

O fizycznych podstawach badania zmian klimatu

Krzysztof TURZYŃSKI

Ocena tego, czy klimat na Ziemi się zmienia i jakie są kierunki tych zmian, wymaga dostępu do wiarygodnych informacji, jak ten klimat wyglądał w przeszłości.

W szczególności, prognozowanie zmian klimatu wymaga uwzględnienia wielu zjawisk, z których część charakteryzuje się długimi okresami zmienności. Tymczasem regularne pomiary temperatury powietrza za pomocą termometrów prowadzone są od zaledwie stulecia. Czy oznacza to, że jesteśmy skazani na proste ekstrapolacje i domysły?

Bynajmniej. Stosunkowo elementarne procesy fizyczne pozwalają nam zaglądać w klimatyczną przeszłość naszej planety. W tej krótkiej notatce omówimy dwa spośród wielu zjawisk pozwalających szacować temperaturę w dawno minionych wiekach.

Oprócz najbardziej rozpowszechnionych izotopów ^{16}O i ^1H „zwykła” woda we wszystkich stanach skupienia zawiera około 0,2% stabilnego izotopu ^{18}O . Dokładna wartość zależy od pochodzenia wody. Woda pochodząca z opadów musiała kiedyś wyparować z oceanów, a ciepło parowania jest nieco mniejsze dla lżejszych izotopów. Prawdopodobieństwo wyparowania opisane jest rozkładem Boltzmann,

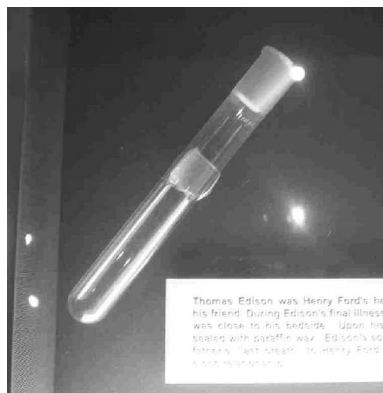
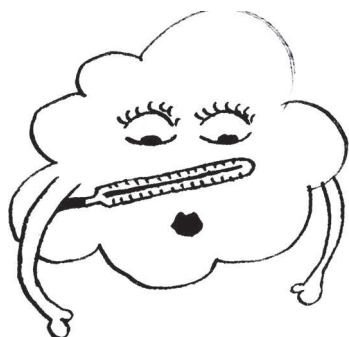
$$P \sim \exp(-E/kT),$$

i jest mniejsze dla cząsteczek wody zawierających ^{18}O . Zależy ono także od temperatury: im temperatura wyższa, tym większy względny udział izotopu ^{18}O w atmosferycznej parze wodnej. Ponieważ pokrywa lodowa w okolicach biegunów Ziemi bierze się przede wszystkim z opadów, badając próbki starego lodu pochodzącego z głębokich odwiertów, można wyznaczać średnią temperaturę na Ziemi w czasie, kiedy ten lód powstawał. Uzyskane opisaną metodą dane wskazują na w miarę stabilną temperaturę w ciągu ostatnich 10 000 lat, wcześniej miała zaś miejsce epoka lodowcowa, przerywana jednak okresami gwałtownego ocieplenia. Porównując lód arktyczny z antarktycznym, można także zaobserwować występowanie tzw. huśtawki biegunowej, czyli oscylacyjnych zaburzeń światowego przepływu ciepła, powodujących, że po niewielkiej dodatniej fluktuacji temperatury na Grenlandii pojawia się z opóźnieniem jeszcze mniejsze ochłodzenie na Antarktydzie i odwrotnie.

Ludzka zapobiegliwość oraz naturalne procesy spowodowały, że mamy obecnie dostęp do próbek powietrza z różnych chwil w przeszłości. Można dzięki temu stwierdzić, że w połowie XVIII wieku atmosfera ziemską składała się w 0,0039% z pary wodnej, w 0,00028% z ditlenku węgla (CO_2), mniej niż co milionowa jej cząsteczka była cząsteczką metanu (CH_4). Energie drgań atomów tworzących te cząsteczki odpowiadają długości fali elektromagnetycznej rzędu mikrometrów; takie fale, emitowane z powierzchni Ziemi, są silnie absorbowane przez cząsteczki H_2O , CO_2 i CH_4 , a potem w wyniku spontanicznej emisji częściowo zawracane. Powoduje to efekt cieplarniany, czyli znaczący wychwyt zwrotny ziemskiego ciepła: symulacje komputerowe pokazują, że nawet tak niewielka domieszka powyższych substancji, tzw. gazów cieplarnianych, powoduje podniesienie średniej temperatury na powierzchni Ziemi z -18°C , przy ich nieobecności, do $+15^\circ\text{C}$. W antarktycznym lodzie można znaleźć uwiecznione bąbelki powietrza sprzed nawet 800 000 lat, a wyznaczenie stężenia zawartego w nich CO_2 i CH_4 pozwala oszacować średnią temperaturę powierzchni Ziemi w tak odległej przeszłości. Dostępne obecnie wyniki pokazują gwałtowny wzrost stężenia tych gazów cieplarnianych w ciągu ostatnich 250 lat: CO_2 o 38%, a CH_4 o 160%. Wzrost ten odróżnia się wyraźnie od długookresowych, stabilnych zmian stężenia tych substancji, jakie można zaobserwować w całym badanym okresie.

Czy opisane powyżej dane pozwalają z zadowalającą dokładnością przewidzieć, co stanie się z klimatem na Ziemi w ciągu najbliższych stu lat? Zadanie to jest niezwykle trudne, trzeba bowiem oprócz średniej temperatury uwzględnić także obieg wody w atmosferze i pamiętać, że ewentualne zmiany klimatu mogą silnie zależeć od regionu (używana w tym kontekście nazwa „globalne ocieplenie” jest więc dość myląca). Porównując przewidywania różnych symulacji, badacze wolą raczej szacować prawdopodobieństwa wystąpienia różnych zjawisk. Na przykład, prawdopodobieństwo zwiększenia średniej temperatury powierzchni Ziemi o co najmniej 2°C w wyniku stałej emisji gazów cieplarnianych na poziomie sprzed kilku lat (6 mln ton CO_2 w 1990 roku i 8 mln ton CO_2 w 2007 roku) szacuje się na 40–80%. Czy to dużo? Na to pytanie muszą sobie sami odpowiedzieć i decydenci kierujący światową gospodarką, i zwykli obywatele.

[Cytowane informacje pochodzą z wykładu T. Stockera wygłoszonego w CERN-ie we wrześniu 2009 r.]



Fiolka zawierająca ostatnie tchnienie Edisona, pobrane na łóżu śmierci, eksponowana jest na poczesnym miejscu w Muzeum Forda w Detroit.

Symulacje komputerowe wskazują, że podwojenie stężenia CO_2 w atmosferze zwiększyłoby średnią temperaturę powierzchni Ziemi o 3°C .



Rozwiązanie zadania F 796.

Powierzchnia wypływającej strugi cieczy tworzy kąt α z poziomym promieniem światła. Z drugiej strony kąt ten jest wyznaczony przez stosunek składowej poziomej i pionowej cieczy:

$$\text{ctg } \alpha = \frac{v_{\text{pionowa}}}{v_{\text{pozioma}}} = \sqrt{\frac{r}{h}}.$$

Kąt α jest kątem granicznym, jeśli $\sin \alpha = 1/n$, zatem:

$$h \leq \frac{r}{n^2 - 1}.$$