

## Oddziaływania fundamentalne

Powszechnie znana podręcznikowa odpowiedź na pytanie, ile jest oddziaływań fundamentalnych, brzmi: cztery. Przypomnijmy jakie:

**Elektromagnetyczne** są odpowiedzialne za wiele zjawisk, które możemy obserwować na co dzień: przyciągające się magnesy, iskry czy wyładowania atmosferyczne. Pole elektryczne odpowiada również za wiązanie elektronów w atomach i wiązania chemiczne pomiędzy atomami, czyli trzyma w kupie cząsteczki chemiczne, z których jesteśmy zbudowani. Oscylacje pola elektromagnetycznego rozchodzą się jako fale, które w zależności od długości mają zwyczajowo różne nazwy, od fal najdłuższych, czyli radiowych, poprzez mikrofały, promieniowanie podczerwone, widzialne, nadfiolet, promieniowanie Röntgena aż po promieniowanie gamma.

**Grawitacyjne** również znamy z życia codziennego – każdy odczuwa przyciąganie Ziemi. Grawitacja rządzi ruchem planet wokół gwiazd, ruchem gwiazd powiązanych w galaktyki, gromadami galaktyk itp. W 2015 roku po raz pierwszy bezpośrednio zaobserwowano fale będące zaburzeniem pola grawitacyjnego, których istnienie przewidywała ogólna teoria względności Einsteina. Warto podkreślić, że to promieniowanie ma zupełnie inną naturę niż wszystkie wyżej wymienione zakresy promieniowania elektromagnetycznego, dlatego jego detekcja otwiera nowy rozdział w obserwacjach astronomicznych (patrz teksty Michała Bejgera  $\Delta_{16}^4$ ,  $\Delta_{17}^{12}$ ,  $\Delta_{18}^{11}$ ).

**Silne** odpowiadają za wiązanie kwarków w bariony i mezony. Dwa najłżejsze bariony to proton i neutron, czyli składniki jąder atomowych. W uproszczeniu można sobie wyobrazić, że każdy z nich składa się z trzech kwarków. Za wiązanie protonów i neutronów w jądrach również odpowiadają oddziaływania silne, które nazwę

swą zawdzięczają temu, że muszą przewyżczać elektrostatyczne odpychanie dodatnio naładowanych protonów, czyli muszą być od nich silniejsze. Mają za to niewielki zasięg, i dlatego układ okresowy ma tylko kilka wierszy – jąder powyżej pewnego rozmiaru nie obserwuje się.

**Słabe** są najbardziej zagadkowe. Opisane wcześniej oddziaływania odpowiadają za wiązania w jakiejś konkretnej skali (silne – jądrowej, elektromagnetyczne – atomowej, grawitacyjne – astronomicznej). Słabe takie funkcji nie spełniają, a procesy z ich udziałem mają zawsze charakter chwilowy, gdyż, w odróżnieniu od pozostałych oddziaływań, są przenoszone przez bardzo ciężkie i nietrwałe cząstki masywne. Pełnią jednak kluczową rolę, ponieważ odpowiadają za przemiany cząstek elementarnych w inne cząstki, które nie mogą zachodzić inaczej niż za pośrednictwem oddziaływań słabych, czego efektem są między innymi przemiany promieniotwórcze pierwiastków.

Fizycy od lat dążą do zredukowania tej listy i szukają teorii unifikującej wszystkie oddziaływania. Jak na razie udało się opisać w naprawdę jednolity sposób oddziaływania elektromagnetyczne i słabe jako przejaw jednego – elektroslabego (teoria Weinberga–Salama). Więcej na ten temat oraz o zmaganiach z dołączeniem do unifikacji oddziaływań silnych można przeczytać w cyklu Piotra Chankowskiego ( $\Delta_{16}^{1, \dots, 6}$ ,  $\Delta_{17}^2$ ). Grawitacja ciągle wydaje się najbardziej odróżnić od pozostałych sił, ale to już temat na inną opowieść.

*Szymon CHARZYŃSKI*

## Entropia

Drugą zasadę termodynamiki kojarzymy z nieodwracalnością procesów fizycznych, „strzałką czasu”, entropią i jej nieuchronnym wzrostem.

Intrygującym zagadnieniem jest powiązanie nieodwracalnych procesów, którym podlegają makroskopowe układy (i o których mówi druga zasada), z równaniami ewolucji czasowej (na przykład równaniami Newtona), które nie wyróżniają kierunku czasu. W badaniu tego problemu i zrozumieniu związanych z nim „paradoksów” kluczową rolę odgrywa statystyczny charakter drugiej zasady. Czy można więc „na palcach” pokazać nieuchronny wzrost entropii i nieodwracalność?

Rozpatrzmy izolowany układ wielu ( $N_1$ ) cząstek o ustalonej całkowitej energii  $E_1$  (oraz innych parametrach, takich jak objętość). Na poziomie mikroskopowym taki stan realizowany może być na wiele ( $X_1$ ) sposobów (na przykład poszczególnym cząstkom mogą być przypisane różne wartości energii, z jedynym warunkiem, aby ich suma wynosiła  $E_1$ ). Zakładamy tu, że  $X_1$  jest jednoznaczna funkcją  $E_1$ . Przyjmijmy za „daną” definicję entropii  $S_1(E_1) = \log(X_1)$ . Taka definicja gwarantuje, że całkowita entropia niezależnych układów jest równa sumie tychże entropii. To dlatego, że  $\log(X_1 X_2) = \log(X_1) + \log(X_2)$ . Oczywiście, logarytm jest funkcją rosnącą, zatem duża ilość dostępnych stanów mikroskopowych oznacza dużą entropię. Rozpatrzmy teraz dwa takie układy, scharakteryzowane odpowiednio przez  $(E_1, X_1)$  oraz  $(E_2, X_2)$ . Doprowadzając je do kontaktu, pozwalamy na wymianę energii przy warunku zachowania jej całkowitej wartości:  $E = E_1 + E_2$ . Całkowita liczba dostępnych stanów mikroskopowych wyniesie teraz

$$(1) \quad X(E) = \sum_{E'_1} X_1(E'_1) X_2(E - E'_1) = \sum_{E'_1} e^{S_1(E'_1) + S_2(E - E'_1)}.$$

O strzałce czasu pisał Piotr Szymczak w  $\Delta_{19}^1$ .

