

Natura boi się próżni

Andrzej Białas

Instytut Fizyki UJ

Referat wygłoszony dla uczniów – uczestników Przedszkola Fizyki i uczestników Szkoły Teoretycznej w Zakopanem w czerwcu 2000 roku.

Kwestia istnienia bądź nieistnienia próżni uznawana była od czasów pierwszych dyskusji naukowych za jeden z najważniejszych problemów w pojmowaniu natury. Działo się tak dlatego, że zagadnienie istnienia próżni miało fundamentalne znaczenie dla sporu pomiędzy „atomistami” a myślicielami, którzy wierzyli, że materia jest „ciągła”. Jeśli bowiem materia składa się z oddzielnych atomów, pomiędzy atomami musi znajdować się próżnia, jeśli zaś materia wypełnia całą przestrzeń, nie ma już miejsca na próżnię. Spór ten toczył się przez stulecia i tak jak większość starożytnej wiedzy, został podsumowany przez Arystotelesa. Arystoteles był gorącym zwolennikiem ciągłej struktury materii, podał więc szereg argumentów za tym, że próżnia nie może istnieć. Niektóre były natury semantycznej (czy NIC może istnieć?) i te nas nie interesują, inne odnoszą się do fizyki. Pozwolę sobie przedstawić jeden z dwu, które rozumiem – a mianowicie ten o niemożliwości istnienia ruchu w próżni. Arystoteles uważał, że ciało spoczywające w próżni nie może zacząć się poruszać. Powód tej niemożności jest bardzo prosty i zarazem bardzo głęboki: próżnia, będąc zupełnie pustą przestrzenią, *w sposób oczywisty musi być zupełnie symetryczna* i dlatego rozważane ciało nie może się poruszyć, *nie ma bowiem wyróżnionego kierunku*, w którym ruch mógłby zachodzić. Nie chcę tu dyskutować słuszności tego rozumowania, pozwolę sobie jednak sformułować fundamentalne spostrzeżenie wielkiego myśliciela w nieco bardziej współczesnym języku: *Pusta przestrzeń musi być idealnie symetryczna ze względu na wszelkie możliwe przekształcenia.*

Jak powszechnie wiadomo, wpływ Arystotelesa na myślenie naukowe był tak potężny, że przez stulecia nikt nie śmiał nawet kwestionować jego stwierdzenia, że próżnia nie może istnieć. Nie jest jasne, kto pierwszy sformułował słynne zdanie „natura boi się próżni”, jednak było ono w powszechnym użyciu już u trzynastowiecznych uczonych.

Z nadejściem Renesansu nauka arystotelesowska stała się obiektem krytyki i wkrótce koncepcja próżni tryumfalnie powróciła do opisu świata materialnego. Prace Toricellego, Galileusza, Guericke i innych pokazały ponad wszelką wątpliwość, że próżnia to bardzo użyteczne pojęcie i że można ją uważać za coś „rzeczywistego”. Jeszcze później, wraz z odkryciem atomowej struktury świata, próżnia stała się niezbędnym elementem jego opisu. Próżnia była potrzebna dziewięć-

nastawie atomistom tak samo jak Demokrytowi 2500 lat wcześniej. Wydawało się, że problem istnienia próżni został wreszcie rozwiązany i „obawa próżni” została usunięta ze słownika naukowego, pozostając jedynie w rozważaniach społecznych i politycznych.

Problem istnienia próżni powrócił na krótko wraz z koncepcją „eteru”, przestał jednak istnieć po sformułowaniu teorii względności Einsteina. Fizyka klasyczna zaakceptowała pojęcie próżni bez zadawania dalszych pytań. Jednak wraz z nadejściem teorii kwantowej próżnia straciła swą absolutną, statyczną naturę. Pusta przestrzeń stała się areną dla bardzo bogatej klasy zjawisk dynamicznych: fluktuacji próżni. Stało się jasne, że w każdym punkcie pustej przestrzeni i w każdej chwili może spontanicznie powstać i następnie istnieć przez bardzo krótki czas para cząstka-antycząstka; znalazło to przepiękne potwierdzenie eksperymentalne. Był to krok kluczowy, pozwalający myśleć o pustej przestrzeni jako o ośrodku fizycznym wpływającym na dynamikę świata. Tym niemniej samo istnienie pustej przestrzeni nie zostało przez te obserwacje zakwestionowane: natura wreszcie zaakceptowała próżnię, choć zapewne bez przesadnego entuzjazmu.

Niespodziewanie w połowie lat sześćdziesiątych problem ponownie się pojawił, gdy fizycy badający cząstki elementarne odkryli „ukryte symetrie”, pojęcie dobrze znane z fizyki ciała stałego. Było to konsekwencją wielkiego postępu w zrozumieniu oddziaływań podstawowych. Wiemy dziś, że świat zbudowany jest zaledwie z kilku rodzajów cząstek elementarnych i że wszystkie siły obserwowane w przyrodzie można sprowadzić do czterech oddziaływań podstawowych pomiędzy tymi cząstkami. Najbardziej sensacyjne było jednak odkrycie, że *wszystkie oddziaływania podstawowe wynikają z pewnych zasad symetrii*. Chciałbym podkreślić niezwykły charakter tego odkrycia: równania opisujące nasz świat są konsekwencją prostych reguł matematycznych symetrii. Symetria nie tylko pociąga to, że cząstki **muszą** oddziaływać (równania dla cząstek swobodnych nie spełniają wymaganych symetrii), lecz także **jednoznacznie** określa postać równań opisujących te oddziaływania. Istnieją uzasadnione powody, aby wierzyć, że symetrie podstawowych równań są naprawdę ściśle: Po pierwsze, mocnych argumentów na rzecz tych symetrii dostarczają reguły kwantowej teorii pola oraz struktura multipletowa cząstek elementarnych. Po drugie, z istnienia symetrii wynikają wnioski potwierdzone we współczesnych eksperymentach aż do granicy dokładności pomiarów. Wreszcie po trzecie, nie znamy innych sposobów na zbudowanie matematycznie spójnych kwantowych teorii pola.

Jest rzeczą jasną, że odkrycie to reprezentuje nową, podstawową i unifikującą zasadę natury. Kwestią otwartą pozostaje, czy odkryliśmy już wszystkie symetrie świata, jednak sama zasada nie jest przez nikogo kwestionowana.

Fascynująca „zasada symetrii”, przypominająca w pewnym sensie idee wielkiego Platona, rodzi jednakże nowy problem. Okazuje się bowiem, że chociaż eksperyment jest doskonale zgodny z symetryczną formą *równań* opisujących świat, jego wyniki łamią pewne konsekwencje owych symetrii. Możemy znów

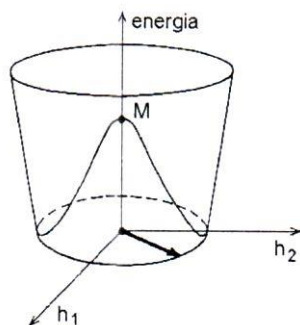
przywołać skojarzenia z platońskimi ideami: świat rzeczywisty jest jedynie niekształconym cieniem idealnego, symetrycznego świata. Rzecz jasna są to tylko słowa, jednak ich główne przesłanie warto zachować: świat taki, jakim go widzimy, z całą pewnością nie wygląda na system idealnie symetryczny.

Stoimy więc oto przed nowym i trudnym problemem: Jak można użyć idealnie symetrycznej teorii do opisu świata nie dopuszczającego symetrii? Rozwiązanie tej na pierwszy rzut oka nierozwiązywalnej zagadki znaleziono, stosując analogię do zjawisk znanych z fizyki ciała stałego. Obecnie akceptowana odpowiedź brzmi: *Symetria praw fizyki jest łamana przez czasoprzestrzeń, w której one działają*. Równania są symetryczne, czasoprzestrzeń zaś nie. Jednak to, co jest zupełnie naturalne w fizyce ciała stałego, staje się wysoce nietrywialnym problemem w zagadnieniu, które właśnie rozważamy. O ile bowiem nie ma żadnych szczególnych trudności w zaakceptowaniu faktu, że stan podstawowy kryształu nie jest symetryczny ze względu na transformacje niezmienniczące równań opisujących układ, o tyle akceptacja tego faktu odnośnie pustej przestrzeni łamie arystotelesowską zasadę symetrii próżni, dyskutowaną na początku tego artykułu. Jedynym sposobem wyjścia z tego dylematu jest przyjęcie, że próżnia, czyli stan podstawowy układu cząstek elementarnych, jest w rzeczywistości *niepusta!* Innymi słowy prawdziwa próżnia, czyli naprawdę pusty obszar czasoprzestrzeni, **nie istnieje**. Arystoteles miał, mimo wszystko, rację: natura w istocie boi się próżni.

Jak coś takiego może zachodzić? Odpowiedź *formalna* jest dość prosta: wygląda na to, że prawdziwie pusta czasoprzestrzeń jest niestabilna, ponieważ ma większą gęstość energii niż istniejąca próżnia fizyczna odpowiadająca światu, w którym żyjemy. Sytuację tę przedstawia Rys. 1, gdzie gęstość energii hipotetycznego dwuskładnikowego pola h jest wykreślona jako funkcja jego dwu składowych h_1 i h_2 . Układ ten jest doskonale symetryczny względem obrotów wokół pionowej osi. Łatwo też widać, że punkt M odpowiadający znikającemu polu ($h_1 = h_2 = 0$), symetryczny względem obrotów, odpowiada lokalnemu maksimum energii. Jest on zatem niestabilny i musi się rozpaść do jednego z punktów na „dnie butelki”, gdzie pole nie znika. Taki stan o najniższej energii jest *niesymetryczny* względem obrotów wokół pionowej osi: stan podstawowy układu łamie symetrię.

Jest to oczywiście ćwiczenie czysto formalne. Jeśli jednak wziąć je poważnie, oznacza to, że pole h naprawdę istnieje, a skoro tak, to musi być możliwe znalezienie cząstek odpowiadających temu polu. I rzeczywiście, poszukiwania tych cząstek, zwanych bozonami Higgsa, stanowią istotną część programu badawczego w CERN, a nowy, wielki akcelerator (LHC – Large Hadron Collider) jest właśnie budowany specjalnie w celu ich poszukiwania. Myślę, że z tego, co tu powiedziano, powinno jasno wynikać, że znalezienie bozonu Higgsa jest rzeczą naprawdę ważną. Nie jest to po prostu „kolejna cząstka elementarna”, ale najbardziej podstawowa ze wszystkich cząstek – cząstka odpowiadająca za naturę czasoprzestrzeni, w której umieszczony jest nasz świat. Im więcej o tym myślę, tym bardziej

jestem przekonany, że zadanie to warte jest wydanych na nie pieniędzy, bowiem oto naprawdę sięgamy po coś bardzo głębokiego: podstawę całego świata.



Rys.1 Gęstość energii hipotetycznego pola h w funkcji dwóch składowych h_1 i h_2

Nie muszę chyba dodawać, że poszukiwania bozonu Higgsa nie zatrzymają się po prostu wraz z jego (wielce prawdopodobnym) odkryciem. Szczegółowe własności tej cząstki mają także ogromne znaczenie. Czy jest ona elementarna? Czy jest cząstką złożoną? Jeśli tak, to z czego? Odpowiedzi na te pytania będą niezwykle ważne dla dalszego rozwoju fizyki cząstek i astrofizyki. Wybiegamy jednak zbyt daleko...

Może się oczywiście zdarzyć, że bozon Higgsa nie istnieje, choć wydaje się to wysoce nieprawdopodobne. Co wówczas? Tego nikt nie wie, lecz zapewne teorię cząstek, jaką znamy obecnie, trzeba będzie porzucić lub przynajmniej gruntownie zmodyfikować. Tytuł zaś wykładów o problemie próżni będzie można zaczerpnąć z Szekspira.

[A. Białas, *Nature abhors vacuum*, Phys. Bl. **54**, 641 (1998), tłumaczenie Paweł F. Góra]