

Streszczenie popularnonaukowe

Anizotropia oznacza brak równoważności kierunków przestrzennych układu z punktu widzenia jego właściwości fizycznych. Przykładami układów anizotropowych są kryształy oraz ciekłe kryształy. Nie są nimi zazwyczaj gazy i ciecze, w których żaden kierunek przestrzenny nie jest wyróżniony. Anizotropia może się pojawić w układzie w sposób spontaniczny, w wyniku przemiany fazowej.

Przemiana fazowa jest niezwykle ciekawym zjawiskiem, gdzie przy niewielkiej zmianie parametru kontrolującego układ (na przykład temperatury bądź ciśnienia), w sposób drastyczny zmieniają się jego makroskopowe właściwości (np. gęstość, ściśliwość, oporność, czy podatność magnetyczna). Przemianom fazowym bardzo często towarzyszą silne fluktuacje różnych wielkości fizycznych, oraz związana z nimi tak zwana niezmienniczość skalowania, która oznacza, że układ zachowuje się bardzo podobnie niezależnie od skali długości, na której przeprowadzane są obserwacje. W takich warunkach anizotropia ma zazwyczaj drugorzędne znaczenie. Dzieje się tak dlatego, że zachowanie układu zdominowane jest przez wielkoskalowe fluktuacje, które są nieczułe na mikroskopowe szczegóły układu, takie jak na przykład istnienie i własności sieci krystalicznej (bądź jej brak). Z tego też powodu bardzo szerokie klasy układów mogą być opisywane przez proste modele (tak zwane efektywne teorie pola) definiowane w kontinuum, czyli bez sieci. Okazuje się, że pojedyncza efektywna teoria pola stanowi właściwy opis szerokiej klasy bardzo różnorodnych układów, na przykład klasycznych płynów i pewnej kategorii magnetyków; bądź helu, klasy układów ciekłokrystalicznych i jednocześnie klasy kryształów o własnościach magnetycznych. To zadziwiające zjawisko, tak zwana uniwersalność, opisane zostało poprawnie dopiero w drugiej połowie XX wieku i jest od tego czasu niezmiennie obiektem intensywnych badań zarówno w kontekście materii skondensowanej, jak i fizyki wysokich energii i kosmologii. W standardowych sytuacjach zjawisko uniwersalności implikuje, że anizotropia układu na skalach mikroskopowych jest nieistotna z punktu widzenia własności makroskopowych. Nie zawsze jednak musi tak być. Ważny spośród licznych kontrprzykładów stanowią nadprzewodniki wysokotemperaturowe oparte na miedzi. Ich silnie anizotropowa („warstwowa”) struktura krystaliczna sprawia, że najbardziej istotne własności fizyczne związane są z płaszczyznami krystalicznymi, tak że układ ten traktować można jako zbiór niezależnych układów dwuwymiarowych. Inny bardzo ciekawy przykład stanowią tak zwane punkty Lifshitz, związane ze stanami współlistnienia trzech faz termodynamicznych (na przykład fazy paramagnetycznej, ferromagnetycznej oraz antyferromagnetycznej). Ze względu na niezwykle silne efekty fluktuacji, układy te do dnia dzisiejszego nie poddały się współczesnym metodom analizy teoretycznej. Ich dokładny opis stanowi otwarty problem. Punkty Lifshitz występują w bardzo licznych układach fizycznych (magnetykach, ciekłych kryształach, układach metalicznych, czy ultrazimnych gazach) zarówno w zerowych jak i skończonych temperaturach.

Od lat 70-tych XX wieku rozwijany jest sposób spojrzenia na zagadnienie wielu ciał zwany teorią renormalizacji. Uwypukla on znaczenie skali Λ , na jakiej obserwujemy i opisujemy układ i która może zmieniać się w sposób ciągły pomiędzy skalą mikroskopową a makroskopową. Możemy rozważać rodzinę równoważnych (to znaczy odpowiadających temu samemu układowi fizycznemu) opisów, z których każdy przypisany jest do innej wartości Λ . Zmieniając Λ w sposób ciągły przechodzimy pomiędzy znanym w naszym problemie poziomem mikroskopowym a szukanym opisem makroskopowym poprzez tak zwany potok renormalizacji. Taki sposób myślenia doprowadził do rozwiązania szeregu długo nie poddających się problemów fizyki materii skondensowanej (opisu tak zwanych zjawisk krytycznych) i ujawnił zadziwiające powiązania pomiędzy fizyką statystyczną a teorią cząstek elementarnych.

Obecny projekt stanowi próbę zastosowania współczesnych narzędzi teoretycznych teorii renormalizacji do analizy szeregu sytuacji, w których anizotropie grają istotną rolę. Koncentrować się chcemy zarówno na badaniu anizotropowych efektywnych teorii pola, które opisują punkty Lifshitz w wielu różnych kontekstach, jak i na mikroskopowym opisie układów oddziałujących fermionów i bozonów, gdzie efekty anizotropii pojawiają się na skutek obecności sieci lub zewnętrznych pól.