

Mgr Maciej JĘDRZEJCZAK

Łatwo jest odróżnić przeszłość od przyszłości — przeszłość zapisana jest w pamięci, a przyszłość można jedynie przewidywać. Właśnie ta różnica daje wrażenie upływu czasu. Czas fizyczny jednak ani nie płynie, ani też nie ma wewnętrznej orientacji, czyli strzałki. W pustej przestrzeni nie ma nawet sensu mówić o czasie. Czas jest parametrem porządkującym zdarzenia zachodzące w Przyrodzie i tylko asymetria zjawisk względem tego parametru pozwala czas zorientować — nadać mu pewien kierunek.

Czasowa symetria fundamentalnych praw fizyki

W mikroświecie zaciera się niemal całkowicie (patrz artykuł „Ekstremalne czasy”) różnica między kierunkami czasu „w przeszłość” i „w przyszłość”. Powodem jest odwracalność w czasie podstawowych praw fizyki.

Rozważmy ruch cząstki naładowanej w jednorodnym polu magnetycznym. Tor cząstki ma np. kształt śruby prawoskrętnej względem kierunku pola. Jeżeli zmienimy kierunek czasu (puścimy film od końca) tor będzie miał skrętność przeciwną względem niezmiennego kierunku pola, co jest niezgodne z prawami fizyki. Pole magnetyczne jest jednak zawsze wywołane ruchem ładunków i przy zmianie zwrotu czasu zmienia się także kierunek tego pola, a więc tor ma właściwą skrętność. I tak jest zawsze — zjawiska z pozoru nieodwracalne po uwzględnieniu całego układu i opisanu w języku fundamentalnych praw okazują się być odwracalne. Odwracalność ta jest wynikiem niezmienności zjawisk mechanicznych i elektrodynamicznych przy zmianie kierunku czasu (co odpowiada zmianie t na $-t$ w równaniach). Okazuje się, że niezmiennicze są także oddziaływania silne oraz słabe, a i przejście do opisu w języku mechaniki kwantowej czy teorii względności niczego nie zmienia.

Nieodwracalność

W makroświecie wiele jest zjawisk, które z dobrym przybliżeniem są odwracalne. Gdyby Ziemia krążyła wokół Słońca w przeciwnym kierunku, uznalibyśmy to za całkowicie dopuszczalne z punktu widzenia praw fizyki, choć trzeba byłoby się przyzwyczaić, że Zachód oznacza zupełnie co innego niż w obecnej sytuacji. Na ogół jednak zjawiska makroskopowe nie są odwracalne. Każde wahadło na skutek procesów dyssypacyjnych przechodzi po pewnym czasie w stan spoczynku, nigdy nie obserwujemy jednak procesu odwrotnego. Nieodwracalne są również wszystkie przejawy życia, na przykład ewolucja.

Każdy z procesów nieodwracalnych może posłużyć do zorientowania czasu; stąd tak wiele różnych strzałek czasu: „biologiczna”, „historyczna”, „elektromagnetyczna” czy „termodynamiczna”.

Dlaczego jednak świat nie jest czasowo symetryczny? Co jest przyczyną nieodwracalności? Mogłaby nią być na przykład niewielka asymetria procesów mikroskopowych. Jeden z kilku dopuszczalnych rozpadów neutralnego mezonu K , zgodnie z ogólnie przyjętą interpretacją, nie jest dokładnie symetryczny w czasie. To naruszenie symetrii jest jednak bardzo słabe, a poza tym mezony K nie są składnikami zwykłej materii i nie odgrywają żadnej roli w procesach makroskopowych, w których pojawiają się wyżej wymienione strzałki czasu. Przyczyn nieodwracalności musimy więc szukać gdzie indziej.

Jednym z praw, które mogą posłużyć do zorientowania czasu jest druga zasada termodynamiki, czyli prawo wzrostu entropii. Wyprowadzenie tego makroskopowego prawa z praw mikroskopowych pozwala zrozumieć przyczynę powszechnej nieodwracalności zjawisk w makroświecie. Dla przykładu rozważmy naczynie z przegrodą o ściankach utrzymywanych w stałej temperaturze T . Lewą połowę naczynia wypełnia N cząsteczek gazu, prawa jest pusta. Procesowi rozprężania gazu towarzyszy wzrost entropii termodynamicznej o $N \cdot k \cdot \ln 2$, gdzie k jest stałą Boltzmana. Jest to oczywiście zjawisko nieodwracalne i nawet gdybyśmy zarejestrowali proces odwrotny, uznalibyśmy to najprawdopodobniej za błąd w pomiarach.

Przejdźmy teraz do statystycznego modelu tego zjawiska. Wystarczy opis bardzo „gruboziarnisty” (patrz artykuł „Prosty model...”), interesuje nas bowiem tylko liczba cząsteczek (m), na przykład w prawej połowie naczynia. Liczba ta jednoznacznie określa makrostan. Waga statystyczna makrostanu $W(m)$ jest równa liczbie możliwych rozkładów cząsteczek między prawą i lewą połowę naczynia (mikrostanów) realizujących ten makrostan (patrz artykuł B. Cichockiego, *Delta* 8/1982). W rozważanym przez nas procesie dla stanu początkowego $W(0) = 1$, a dla końcowego $W\left(\frac{N}{2}\right) = \binom{N}{N/2} \approx 2^N$.

Nieodwracalność jest więc wywołana dążeniem układu do makrostanów o największej wadze, czyli przechodzeniem, z dużym prawdopodobieństwem, od stanu uporządkowanego do bezładnego. Zasadę tę można też sformułować bez użycia czasu:

Jeśli makrostan odpowiadający równowadze ma wagę znacznie większą niż inne makrostany, to układ z odpowiednio dużym prawdopodobieństwem znajduje się w stanie równowagi. Entropia jest proporcjonalna (współczynnik k) do logarytmu wagi, jest więc podobnie jak waga miarą „nieporządku”. Łatwo sprawdzić, że przyrost entropii statystycznej jest identyczny jak, obliczony poprzednio, przyrost entropii termodynamicznej. Jeśli teraz stanom o większym prawdopodobieństwie (wadze) przypiszemy większe wartości czasu, to z powyższej zasady wyniknie zasada wzrostu entropii.

Kosmologiczna strzałka czasu

Tak więc termodynamika jest nieodwracalna, bo z prawdopodobieństwem bliskim jedności „porządek” przechodzi w „chaos”. Stwierdzenie to jednak niczego nie wyjaśnia, dopóki nie wskażemy źródła „porządku” we Wszechświecie. Problem strzałki czasu sprowadza się w ten sposób do problemu warunków początkowych. Prawa fizyki i warunki początkowe (brzegowe) to dwa uzupełniające się aspekty opisu zjawisk. Rozważmy dla przykładu ruch planet w Układzie Słonecznym. Prawo grawitacji wyjaśnia, dlaczego Ziemia krąży po orbicie eliptycznej, w której ognisku jest Słońce, i dlaczego wektor wodzący planety w równych czasach zakreśla równe pola. Żadne prawo nie tłumaczy jednak, dlaczego orbity planet są prawie kołowe i wszystkie one krążą w jednym kierunku. Do wyjaśnienia tych regularności konieczna jest znajomość warunków początkowych. Teoria powstawania układów planetarnych wyjaśni te regularności, ale będzie również wymagała zadania warunków początkowych. Taki ciąg teorii, z których każda musi mieć coraz ogólniejsze warunki początkowe, wymaga w końcu zadania warunków początkowych dla całego Wszechświata. Warunki te są właśnie źródłem „porządku” prowadzącego do przewagi w Przyrodzie procesów nieodwracalnych (patrz artykuł „Kosmologiczna strzałka czasu”).