termiczne (termoparę). Obecnie pirometry coraz częściej stosuje się do pomiaru temperatury ciał fizycznych np. pirometr lekarski służy do pomiaru temperatury ciała człowieka czy temperatury przygotowywanych posiłków.



Rys.2 PIR882-C Pirometr Compact

Stosowany będzie pirometr kompaktowy PIR 882C (widoczny na zdjęciu) jednak doświadczenie może być przeprowadzone dowolnym pirometrem, którego zakres temperatury jest, co najmniej w przedziale od -50 do 50 °C. Przyrząd charakteryzuje się prostym sposobem obsługi oraz nowoczesną, ergonomiczną obudową. Wyposażony jest w celownik laserowy pozwalający na precyzyjne określenie punktu pomiarowego. Posiada funkcje podświetlenia wyświetlacza oraz zatrzymania wyniku pomiaru (Data Hold).

Do pomiaru promieniowania słonecznego będziemy używać luksomierza. Jest to przyrząd zaprojektowany do pomiaru natężenia oświetlenia. Jednostką natężenia oświetlenia w układzie SI jest Luks (lx). Luksomierz wykonuje pomiar natężenia oświetlenia w zakresie spektralnym zbliżonym do naszych oczu. Natężenie oświetlenia w pomieszczeniach zamkniętych wynosi od stu do kilkuset luksów, podczas gdy natężenie oświetlenia przez tarczę słoneczną może sięgać nawet 100 tys. lx.



Rys. 3 Luksomierz DT-1301

Luksomierz typu DT-1301 wyposażony jest w głowicę fotometryczną połączoną z miernikiem 1,5 metrowym przewodem. Pomiar natężenia oświetlenia może być przeprowadzany w szerokim zakresie regulowanym przez użytkownika. Miernik zasilany jest z 12V baterii alkalicznej typ A23. Posiada funkcję automatycznego odciążenia zasilania po 15 min. bezczynności oraz sygnalizację rozładowania baterii. Luksomierz może być stosowany od pomiarów w domu, pracy, szkole, przy hodowli roślin i zwierząt oraz do celów inspekcyjnych pomieszczeń, w których pracują lub przebywają ludzie, w fotografii itp.

3. Przeprowadzenie obserwacji

Procedura pomiarowa będzie składała się z dwóch etapów, w pierwszym będziemy mierzyć przezroczystość płytki dla promieniowania słonecznego, w drugim efekt cieplarniany. Wszystkie pomiary powinny być wykonane w miejscu gdzie możliwe najlepiej widoczny jest nieboskłon. Minimalne wymagania to widoczne (niezasłonięte) okolice zenitu oraz słońca.

Przebieg procedury pomiarowej luksomierzem:

1. Wyjmij czujnik oraz wyświetlacz luksomierza z etui.
2. Uruchom luksomierz poprzez przekręcenie pokrętki w prawo. Ustaw odpowiedni zakres pomiarowy 50000.
3. Upewnij się że na wyświetlaczu ustawione są jednostki LUX. Jeśli nie to naciśnij środkowy przycisk.
4. Przyrząd powinien w tym momencie wskazywać 0 LUX

5. Otwórz czujnik luksomierza poprzez ściągnięcie górnej pokrywy i sprawdź czy głowica przyrządu jest czysta. Jeśli nie wyczyść głowicę delikatną chusteczką. Pamiętaj aby głowica pomiarowa nie była wilgotna.
6. Ustaw czujnik luksomierza poziom skierowany czujnikiem (białą półkulą do góry). Najlepiej położyć go na ziemi. Osoba wykonująca pomiar ani osoby obserwujące nie mogą zasłaniać światła padającego na głowicę fotometryczną.
7. Odczytaj trzykrotny wynik pomiaru w odstępach ok. 5 sekundowych.
8. Nad luksomierzem umieść płytkę pleksi lub szklaną szybę i powtórz pomiary z punktu 7. Pamiętaj aby głowica pomiarowa była możliwie najdalej odsunięta od ciała osoby wykonującej pomiar. Unikaj zmian warunków pomiędzy punktem 7 oraz 8.
9. Po zakończeniu pomiarów zamknij czujnik luksomierza i schowaj przyrząd do etui.

Przebieg procedury pomiarowej z użyciem pirometru

1. Skieruj pirometr w kierunku zenitu
2. Naciśnij czerwony przycisk
3. Sprawdź czy jednostkami temperatury są stopnie Celsiusa jeśli nie to naciśnij przycisk °C.
4. W celu wykonania pomiaru temperatury naciśnij i trzymaj czerwony przycisk. W czasie pomiaru na wyświetlaczu pojawia się napis SCAN. Wyniki są odświeżane 2.5 razy na sekundę.
5. Przez 5 sekund obserwuj wskazania przyrządu i oszacuj wartość średnią temperatury.
6. Po zakończeniu pomiaru (zwolnieniu czerwonego przycisku) przyrząd zapamiętuje ostatnią wartość i wyświetla napis HOLD.
7. Punkty 4-5 powtórz 3 razy.
8. Następnie wykonaj pomiar przez płytkę pleksi lub szklaną szybę mieszając ją tuż (5-10 cm) nad pirometrem. Punkty 4-5 powtórz 3 razy.
9. Następnie skieruj pirometr pionowo w dół, ale staraj się nie kierować przyrządu w swoje nogi. Punkty 4-5 powtórz 3 razy.
10. Pomiedzy pirometrem a powierzchnia ziemi umieść płytkę (ok. 5-10 cm po niżej pirometru). Punkty 4-5 powtórz 3 razy.
11. Przyrząd wyłącza się automatycznie

12. Raz w miesiącu sprawdź stan baterii poprzez odłączenie baterii i podłączenie jej do miernika uniwersalnego. Jeśli napięcie jest mniejsze niż 8 V wymień baterie na nową.

Na podstawie zmierzonej pirometrem temperatury t wyznaczamy promieniowanie podczerwone zgodnie ze wzorem

$$F_{IR} = \sigma \cdot (t + 273)^4 \quad (1)$$

gdzie σ jest Stała Stefana Boltzmanna i wynosi $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}$.

Uwaga: Nigdy nie kieruj przyrządu w kierunku słońca

Dodatkowo w czasie pomiarów mierzymy temperaturę powietrza. W tym celu korzystamy z termometru zaokienego lub termometru w klatce meteorologicznej, (jeśli takową posiadamy).

4. Protokół wyników

Wypełnij tabele 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 pirometrem oraz luksomierzem. Zwróć uwagę na jednostki zmierzonych wielkości fizycznych. Oblicz wartości średnie z trzech pomiarów i na podstawie pomiarów pirometrem wyznacz natężenie promieniowania podczerwonego ze wzoru 1. W dalszej kolejności wyznacz, jaką część energii słonecznej jest przepuszczana przez płytkę dzieląc wynik uzyskany luksomierzem przykrytym płytką oraz bez płytki. Ponadto wyznacz o ile wzrośnie promieniowanie podczerwone nieboskłonu skierowane w kierunku powierzchni ziemi, jeśli po drodze znajdują się gazy cieplarniane. Wynik ten uzyskamy dzieląc wartości średniej energii dla pomiaru nieboskłonu bez oraz z płytką. Ostatecznie wyznaczamy redukcję promieniowania podczerwonego przez gazy cieplarniane, które dociera do górnej granicy atmosfery poprzez podzielenie wyników średniej energii uzyskanej podczas pomiaru pirometrem skierowanym w dół bez oraz z płytką.

| Typ powierzchni ziemi: | Pomiary | | | | Średnia energia [W/m ²] | Iloraz |
|--|---------|----|-----|---------|--|--------|
| | I | II | III | średnia | | |
| Data i godzina [UTC] pomiaru | | | | | x | x |
| Luksomierz skierowany do góry [klx] | | | | | | |
| Luksomierz przykryty płytką [klx] | | | | | | |
| Pirometr skierowany do góry [°C] | | | | | | |
| Pirometr skierowany do góry przez płytkę [°C] | | | | | | |
| Pirometr skierowany w dół [°C] | | | | | | |
| Pirometr skierowany w dół przez płytkę [°C] | | | | | | |

5. Analiza wyników

W wyniku przeprowadzonych pomiarów oraz obliczeń zastanów się czy płytka pleksi lub szklana szyba zachowują się podobnie jak gazy cieplarniane? Czy widzisz podobieństwo i różnice? Czy na efekt cieplarniany ma wpływ rodzaj podłoża? O ile procent gazy cieplarniane redukują promieniowanie długofalowe opuszczające ziemską atmosferę oraz o ile rośnie strumień promieniowania długofalowego skierowany w kierunku powierzchni ziemi?

6. Literatura

[1] Efekt cieplarniany http://pl.wikipedia.org/wiki/Efekt_cieplarniany

[2] Bilans energii w atmosferze

<http://www.igf.fuw.edu.pl/meteo/stacja/climatebilans.php>

[3] Trenberth, K.E., J.T. Fasullo, and J. Kiehl, 2009: Earth's Global Energy Budget. Bull. Amer. Meteor. Soc., 90, 311–323.