

## ŚWIAT ENTROPII – OD PORZĄDKU DO CHAOSU

*I tak się właśnie kończy świat  
Nie hukiem, ale skomleniem\*.*

T.S. ELIOT

Czy zauważyliście, jak wkrótce po zakończeniu sprzątanego domu, znowu zaczyna panować w nim bałagan? Cóż, istnieje nazwa na tę tendencję na to, że porządek rozprasza się w nieporządek i jest to nazywane *entropią*. Jest to pojęcie, które ma różne definicje zależnie od kontekstu, od stanu naszej sypialni przez przedmioty, takich jak termodynamika i teoria informacji, po ostateczny los Wszechświata. W swoim najprostszym wyrazie wysoki poziom entropii jest powiązany z najwyższym stanem nieuporządkowania. Jest związane ze słynną drugą zasadą termodynamiki:

*Z upływem czasu całkowita entropia izolowanego układu nigdy nie maleje.*

Innymi słowy: *entropia może tylko rosnąć lub pozostawać bez zmian*<sup>13)</sup>.

Uważa się, że cały Wszechświat jest układem zamkniętym, gdyż nie ma niczego, co oddziałuje na niego „z zewnątrz” (cokolwiek znaczy „zewnątrz”). Prowadzi to do wniosku, że entropia Wszechświata rośnie, a wszystko ma tendencję do nieporządku i rozpadu, podobnie jak nasza sypialnia, tylko na większą skalę. Jest to konsekwencją drugiej zasady termodynamiki znanej jako „śmierć cieplna” Wszechświata, idea pochodząca od angielskiego uczonego Williama Thomsona (Lorda Kelvina).

Cytowany wyżej poeta T.S. Eliot miał rację. Przykro mi, że przynoszę złe wiadomości, ale dobre wiadomości są takie, że nie nastąpi to jeszcze przez miliardy lat, długo po tym, jak Słońce stanie się czerwonym olbrzymem i upiecze Ziemię i tak (kolejna zła wiadomość).

Pojęcie rosnącej entropii doprowadziło astrofizyka Sir Arthura Eddingtona do zaproponowania w 1920 roku pojęcia „strzałki czasu”, co prowadzi do wniosku, że rozwijające się zdarzenia nie są symetryczne w czasie, a to czas płynie w kierunku dyktowanym przez drugą zasadą termodynamiki.

<sup>13)</sup> Istnieje kilka sformułowań drugiej zasady termodynamiki a ta powyżej jest uważana za najbardziej powszechną.

\* Fragment z *Wydrążeni ludzie* w przekładzie Czesława Miłosza. Dzięki <http://jak.przetlumaczyc.blogspot.com/2011/09/tumaczenia-wierszy-hollow-men-tseliota.html>. (przyp. tłum.)

Można by zapytać, jak powstają takie obiekty, jak galaktyki, gwiazdy i układy słoneczne, jeśli tendencją Wszechświata jest rosnąca entropia. Na przykład, w przypadku gwiazd wielkie chmury molekularne zaczynają się łączyć pod wpływem grawitacji. Jeśli mamy problem z powiązaniem chmur gazowych z grawitacją, przeanalizujemy najpierw zwykłą chmurę na niebie. Jeśli wybierzemy taką, która ma długość, wysokość i głębokość po jednym kilometrze w każdym kierunku, szybkie obliczenia pokazują, że waży ona 500 tysięcy kilogramów, czyli mniej więcej tyle, co 100 słoń<sup>14)</sup>.

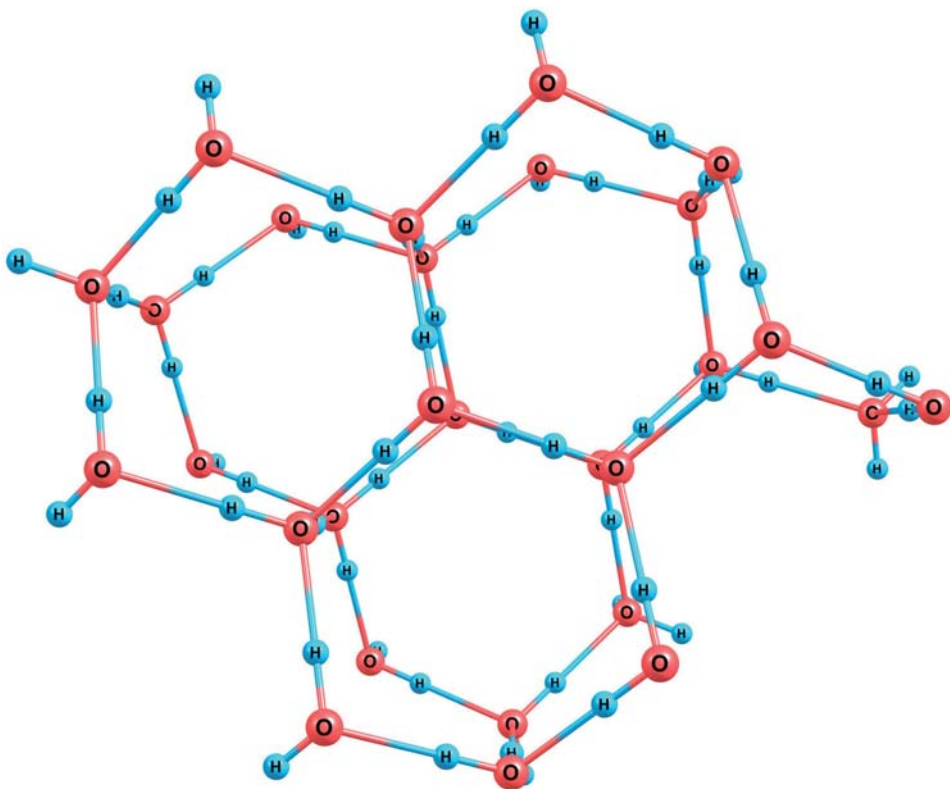
Zatem chmury gazowe mogą mieć ogromną masę, zwłaszcza, gdy rozciągają się na dużej przestrzeni. Gdy chmura zaczyna się łączyć i jest sprowadzana do coraz mniejszej objętości, jej entropia istotnie maleje. Ale ściskająca się chmura generuje też ciepło, które jest emitowane jako promieniowanie cieplne do otoczenia, które ma niższą temperaturę. To zwiększa entropię Wszechświata jako całości, gdyż kompensuje z nadmiarem lokalne zmniejszenie wynikające z tego, że chmura gazowa zajmuje mniejszą objętość.

Rozpatrzmy bardziej znajomy przykład. Jeśli wyjmemy z zamrażalnika kostkę lodu i położymy na stole w temperaturze pokojowej, możemy obserwować niską entropię uporządkowanego kryształu (rys. 4.9), która w miarę topnienia lodu zmienia się w wysoką entropię stanu nieuporządkowanego płynącej wody. Zatem entropia odizolowanego (w zasadzie) układu w pokoju + kostka lodu wzrośnie.

Tradycyjny symbol matematyczny na oznaczenie entropii to  $S$  i zarówno oznaczenie, jak i nazwę zawdzięczamy niemieckiemu matematykowi i fizykowi Rudolfowi Clausiusowi (1822–1888), który próbował sprawić, aby pojęcie entropii znalazło się w rygorach drugiej zasady termodynamiki. Clausius zdefiniował *zmianę* entropii jako  $\Delta S$ , gdy ilość ciepła  $Q$ , zostaje przeniesiona do ciała znajdującego się w temperaturze  $T$ . Ten wzrost można podać prostym wzorem

$$\Delta S = \frac{Q}{T}. \quad (15)$$

<sup>14)</sup> Kumulusy mają średnią gęstość  $0,5 \text{ g/m}^3$ . Nasza chmura wielkości  $1 \text{ km}^3$  ma wielkość  $10^9 \text{ m}^3$ , więc  $0,5 \text{ g/m}^3 \times 10^9 \text{ m}^3 = 5 \times 10^8 \text{ g} = 5 \times 10^5 \text{ kg}$ . Przyjmujemy tu, że średnia waga słońia wynosi z grubsza 5 tys. kg.



RYSUNEK 4.9.

Sześcienny kryształ o niskiej entropii, o strukturze siatki zamrożonej wody, gdzie każda molekula jest połączona z czterema innymi. W postaci ciekłej molekuly wody o wysokiej entropii molekuly są ułożone w sposób nieuporządkowany. (Zdjęcie ollaweila/iStock.)

Można by pomyśleć, że ciepło i temperatura są tym samym, ale to nieco inne pojęcia. Ciepło w sensie fizycznym jest *ilością* energii termicznej. Może zostać przeniesione z jednego układu do drugiego i jest mierzone w jednostkach zwanych dżulami<sup>15)</sup>. Natomiast temperatura jest miarą wewnętrznej energii układu wynikającą z ruchu jego cząstek składowych.

<sup>15)</sup> Jednostka ta jest powiązana z pojęciem *pracy*, a konkretnie ilością pracy, jaka jest potrzebna, aby wytworzyć jeden wat energii na jedną sekundę.