

Czy zastanawiali się Państwo kiedyś, jak zachowują się bozony, gdy muszą się poruszać w zupełnym chaosie i nieporządku? My od pewnego czasu tak.

Bozony są, obok fermionów, jednym z dwóch typów cząstek występujących we wszechświecie. Przykładami bozonów są fotony, jądra niektórych pierwiastków czy pary Coopera, czyli pary elektronów odpowiedzialne za nadprzewodnictwo (technicznie nie jest to cząstka, ale *kwazicząstka*, czyli układ zachowujący się jak cząstka). Dwa fermiony nie mogą przybywać w tym samym stanie kwantowym (tzn. w tym samym miejscu, z takimi samymi pędami, energiami itd.), jednak bozonów to nie dotyczy, dzięki czemu możliwe jest uzyskanie układu, w którym wszystkie są w tym samym stanie. Potrzeba do tego bardzo niskiej temperatury i silnego oddziaływania między cząstkami. Skutkiem może być np. nadprzewodnictwo, gdy cząstkami są wspomniane pary Coopera, lub nadpłynności, gdy są nimi jądra izotopu helu ^4He . Stany takie mają zdumiewające właściwości: w nadprzewodnictwie brak oporu, zaś brak lepkości w przypadku nadpłynności. W obu przypadkach zatem, po wprowadzeniu cząstek w ruch nie ma strat i nie potrzeba żadnej pracy, aby ten ruch podtrzymać.

Nawet niewielki brak porządku, czyli losowość występująca w układzie może zaskakująco wiele zmienić. Echo w lesie jest skutkiem właśnie nierównomiernego rozmieszczenia drzew. W układach kwantowych nieporządek prowadzi do lokalizacji cząstek (np. Elektronów). W układzie uporządkowanym elektrony są „rozlane” po całym układzie, natomiast wprowadzenie nieporządku sprawia, że pozostają tam, gdzie się je umieści, mimo że nie działa żadna siła, która by je tam utrzymywała.

Ciekawym przykładem układów nieuporządkowanych są szkła spinowe. Są to układy, w których dodatkowe cząstki magnetyczne są rozłożone losowo i w przybliżeniu można uznać, że oddziaływanie między nimi jest losowe. Nazwa pochodzi właśnie od losowego rozłożenia – szkło jest materiałem amorficznym, w którym atomy są ułożone losowo, natomiast spin jest źródłem magnetyzmu. Choć szkła spinowe same w sobie nie znalazły zastosowań, to teoria, którą rozwinięto dla ich opisu, okazuje się przydatna w innych dziedzinach, także tak odległych jak sieci neuronowe czy biologia.

W ramach tego projektu planujemy połączyć te dwa tematy i opisać teoretycznie silnie oddziałujące bozony z nieporządkiem takim jak w szklach spinowych. W tym celu zapiszemy tak zwaną energię swobodną układu, a następnie wykonamy serię obliczeń, aby sprawdzić, kiedy jej wartość jest najmniejsza. To dlatego, że układy fizyczne „wybierają” właśnie takie stany, w których energia jest najmniejsza – cała natura jest w pewnym sensie leniwa. Tego problemu najprawdopodobniej nie da się rozwiązać wyłącznie analitycznie, dlatego na pewnym etapie obliczeń przeniesiemy równania do programu komputerowego i zbadamy właściwości układu numerycznie.

Jak wspomnieliśmy, przydatność tego układu leży głównie w tym, że pozwala nam zauważyć niezwykle ciekawe zachowanie cząstek kwantowych, oraz w możliwości przeniesienia wyników do innych dziedzin nauki. Szklami spinowymi okazały się należeć do klasy tak zwanych *układów złożonych*, czyli takich, w których struktura pojawia się, zdawałoby się, „znikąd”, gdyż wyjściowy opis układu nie miał żadnej. Różne układy złożone mają ze sobą wiele wspólnego, więc zrozumienie jednych może pomóc w zrozumieniu innych. Przykładem może być tu zagadnienie zwijania białek. Białka, czyli łańcuchy aminokwasów, mają pewien ustalony skład, jednak rozmieszczenie aminokwasów w przestrzeni nie jest jednoznaczne i może zależeć choćby od temperatury czy pH otoczenia. W ustalonych warunkach pewna geometryczna konfiguracja będzie miała najmniejszą energię, więc białko będzie dążyło do zwinięcia się w taki sposób. Jednak zanim do tego dojdzie, białko będzie w innych ustawieniach i dopiero po pewnym czasie „znajdzie” właściwą strukturę. Okazuje się, że czas potrzebny, aby tego dokonać, jest albo dużo większy, albo dużo mniejszy niż przewidują proste modele, podczas gdy wykorzystanie analogii do dynamiki szkieł spinowych daje zadowalające wyniki.

Rozważania nad szklami spinowymi zaczęły się ponad 30 lat temu i z czasem zainteresowanie zmalało, być może z powodu braku nowych pomysłów. Powrót do tych badań można umotywić pojawieniem się *symulatorów kwantowych*. Są to układy fizyczne symulujące inne układy, jednak pozwalające na dużo większą kontrolę ich parametrów i cech. Zbadanie układu przypominającego szkło spinowe za pomocą takiego symulatora może przynieść wiele odpowiedzi, które były niemożliwe do uzyskania wcześniej. W szczególności, układy bozonów z nieporządkiem takim jak w szklach spinowych nigdy nawet nie istniały, podczas gdy symulatory kwantowe mogą udawać także i je. Wydaje się, że wiemy nawet, jak taki układ powinien wyglądać.