

Dynamika kosmologicznych ścian domenowych w Modelu Standardowym i jego prostych rozszerzeniach

Popularnonaukowe streszczenie projektu

Nazwy takie jak spontaniczne łamanie symetrii, bądź ściany domenowe, mogą na pierwszy rzut oka wydawać się conceptami zgoła egzotycznymi. Jednak każdy z nas spotkał się w codziennym życiu z przedmiotami, których zasada działania opiera się na zjawisku spontanicznego złamania symetrii, podczas którego powstają ściany domenowe. Tymi obiektami są magnesy.

Magnesy, które spotykamy na co dzień, wykonane są z różnych materiałów, jednak tym co je wszystkie wyróżnia są ich właściwości magnetyczne — są ferromagnetykami. Wyobraźmy sobie, że mamy przed sobą jakiś magnes (czyli kawałek ferromagnetyka), a nawet lepiej, niech będzie on w kształcie kuli. Jak wiadomo kula wygląda tak samo, niezależnie od tego, jak się ją obróci lub mówiąc inaczej kula ma symetrię obrotową. Możemy ją toczyć po blacie przed sobą i nie zauważymy nawet czy tę kulę obróciliśmy. Weźmy teraz drugi magnes. Jeżeli położymy go dostatecznie blisko ferromagnetycznej kuli ta się obróci. Jeżeli przykleimy do kuli naklejkę na punkt najbliższy magnesowi i ponowimy cały eksperyment to kula ponownie obróci się tak, aby naklejka była najbliżej magnesu. O ile dla nas nie robi różnicy jak kula jest ułożona, o tyle wspólne oddziaływanie magnesów jest na to czułe. Rozważana ferromagnetyczna kula, jak każdy magnes ma wyróżnione bieguny północny i południowy, które wyznaczają pewien kierunek w przestrzeni (powiedzmy, że północ-południe). Fizycy mówią w takim przypadku, że symetria obrotowa kuli została złamana przez jej oddziaływania magnetyczne.

Ponadto, jeżeli wykonamy podobny eksperyment w temperaturze wyższej niż pewna temperatura (nazywana temperaturą Curie), określona dla każdego materiału ferromagnetycznego, to sytuacja się zmieni i kula się nie obróci. W tak wysokich temperaturach ferromagnetyki tracą swoje właściwości ferromagnetyczne, a symetria obrotowa zostaje przywrócona. Co ciekawsze jeżeli kule ponownie ochłodzimy i wykonamy nasz eksperyment to kula nadal się nie obróci mimo, że będzie przyciągana do drugiego magnesu. Aby wytłumaczyć czemu tak jest musimy wykonać bardziej skomplikowany eksperyment.

Jeśli przetniemy naszą ochłodzoną kulę i obejrzymy ją pod mikroskopem sił magnetycznych (wersja mikroskopu sił atomowych czuła na oddziaływania magnetyczne) to zobaczymy obszary o określonym kierunku pola magnetycznego, które nazywa się domenami magnetycznymi. Ponieważ orientacje w sąsiadujących domenach nie są zgodne, pomiędzy nimi dojrzymy obszary przejściowe, czyli ściany domenowe.

Wszystkie dane doświadczalne świadczą o tym, że Wszechświat rozszerzał się w przeszłości, a wraz z tym rozszerzaniem ochładzał. Oznacza to, że w przeszłości Wszechświat był bardzo gorący. Tak więc wraz z ewolucją Wszechświata, symetrie fizyki cząstek elementarnych, które były niezłamane w wysokiej temperaturze, mogły zostać spontanicznie złamane podczas jego ochładzania. Taka sytuacja mogła wydarzyć się we wczesnym wszechświecie w przypadku symetrii elektroslabej, związanej z elektromagnetycznymi oraz słabymi oddziaływaniami.

Symetrię elektroslabą łamie pole Higgsa (tak jak symetrię obrotową w poprzednim przypadku łamało pole magnetyczne), którego istnienie zostało potwierdzone odkryciem jego kwantu, czyli bozonu Higgsa w 2012 roku. Dzięki pomiarowi masy bozonu Higgsa wiemy, że możliwe są (przy założeniu stosowności Modelu Standardowego przy bardzo wysokich energiach) dwa scenariusze łamania symetrii elektroslabej. Jedynie jeden z nich odpowiada aktualnie obserwowanym masom bozonów pośredniczących W i Z, jednak obydwie mogły być realizowane w odseparowanych domenach w bardzo wczesnym Wszechświecie. Celem projektu jest wyjaśnienie w jaki sposób sytuacja ta mogła być realizowana w przeszłości, a przede wszystkim w jaki sposób ściany domenowe powstałe w tym scenariuszu zaniknęły prowadząc do Wszechświata, który obserwujemy dzisiaj.