



O SŁOWACH

Najpierw sprawa terminologiczna. Słowo bałagan przyszło do języka polskiego z języka rosyjskiego. Oznaczało pierwotnie w Rosji jarmarczne, komiczne przedstawienie, później zaś przenośny kram, w którym można było kupić na miejscowym targu najróżniejsze drobiazgi. Chyba więc jacyś wędrowni kupcy przynieśli to słowo znad Donu do Polski, tu zaś zmieniło ono swoje znaczenie i stało się synonimem nieporządku.

Słowo chaos — chaosem właśnie, nie zaś bałaganem zajmują się fizycy — jest pochodzenia greckiego i, o ile wiem, do opisu przyrody zostało użyte po raz pierwszy w nieco zmienionej formie: słowo gaz (od greckiego chaos) wprowadził żyjący na przełomie XVI i XVII wieku sławny belgijski alchemik i lekarz (jatrochemik, wyznający poglądy bliskie Paracelsusowi) van Helmont dla oznaczenia ciał lotnych. Słowo gaz wyparło używane uprzednio słowo spirytus (duch), które znalazło inne zastosowania.

CHAOS

Pomysł zapożyczenia słowa chaos dla oznaczenia gazów okazał się niezwykle trafny, lecz stało się to w pełni zrozumiałe dopiero po trzystu latach, gdy Boltzmann sformułował tzw. hipotezę chaosu.

Dla wypowiedzenia tej prostej skądinąd hipotezy musimy wprowadzić przestrzeń (r, v) , którą możemy sobie wyobrazić jako sześciowymiarową przestrzeń kartezjańską, na osiach której odłożone są trzy składowe wektora położenia $r = (x, y, z)$ i trzy składowe wektora prędkości $v = (v_x, v_y, v_z)$. Każdy punkt przestrzeni (nazywamy ją przestrzenią fazową) opisuje więc zarówno położenie, jak i prędkość cząstki. Element objętości przestrzeni fazowej oznaczamy $\Delta^3 r \Delta^3 v$. Na tej przestrzeni określimy jednoczątkową funkcję rozkładu $f_1(r, v; t)$ taką, że iloczyn

$$f_1(r, v; t) \Delta^3 r \Delta^3 v$$

oznacza prawdopodobieństwo, że w chwili t cząstka będzie miała położenie i prędkość znajdującą się w objętości $\Delta^3 r \Delta^3 v$, wokół punktu (r, v) . Analogicznie możemy wprowadzić dwucząstkową funkcję rozkładu $f_2(r_1, v_1, r_2, v_2; t)$, która określa gęstość prawdopodobieństwa tego, że w chwili t jedna cząstka znajdzie się w punkcie (r_1, v_1) , druga zaś w punkcie (r_2, v_2) przestrzeni fazowej.

Hipoteza chaosu głosi, że

$$f_2(r_1, v_1, r_2, v_2; t) = f_1(r_1, v_1; t) f_1(r_2, v_2; t).$$

Wzór ten przypomina natychmiast znany fakt z teorii prawdopodobieństwa, że zdarzenia A i B są niezależne, gdy prawdopodobieństwo łącznego wystąpienia zdarzeń A i B równe jest iloczynowi prawdopodobieństwa zdarzenia A i prawdopodobieństwa zdarzenia B. Dlatego właśnie fizyczny sens hipotezy chaosu polega na tym, że położenia i prędkości dwóch dowolnych cząstek są wzajemnie niezależne.

Podane sformułowanie hipotezy chaosu należy do Ludwiga Boltzmann, znakomitego austriackiego uczonego i arcyciekawego człowieka. Sam Boltzmann nazwał przytoczony wzór Stosszahlansatz — twierdzeniem o ilości zderzeń, i pod tą nazwą można znaleźć je do dziś w wielu monografiach.

Hipoteza chaosu jest jednym z głównych założeń, jakimi posługujemy się przy wyprowadzeniu równania określającego funkcję rozkładu. Równanie to sprawiedliwie nosi nazwę równania Boltzmann.

RÓWNOWAGA TERMODYNAMICZNA

Znany tylko jedno ściśle, fizycznie interesujące rozwiązanie równania Boltzmann odpowiadać stanowi równowagi termodynamicznej. Dla tego rozwiązania funkcja rozkładu zależy tylko od prędkości i nie zależy od położenia. Równowagowa funkcja rozkładu znana była już Maxwellowi i on właśnie dał jej fizyczną interpretację.

Stan równowagi, będący w terminologii Płochockiego maksymalnym bałaganem, jest ściśle określony bardzo przywoitą funkcją rozkładu. Jest to funkcja rozkładu normalnego (funkcja Gaussa) dobrze znana w teorii prawdopodobieństwa, nieraz omawiana w *Delcie*. Ma ona, jak wiadomo, typowy kształt dzwonu lub, jeśli kto woli, napoleońskiego kapelusza.

Ściśle rzecz biorąc tylko w stanie równowagi termodynamicznej określone są makroskopowe parametry opisujące układy fizyczne, takie jak temperatura, gęstość, ciśnienie, prędkość gazu czy cieczy itd. Dowodzi się wszakże, że można bezpiecznie (tj. bez popadania w sprzeczność) posługiwać się tymi parametrami w stanach bliższych stanowi równowagi, w szczególności wtedy, gdy ma miejsce lokalna (w przestrzeni) równowaga termodynamiczna.

Ponieważ zmiany wymienionych parametrów są przedmiotem fizyki makroskopowej, można powiedzieć, że zajmuje się ona stanami nieznacznie odbiegającymi od stanu równowagi termodynamicznej.

Tylko w niewielu przypadkach badane zjawiska są na tyle odległe od stanu równowagi, że musimy zrezygnować z ich opisu za pomocą „zwyčajnych”, uprzednio wymienionych parametrów fizycznych i odwołać się do równania Boltzmann. Do takich szczególnych zjawisk, w których występują istotne odchylenia od stanu równowagi termodynamicznej, należą między innymi fale uderzeniowe.

NIESPODZIEWANE KONSEKWENCJE

Trudność, jaką napotykamy przy rozważaniu stanów dalekich od równowagi termodynamicznej, polega na tym, że nie umiemy rozwiązać równania Boltzmann, nie znamy (poza równowagowym) jego ścisłych rozwiązań. Matematyczna analiza tego równania pozwala jednak na wyciągnięcie szeregu wniosków. Najważniejszym z nich jest ten, że entropia układu izolowanego rośnie. Fakt ten był uprzednio postulowany w termodynamice; równanie Boltzmann dało jego podstawę statystyczną, pozwoliło na zbudowanie mostu między fizyką statystyczną i termodynamiką.

Wniosek o wzroście entropii układu izolowanego (jeśli nie znajduje się on w stanie równowagi) był zaskakujący. Bo jakże to: przy wyprowadzeniu równania Boltzmann rozważa się elastyczne zderzenia (sferycznych) cząstek i każde takie zderzenie jest odwracalne. Gdybyśmy je sfilmowali, to film oglądany w obu kierunkach daje prawdziwy (z fizycznego punktu widzenia) przebieg zdarzenia.

Z równania Boltzmana wynika natomiast nieodwracalność: entropia w układzie zamkniętym może tylko rosnąć. Ta nieodwracalność musi być ukryta w jakimś założeniu, z którego skorzystał przy wyprowadzaniu równania Boltzmana. Jedynym takim założeniem jest hipoteza chaosu. W niej schowana jest nieodwracalność. A więc także i „strzałka czasu”, bowiem tylko przyrost entropii jest zegarem wskazującym, w którym kierunku „plynie” czas. Z tego punktu widzenia atomy są tymi szczęśliwcami, którzy czasu nie znają, a czas okazuje się być związany z wielkimi zbiorami cząstek. Nie jest to myśl łatwa do przyjęcia, stoi bowiem w konflikcie z pojęciem czasu znanym z mechaniki newtonowskiej.

OGRANICZENIA

Zakres stosowalności hipotezy chaosu, a zatem także równania Boltzmana, był i jest przedmiotem wielu dyskusji. Nie ma wątpliwości, że równanie to dobrze opisuje sytuację, jeśli się je stosuje do „rzadkich”, jednoatomowych gazów. Jednym z głównych sukcesów równania Boltzmana było przecież to, że udało się z niego wyprowadzić równania ruchu gazów idealnych (równania Eulera) i także, w wyższym przybliżeniu, równania gazów lepkich i przewodzących ciepło (równania Naviera-Stokesa). Czy można jednak je stosować do gazów gęstych lub też gazów składających się z wieloatomowych molekuł? A do plazmy, do cieczy?

Wiele zrobiono w tych kierunkach. Wszakże rezygnacja z hipotezy chaosu, próby zastąpienia jej innymi, mniej ograniczającymi sformułowaniami, okazały się nie w pełni zadowalające. Lokalne uporządkowanie (jak w gazach gęstych i cieczach) trudniej poddaje się analizie niż „chaos”. Łatwiej modelować matematycznie punktowe zderzenia niż oddziaływania dalekie (występujące w plazmie). Na drogach do lepszego zrozumienia obiektów bardziej skomplikowanych niż rzadki gaz jednoatomowy piętrzą się liczne trudności, nad ich przewyższeniem będą się fizycy we wszystkich zakątkach świata.

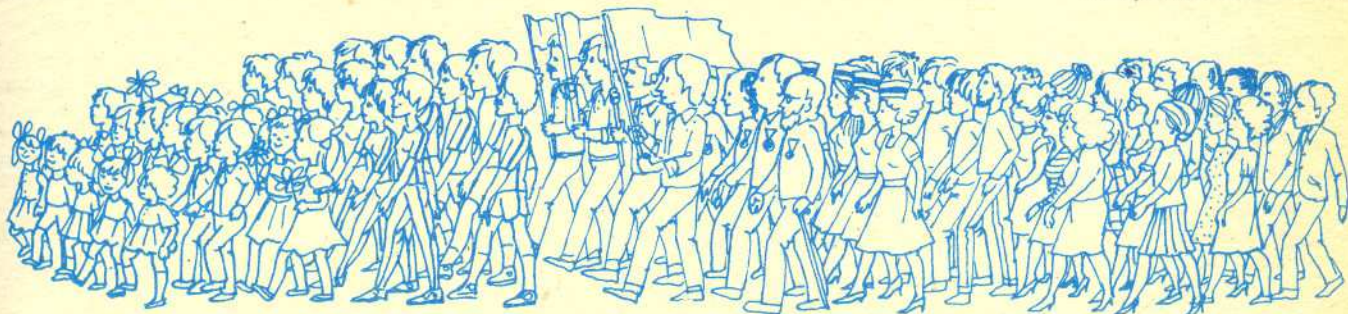
Na zakończenie uwaga dotycząca przenoszenia praw „społeczności molekuł” na społeczności biologiczne, roślinne, zwierzęce, wreszcie ludzkie. Takie przenoszenie, choć nieraz urzekające, jest zabiegiem niepewnym i podejrzanym.

Dwojakie są tego powody. Rozważane w fizyce zbiory różnią się liczebnością o wiele rzędów od wszelkich społeczności biologicznych. Żadna z nich nie zawiera tylu elementów, ile jest cząstek w centymetrze sześciennym najdoskonalszej próżni, jaką udało się dotąd uzyskać w warunkach laboratoryjnych (około 10^{12}). Konsekwencją różnicy liczebności jest różnica wielkości występujących fluktuacji (których zresztą równanie Boltzmana nie opisuje). Wielkość fluktuacji jest odwrotnie proporcjonalna do pierwiastka liczebności elementów w rozpatrywanym układzie i dlatego fluktuacje odgrywają znacznie większą rolę (czasem wręcz decydującą) w układach biologicznych niż w układach fizycznych.

Ważniejsze wszakże jest to, że w społecznościach biologicznych „cząstki” nie są identyczne i że występują owe lokalne uporządkowania i dalekie oddziaływania, które tak opornie poddają się analizie, że te więzy są głównym czynnikiem konstytuującym społeczności biologiczne.

Dlatego myślę, że „teoria bałaganu” społeczności biologicznych i ludzkich w szczególności musi wyrosnąć na innych podstawach, bezpośrednio zaś stosowanie analogii termodynamicznych nie na wiele może się przydać. Siła każdej teorii polega na umiejętności wyróżnienia najbardziej istotnych cech badanego obiektu. Sądzę, że traktowanie ludzkich zachowań jako chaotycznego ruchu pomija to, co w tych zachowaniach najważniejsze, ową specyficzną cechę gatunku, jaką jest świadomość celów.

dr Ryszard HERCZYŃSKI



Pomysł przeniesienia termodynamiki do nauk społecznych, zaprezentowany w artykule Z. Płochockiego, uważam za znakomity. I to z dwóch powodów. Wszelkie próby antropomorfizacji fizyki, a więc i termodynamiki, ułatwiają zwykłym zjadaczom chleba zrozumienie istoty różnych modeli fizycznych. Z drugiej strony, uzyskane w termodynamice wyniki stwarzają szansę na formalizację nauk społecznych — a więc, mimo żartobliwego tonu artykułu, na zwiększenie roli rzeczywistych modeli w tych naukach. Na marginesie — wynik takiego przeniesienia nie zawsze jest zgodny z oczekiwaniami i intencjami — vide doświadczenia ostatnich lat w tzw. cybernetyce społecznej, która stała się wspaniałą pożywką dla hochsztaplerów.

Kilka stwierdzeń artykułu budzi jednak moje wątpliwości. Po pierwsze — wydaje się, że Autor jest zwolennikiem poglądu, iż bałagan jest stanem niepożądanym lub przynajmniej nieprzyjemnym. W naukach społecznych nie da się chyba takiego stanowiska obronić. Przykład trywialny — kompania honorowa. Dla postronnego obserwatora jest to niewątpliwie struktura wysoce uporządkowana i na ogół budząca pozytywne odczucia. Mam wątpliwości, czy te uczucia podzielają członkowie kompanii. Gdyby chcieć uogólnić ten przykład, to można by powiedzieć, że porządek jest odbierany pozytywnie z zewnątrz układu. Dla aktywnych uczestników uporządkowanej struktury uczucia mogą być już jednak co najmniej mieszane. Przykładem na większą skalę społeczną są państwa totalitarne i demokratyczne. System totalitarny wydaje się wyżej uporządkowanym, o niższej entropii (można ją zresztą obliczyć!), od demokratycznego bałaganu, co nie oznacza jego wyższości w hierarchii ludzkich wartości.

Po drugie — nie wydaje się, by termodynamika przepowiadała — pesymistycznie, według Autora — nieuchronny końcowy stan totalnego bałaganu. Takie stwierdzenie wymaga w ramach termodynamiki założenia, że Wszechświat jest izolowany. Tego nie udało się dotąd pokazać i, co więcej, wydaje się, że jest to niemożliwe do pokazania (ani obalenia!). W ludzkiej skali czasu i odległości jest to zresztą problem nieistotny — „zawsze” będziemy mieli dostatecznie wielu kosmicznych sąsiadów, by zmniejszać nasz bałagan ich kosztem, podrzucając im trochę wyprodukowanej entropii.

Po trzecie wreszcie — wielu fizyków-kosmologów przychylił się do opinii, że Wszechświat jest raczej nietypowym wybrykiem, niż stanem naturalnym. Od kilku lat zdobywa coraz więcej zwolenników hipoteza, że zwykłym stanem wszechrzeczy jest nicność, a Wszechświat jest jedynie gigantyczną fluktuacją tej nicności. Jeśli hipoteza ta jest prawdziwa — a można to założyć, bo prawie na pewno jest niesprawdzalna — to po upływie skończonego czasu powrócimy wraz z całym Wszechświatem do stanu nicności, a więc najwyższego możliwego porządku! Z taką perspektywą na przyszłość może nie warto się przejmować drobnym powiększaniem bałaganu, który wynika z działalności rodzaju ludzkiego. Poza tym doświadczenia ostatnich kilku lat w Polsce wywołują nieodpartą chęć przejścia do stanu o choć odrobinę wyższej entropii.

prof. dr Krzysztof WILMAŃSKI