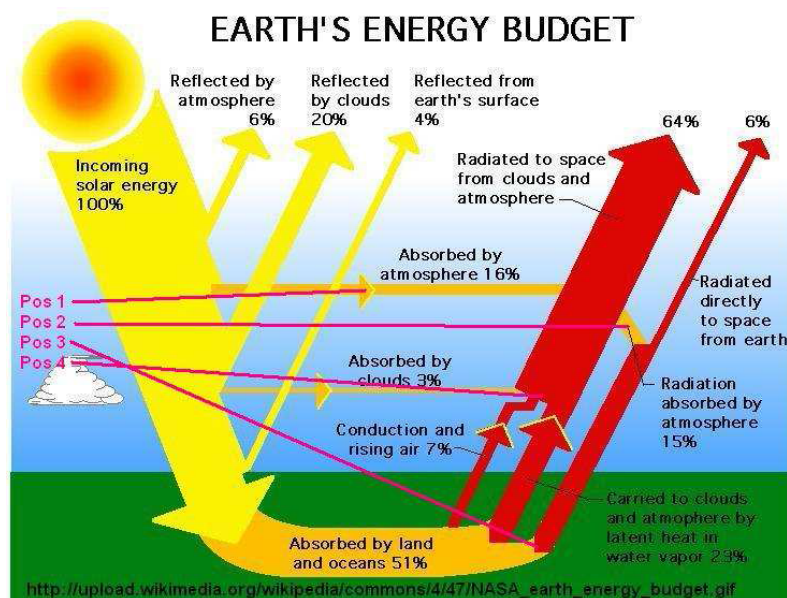


Dlaczego CO₂ chłodzi powierzchnię Ziemi¹

Dr Gerhard Stehlik², Hanau,
Prof. Dr - Inż. Vollrath Hopp, Dreieich, Przewodniczący Oddziału Środowiska Zrzeszenia Inżynierów
Niemieckich (VDI) dla rejonu Frankfurt – Darmstadt
Dr Edmund Wagner, GIANT, Wiesbaden
© 22. sierpnia 2013

Najlepsze zobrazowanie rzeczywistych strumieni energii na powierzchni planety Ziemi, jakie można znaleźć, pochodzi z NASA (rys. 1)³. Podobnie przedstawia to Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu (IPCC). Jakościowo pomiary globalnych strumieni energii przedstawiane przez NASA i IPCC⁴ zasadniczo nie różnią się od siebie. Występujące w paru przypadkach niewielkie, subtelne różnice w wartościach liczbowych, nie mają większego znaczenia.

Rys. 1:



Na schemacie NASA całkowite promieniowanie słoneczne w kierunku Ziemi (100%) oraz jego podział na różne strumienie przedstawiono w różnych odcieniach żółtego koloru. Trzy strumienie zostają odbite, dwa kolejne są absorbowane przez atmosferę, a główny strumień (51%) ogrzewa powierzchnię Ziemi.

Nagrzewanie Ziemi przez Słońce jest zjawiskiem podstawowym i niezaprzeczalnym, podobnie jak położenie promieniowania słonecznego w spektrum elektromagnetycznym (rys. 2). Nie ulega wątpliwości, że Ziemia nie jest w stanie podgrzać się sama. To oznacza, że żadna substancja

¹ Tłumaczenie Patrycja Kwapik, Kraków, prof. Wojciech Zeńczak, Szczecin

² Dr. Gerhard Stehlik, gerhard.stehlik@gmx.de, www.gerhard-stehlik.de

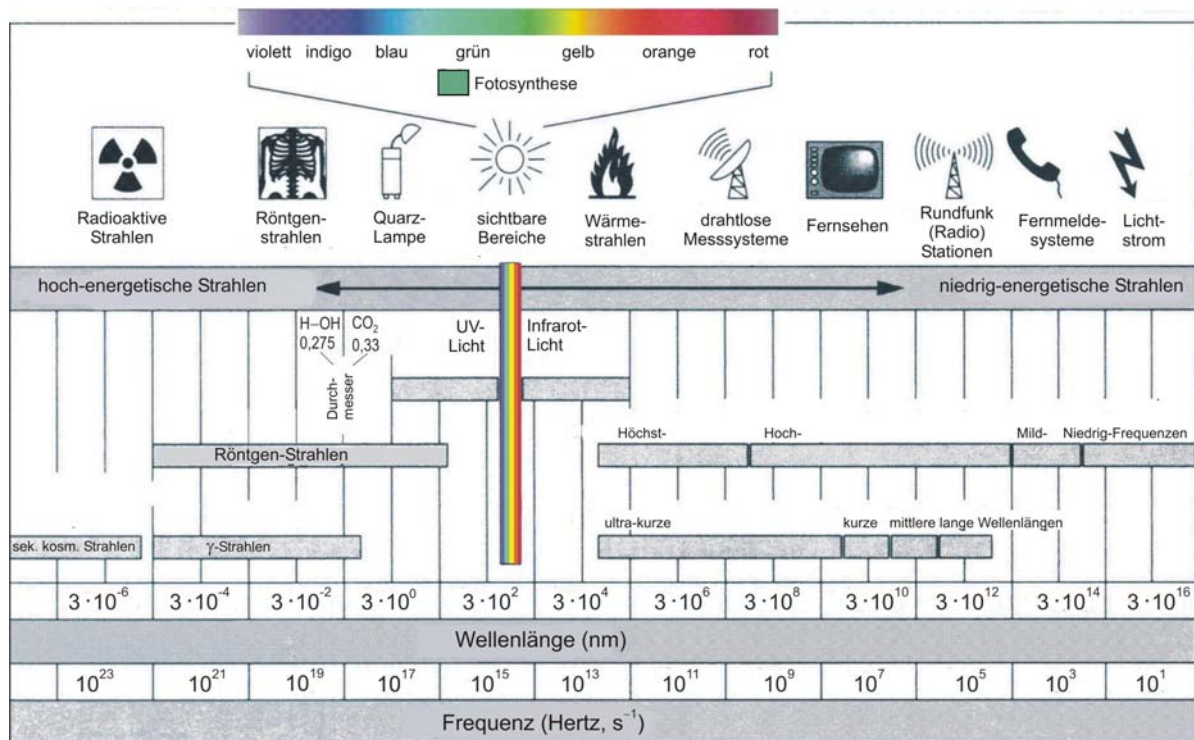
³ NASA - National Aeronautics and Space Administration, USA

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/47/NASA_earth_energy_budget.gif

⁴ IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Frequently Asked Question 1.1 „What Factors Determine Earth's Climate“ Page 94 [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

chemiczna na świetle, również cząsteczka gazu CO₂, nie może podgrzewać się sama. Jeżeli CO₂ ma się podgrzać samodzielnie, a ponadto jeszcze jego otoczenie, to musi być do niego dostarczona energia z zewnątrz.

Rys. 2:



Spektrum energetycznego promieniowania słonecznego w nanometrach

(Średnica cząsteczki wody 0,275 nm

cząsteczki dwutlenku węgla, kinetycznie: 0,33 nm; statycznie 0,4nm

Proces chłodzenia Ziemi przez wszechświat wymaga zróżnicowanego rozpatrzenia atmosfery ziemskiej i powierzchni Ziemi. Strumienie energii oddawanej przez powierzchnię Ziemi do wszechświata zostały zaznaczone na rys. 1 kolorem czerwonym.⁵ Trzy strumienie energii przyczyniają się ochładzania powierzchni Ziemi. Pierwszy strumień (7%) stanowi wymianę ciepła przez unoszenie (termika). Drugi i najważniejszy strumień oddawanego ciepła (chłodzenie) pojawia się wskutek parowania powierzchni wody (23%). Na trzeci strumień energii składa się promieniowanie cieplne powierzchni Ziemi do wszechświata (15 + 6%).

Nie występuje przepływ energii z atmosfery do powierzchni Ziemi. Efekt cieplarniany na poziomie +33 C wymagałby jednak przepływu takiego strumienia energii.

Schemat NASA przedstawia rzeczywiście dwa strumienie energii promieniowania skierowane do atmosfery oznaczone kolorem żółtobrązowym. Strumień energii Słońca przedstawiono za pomocą długiej poziomej strzałki (pozycja 1). Stanowi on 16% całego strumienia promieniowania słonecznego. Strumień ciepła z powierzchni Ziemi (pozycja 2) przedstawiono jako skręcającą strzałkę,

⁵ Pozycja 2 stanowi wyjątek.

i stanowi on 15 % udział. To promieniowanie cieplne od powierzchni Ziemi, oznaczone czerwoną strzałką po prawej stronie na dole (pozycja 3), rozdziela się w atmosferze ziemskiej na dwa strumienie energii stanowiące odpowiednio 15% (żółtobrunatny)⁶ i 6% (czerwony).

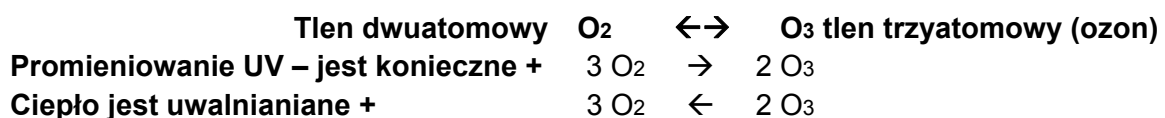
15 % strumień energii (pozycja 2) jest decydujący w kwestii odpowiedzi na pytanie: CO2 chłodzi czy podgrzewa? Ponieważ strumień energii skierowany jest od powierzchni Ziemi w kierunku wszechświata a nie odwrotnie, powierzchnia Ziemi jest chłodzona. W kierunku atmosfery przekazywany jest na drodze konwekcji strumień ciepła stanowiący 15%, a bezpośrednio do wszechświata na drodze promieniowania cieplnego 6%.

Dla strumienia energii promieniowania cieplnego z powierzchni Ziemi w kierunku atmosfery spełniona jest zasada zachowania energii. Z drugiej zasady termodynamiki wynika, że ciepło nie może zostać całkowicie zamienione w energię użyteczną. Obowiązuje również zasada, że ciepło można wytworzyć z energii promieniowania jedynie przy współudziale materii. Jeśli jedno ciało przekazuje energię do drugiego, to suma energii obu ciał pozostaje bez zmian. Jeśli jakieś ciało oddaje ciepło to się ochładza a jeśli inne przejmuje ciepło to się nagrzewa.

Podgrzanie się substancji przez promieniowanie cieplne możliwe jest tylko wtedy, gdy promieniowanie zostanie zaabsorbowane a nie przepuszczone. Główne składniki atmosfery tj. azot (N₂) i tlen (O₂) przepuszczają prawie całe promieniowanie słoneczne⁷ jak również promieniowanie cieplne od strony powierzchni Ziemi. W związku z tym nie są one ani ogrzewane poprzez zewnętrzne promieniowanie, ani też nie ochładzają się przez promieniowanie własne.

Jeżeli jednak występowałyby dwa strumienie energii promieniowania do atmosfery to oznaczałoby to, że te strumienie energii musiałyby zostać zaabsorbowane przez odpowiednie cząsteczki.

16 % promieniowania słonecznego do atmosfery stanowi promieniowanie UV. Dzięki dwóm poniższym procesom ozonowym jest ono przekształcane w ciepło.



Zarówno przed jak i po procesie ozonowym cząsteczka O₂ występuje w stanie niezmienionym, a cząsteczka O₃ przestaje istnieć. Dlatego proces ozonowy w wyższych warstwach atmosfery jest niczym innym niż konwersją energii promieniowania – UV Słońca w całości w ciepło. Proces ozonowy nie podlega prawu promieniowania Plancka.

Decydujący dla niniejszego zagadnienia przepływ promieniowania cieplnego (pozycja 2) wymaga dokładniejszego rozważenia. Najważniejszy jest jego związek z cząsteczką gazu CO₂.

Na wstępie stwierdzono, że Ziemia i wszystkie substancje chemiczne Ziemi nie są w stanie ogrzać się samoistnie. W przeciwieństwie do tego, prawie wszystkie substancje bez wyjątku, w rozumieniu prawa chłodzenia Newtona. poprzez ich nieodwracalne promieniowanie do przestrzeni kosmicznej ulegają ochłodzeniu. Nieliczne substancje chemiczne stanowiące tu wyjątek, są ważne w dyskusji o

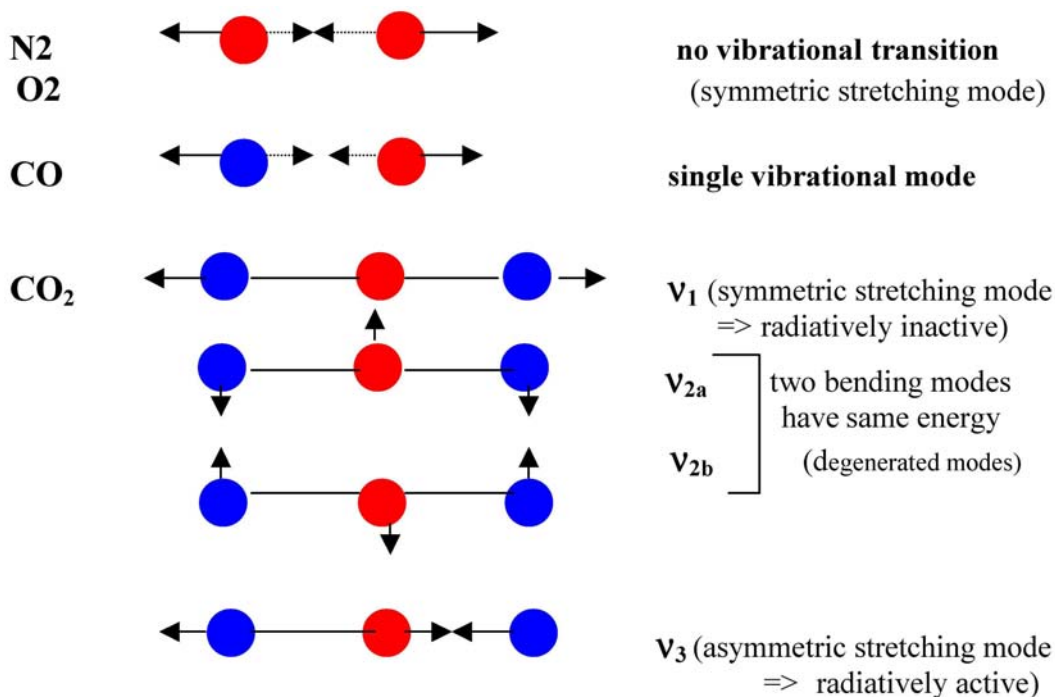
⁶ Powinien on być też czerwony (dla promieniowania cieplnego) nasycony żółtobrunatny (dla promieniowania słonecznego)!

⁷ Wyjątek stanowi proces ozonowy światła słonecznego UV (pozycja 3)

CO₂. Te nieliczne wyjątki stanowią wolne kuliste, symetryczne i całkowicie niepolarne atomy, jakie np. występują w atmosferze w postaci gazu szlachetnego argonu, czy też ekstremalnie symetrycznych cząsteczek gazowych azotu (N₂) i tlenu (O₂), a więc głównych składników atmosfery ziemskiej. Nie posiadają one również elektrycznego momentu dipolowego. Bez momentu dipolowego⁸ ruchy termiczne elementów cząsteczek nie mogą ani emitować ani absorbować elektromagnetycznego promieniowania cieplnego.

Nocne ochładzanie się atmosfery pokazuje, że właściwie nie jest ona żadnym „ciałem”, które w myśl prawa chłodzenia Newtona oddaje ciepło do wszechświata, i że nocne ochłodzenie przez przestrzeń kosmiczną odnosi się tylko do powierzchni ziemi. Ta wyjątkowa sytuacja w ziemskiej powłoce gazowej istnieje ze względu na bardzo wysoką symetrię cząsteczek N₂ i O₂, a w konsekwencji braku aktywności IR.

Rys. 3⁹



Prawo chłodzenia Newtona sprawdza się bardzo dobrze dla asymetrycznych trzatomowych cząsteczek gazu

z wody  i dwutlenku węgla $\bar{O}=\text{C}=\bar{O}$.

które posiadają elektryczny moment dipolowy w swych wiązaniach chemicznych, a zatem są aktywne IR (patrz również rys. 3). To pokazuje, że do znacznej części atmosfery jest dodane ok. 2% normalnej

⁸ Wiązanie chemiczne posiada elektryczny moment dipolowy, jeżeli różne atomy są ze sobą połączone. W takim wypadku jeden atom zawsze pozostaje w stosunku do innych elektrycznie dodatni, a drugi o tej samej masie elektrycznie ujemny i tym samym na zewnątrz zostaje zachowana elektryczna obojętność. Ruch termiczny obu chemicznie powiązanych atomów powoduje elektromagnetyczne promieniowanie cieplne.

⁹ <http://www.heliosat3.de/e-learning/remote-sensing/Lec7.pdf> (tłum.)

materii ziemskiej. Te 2% wynikają ze średniego stężenia cząsteczek H₂O (ok 0 do 4%) i cząsteczek CO₂ (0,04%, co odpowiada 400 ppm). H₂O i CO₂ zachowują się wobec wszechświata tak jak powierzchnia Ziemi. H₂O i CO₂ zachowują się w stosunku do przestrzeni kosmicznej jak powierzchnia Ziemi. Wszystkie trzy substancje oddają ciepło do wszechświata i ochładzają się. Chłodzące działanie H₂O i CO₂ jest jednak, ze względu na ich niewielki udział (tylko 2%) w całkowitej materii Ziemi, niemożliwe do zmierzenia w meteorologicznych pomiarach temperatury na wysokości 2 m powyżej powierzchni Ziemi.

Zupełnie inaczej jest w bilansie energetycznym całkowitego słupa atmosferycznej o wysokości około 75 km aż do granicy turbulencji. Oczywiście 2% zawartość H₂O i CO₂ dobrze wystarcza do ochłodzenia całego słupa atmosfery tak, że coraz wyżej jest zimniej.¹⁰ Podczas gdy atmosfera w swej całkowitej objętości do wysokości ok. 75 km oddaje ciepło do wszechświata to objętość powierzchni Ziemi, która również oddaje swoje ciepło do wszechświata ogranicza się jedynie do głębokości kilku centymetrów. To wyjaśnia dużą różnicę zdolności ochładzania się atmosfery (64%) i powierzchni Ziemi (6%).

Utrata energii do atmosfery jest ogromna i odbywa się nie tylko poprzez powierzchnię Ziemi ale także dodatkowo jeszcze poprzez bezpośrednie promieniowanie słoneczne¹¹, absorbowane w atmosferze. Atmosfera otrzymuje 70% więcej energii niż powierzchnia Ziemi (51%), i mimo to jest średnio zawsze chłodniejsza niż powierzchnia Ziemi.

Dlatego zaleca się, aby rozważyć dokładnie schemat przepływów energii NASA i zrozumieć każdy pojedynczy strumień energii.

Wartości procentowe na schemacie NASA odnoszą się do promieniowania słonecznego, które dociera do Ziemi rozumianej jako całość. Jest ono oznaczone jako 100%. Na schemacie działanie ochładzające śladowych gazów H₂O i CO₂, które odpowiada prawu chłodzenia Newtona, zostało przedstawione za pomocą czerwonej strzałki po prawej stronie na dole (pozycja 3) pokazującej promieniowania cieplne. To promieniowanie cieplne dzieli się w atmosferze na dwa strumienie. Jeden strumień (kolor czerwony) o wartości 6% skierowany jest bezpośrednio w przestrzeń kosmiczną. Drugi (kolor żółto-brunatny) o wartości 15% skręca do atmosfery.

Żółta strzałka przedstawia strumień promieniowania chłodzącego powierzchnię Ziemi przez śladowe gazy atmosfery H₂O i CO₂. Ten strumień energii promieniowania wynosi 15%. W tym strumieniu zawarte jest sedno problemu. Przedstawia on strumień ochładzający powierzchnię Ziemi.

Ten dobrze mierzalny strumień chłodzący jest dokładnym przeciwieństwem postulowanego przez badaczy klimatu efektu cieplarnianego, czyli ocieplenia o +33 °C. Droga do obliczenia tego wzrostu temperatury o +33 °C jest z punktu widzenia fizyki bezcelowa.

Najważniejsze dla całkowitego bilansu energetycznego Ziemi jest jednak promieniowanie cieplne atmosfery (pozycja 4), przedstawione za pomocą grubej czerwonej strzałki, która całą energię jaką przedostaje się do atmosfery, odprowadza bezpośrednio do wszechświata. Ten ogromny chłodzący strumień promieniowania cieplnego stanowi 64%. To, co zostało graficznie przedstawione jako nagłe powstanie strzałki gdzieś w atmosferze, w rzeczywistości nie dzieje nagle, lecz w sposób ciągły do wysokości powyżej 75 km co obserwujemy w postaci coraz niższej temperatury atmosfery.

¹⁰Z wyjątkiem anomalii ozonowych UV.

¹¹Łącznie z chmurami stanowiącymi 7%.

Temperatura atmosfery wraz z wysokością obniża się bardziej niż tylko o znane $-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ na każde 100 m wysokości, co odpowiada wpływowi grawitacji na gęstość i temperaturę.

Ten ogromny strumień promieniowania cieplnego z atmosfery do wszechświata, który mając wartość o 64% większą niż strumień energii słonecznej na powierzchnię Ziemi o wartości 51% sprawia, że CO₂ jest najważniejszym czynnikiem chłodzącym Ziemię, mimo iż jest obecny w słupie atmosfery tylko w śladowej ilości 400 ppm. Zawartość wody w postaci gazowej na wysokości ok. 12 km na górnej granicy troposfery obniża się do ok. 10 ppm, ponieważ woda w postaci gazowej zamienia się w lód. Na wysokości od 12 do 75 km strumień ochładzanie odbywa się w mniejszym lub większym stopniu jedynie przy pomocy CO₂.

CO₂ jest – jak udowodniono przepływami strumieni energii z powierzchni Ziemi – najważniejszym czynnikiem chłodzącym Ziemi z powodu wyjątkowo intensywnej aktywności IR¹² tej cząsteczki. (rys. 4). Nadanie tutaj akurat CO₂ działania ocieplającego - nazywanego efektem cieplarnianym – to jeden z największych błędów naukowców.

Rys. 4¹³

Quelle: http://irina.eas.gatech.edu/EAS8803_Fall2009/Lec6.pdf

- ✓ Atmospheric pressure strongly affects the absorption spectra of gases (through pressure broadening). This poses a major problem in computing the transfer of IR radiation through the atmosphere with varying pressure, temperature, and amount of gases.

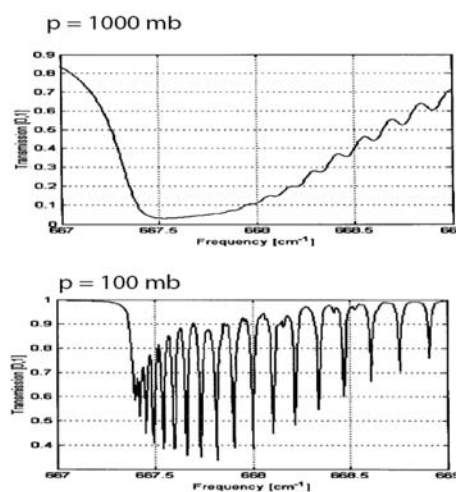


Figure 6.1 Example of *high spectral* resolution transmission spectra of a one-meter path with typical CO₂ concentration at 1000 mb and 100 mb.

Inne dokumenty¹⁴

¹² Wiązanie C=O cząsteczki CO₂ jest bardziej polarne niż wiązanie H-O cząsteczki H₂O. Dlatego pasma IR cząsteczki CO₂ są bardziej intensywne niż cząsteczki H₂O.

¹³ http://irina.eas.gatech.edu/EAS8803_Fall2009/Lec6.pdf (tłum.)

¹⁴ Fortschritts-Berichte VDI, Reihe 15, Nr. 256, Hopp, V., Stehlik, G., Thüne, W. u. Wagner, E., Atmosphäre, Wasser, Sonne, Kohlenstoffdioxid, Wetter, Klima, Leben - Einige Grundbegriffe. ISBN: 978-3-18-325615-0. (Progress raporty VDI, seria 15, Nr 256, Hopp, V. Stehlik, G., Thüne, W. i Wagner, E., atmosfera, woda, słońce, dwutlenek węgla, pogoda, klimat, życie - niektóre podstawowe pojęcia.