

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 Δ_{16}^4 , Δ_{17}^{12} , Δ_{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 pozostałe 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 ($\Delta_{16}^{1, \dots, 6}$, Δ_{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 Δ_{19}^1 .





Rozwiązanie zadania F 973.

Ilość gazu wypływającego w jednostce czasu (szybkość utraty gazu) przez niedomknięty zawór wynosi $I = \rho v S$, gdzie ρ jest gęstością gazu, v jest średnią prędkością wypływających cząstek, a S powierzchnią otworu. Na podstawie równania stanu gazu stwierdzamy, że gęstość gazu w pojemniku pod ciśnieniem p , w temperaturze T jest proporcjonalna do p/T . Średnia energia kinetyczna cząsteczek gazu jest proporcjonalna do temperatury T , a więc średnia wartość prędkości jest proporcjonalna do \sqrt{T} . Na tej podstawie stwierdzamy, że:

$$I = \rho v S \propto \frac{p}{\sqrt{T}}$$

(znak \propto oznacza proporcjonalność).

W warunkach określonych w zadaniu z pierwszego z pojemników tlen ulatnia się więc $\sqrt{2} \approx 1,414$ raza szybciej niż z drugiego, mimo że, jak łatwo sprawdzić, początkowo w obu pojemnikach znajdowały się takie same ilości gazu.

Wynika stąd, że $X(E) > X_1(E_1)X_2(E_2)$ (ponieważ $X_1(E_1)X_2(E_2)$ jest jednym ze składników sumy), a więc entropia wzrosła. W sytuacji, gdy liczba cząstek w układzie jest odpowiednio duża, wyrażenie po prawej stronie jest zdominowane przez największy z wyrazów go tworzących (odpowiadający maksimum wyrażenia w wykładniku). Dostajemy wówczas

$$(2) \quad S(E) \approx S_1(E_1^*) + S_2(E - E_1^*),$$

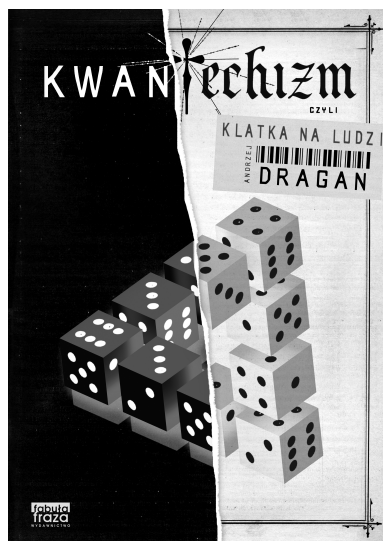
gdzie E_1^* odpowiada maksimum wyrażenia po prawej stronie powyższego równania. Ukazuje to drugą zasadę jako zasadę ekstremum: gdy dwa układy doprowadzimy do kontaktu, pozwalając na ich oddziaływanie, nowy stan równowagi będzie taki, by entropia osiągała maksymalną możliwą wartość. Wybierając (losowo) jeden spośród $X(E)$ stanów, mamy oczywiście pewną szansę, że trafimy na przypadek, gdzie E_1 istotnie różni się od E_1^* , ale dla dużej liczby cząstek ($N = N_1 + N_2$) prawdopodobieństwo takiego trafu jest znikomo małe. Dzieje się tak dlatego, że przybliżenie, którego użyliśmy, pisząc wzór (2) i wybierając tylko wiodący wyraz w równaniu (1), jest tym lepsze, im większa wartość wykładnika, który z kolei jest rzędu N . Dla typowo spotykanych wartości N ($N \approx 20^{23}$) przybliżenie zastosowane w wyrażeniu (2) jest z praktycznego punktu widzenia niezwykle dokładne. Zauważyć można, że powyższe spojrzenie w ogóle nie rozpatruje ewolucji układu. Przyjmuje jedynie, że przy pomiarze stanu układu dostajemy z równymi (albo zbliżonymi) prawdopodobieństwami różne wyniki. W ujęciu, w którym śledzimy ewolucję układu, stwierdzilibyśmy, że układ niezależnie od stanu początkowego spędza przytłaczającą większość czasu w stanach odpowiadających maksimum entropii (czyli takich, że $E_1 = E_1^*$).

Paweł JAKUBCZYK

O kwantach, względności, hipnozie, przemianach i tym podobnych

Recenzja

Dwie fundamentalne teorie fizyczne: teoria względności i mechanika kwantowa są zaskakujące dla kogoś, kto spotyka się z nimi po raz pierwszy, i pełne są pozornych paradoksów. Są więc wdzięcznym tematem artykułów i książek popularnonaukowych, których powstało już wiele. Książka Andrzeja Dragana pt. „Kwantechizm, czyli klatka na ludzi”, mimo że poświęcona jest głównie teorii względności i mechanice kwantowej, nie jest kolejnym wcieleniem standardowych opowieści o paradoksie bliźniąt i dualizmie korpuskularno-falowym. To, co wyróżnia tę pozycję spośród innych, to wysuwająca się miejscami na pierwszy plan subiektywna, niestandardowa interpretacja wiedzy zgromadzonej w podręcznikach. Autor stara się przekazać Czytelnikowi nie tylko fakty, które same w sobie są zaskakujące, ale dzieli się swoimi intuicjami, własnym sposobem myślenia i wizualizowania sobie tych faktów. Książka zawiera również omówienie pewnych bardzo świeżych odkryć z pogranicza teorii względności i mechaniki kwantowej, obszaru ciągle jeszcze słabo rozpoznanego, w którym wciąż prowadzone są pionierskie badania. Czytelnik otrzymuje więc relację z pierwszej linii frontu od jednego z pionierów tych badań.



Kolejnym wielkim walorem książki są liczne dygresje pokrywające szerokie spektrum tematów wykraczających nie tylko poza fizykę, ale całkiem poza nauki ścisłe. Autor szczerze przyznaje, że nie w każdej z dziedzin, o których pisze, jest ekspertem („Nie znam się, to się wypowiem” – to tytuł jednego z rozdziałów), co może złagodzić ewentualny sprzeciw ekspertów w tych dziedzinach (np. teorii ewolucji, biologii molekularnej, uczeniu maszynowym) wobec pewnej nonszalancji i powierzchowności w formułowaniu tez. Swoją opowieść o nauce autor przeplata anegdotami, żartami i elementami autobiograficznymi. Nie unika również manifestowania swojego emocjonalnego stosunku do tematów, o których pisze, i swoich osobistych przekonań. Nieuchronną konsekwencją tego faktu jest to, że znajdują się zapewne Czytelnicy uważający niektóre zawarte w książce tezy za prowokacyjne. Sądzę, że jeżeli autor chce do czegoś prowokować, to przede wszystkim do myślenia. Wezwanie do zdrowego krytycyzmu i sceptycznego podejścia do autorytetów jest jednym z głównych przesłań tej książki.

Szymon CHARZYŃSKI