

Czy spirala może być jednocześnie prawoskrętna i lewoskrętna?

Nadmiar wymiarów

Świat, jaki znamy, jest trójwymiarowy – obiektom materialnym przypisujemy szerokość, wysokość i głębokość. Po uwzględnieniu czasu otrzymujemy czterowymiarową czasoprzestrzeń, w której żyjemy. Fizycy do tej pory twierdzili, że w rzeczywistości świat ma więcej wymiarów – 10, 11, a może nawet 26. Ostatnio pojawiła się jednak przeciwstawna koncepcja: wymiarów jest mniej niż cztery, być może nie ma ich wcale.

Stanisław Mrówczyński

Linia prosta bądź zakrzywiona jest tworem jednowymiarowym. Wystarczy bowiem podać jedną liczbę – współrzędną, aby określić położenie punktu na linii. W przypadku płaszczyzny mamy do czynienia z dwoma wymiarami. Do zlokalizowania punktu w otaczającej nas przestrzeni potrzeba trzech współrzędnych, co jest właśnie konsekwencją jej trójwymiarowości.

Euklides rozważa w „Elementach” figury płaskie i bryły, a więc obiekty dwu- i trójwymiarowe. Nie dopuszczał zapewne istnienia czwartego i wyższych wymiarów. Ptolemeusz – największy astronom starożytności – przedstawił nawet geometryczny dowód nieistnienia czwartego wymiaru, chociaż jego rozumowanie pokazuje jedynie, jak trudno sobie wyobrazić czterowymiarowy obiekt w naszej trójwymiarowej przestrzeni. Przez wieki więc nie interesowano się wielowymiarową geometrią w błogim przekonaniu, że nie ma ona żadnego odniesienia do rzeczywistości. Dopiero kaprys księcia matematyków sprawił, że problem został poważnie potraktowany. Carl Friedrich Gauss zażyczył sobie mianowicie, aby wykład habilitacyjny Georga Bernharda Riemanna poświęcony był podstawom geometrii.

Nowa geometria

Z zachowanej korespondencji wiadomo, że Riemann, zaprzątnięty innymi problemami, bez entuzjazmu przyjął propozycję. A jednak wyniki jego dociekań daleko wykroczyły poza oczekiwania Tajnego Radcy – jak Riemann zwykł tytułować swego nauczyciela. Data wygłoszenia wykładu – 10 czerwca 1859 r. – jest jedną z przełomowych dla nowej geometrii. Metody wypracowane przez Riemanna pozwoliły badać wymykające się naszej wyobraźni wielowymiarowe światy. Aby uchwycić, na czym polegają trudności w zrozumieniu geometrii czterowymiarowej, matematycy zwykli się odwoływać do żyjących na płaszczyźnie dwuwymiarowych płaszczaków, dla których trójwymiarowa przestrzeń jest równie abstrakcyjna jak dla nas czwarty wymiar. W przestrzeni trójwymiarowej wystarczy obrócić prawoskrętną spiralę, aby stała się lewoskrętną (patrz rysunek w tytule). W krainie płaszczaków spirala lewoskrętna natomiast to obiekt inny niż prawoskrętna, tak jak dla nas prawa i lewa rękawiczka. W czterowymiarowej zaś przestrzeni lewą rękawiczkę można zmienić na prawą odpowiednio ją wywijając.

Ze względu na te niezwykle własności nowa geometria zaczęła robić karierę wśród szerokiej publiczności. Stanowiła inspirację dla kubistów, przeniknęła do literatury.

Do fizyki czwarty wymiar wkroczył wraz z teorią względności. Jednak to nie Einsteinowi zawdzięczamy odkrycie geometrycznego sensu czasu. Pojęcie czasoprzestrzeni wprowadził w 1907 r. matematyk Herman Minkowski, co Einstein uznał początkowo za „zbyteczną uczoność”. Wkrótce jednak docenił ogromną doniosłość pomysłu i wykorzystał z całym aparatem riemannowskiej geometrii, konstruując ogólną teorię względności. Wszecławiat wtedy stał się czterowymiarowy.

W poszukiwaniu jedności

W kwietniu 1919 r. Einstein otrzymał zdumiewający list. Jego autorem był urodzony w 1885 r. w Raciborzu *Privatdozent* z uniwersytetu królewieckiego, mało znany matematyk Theodor Kaluza. Przebadał on równania ogólnej teorii względności, ale nie w cztero-, lecz w pięciowymiarowej czasoprzestrzeni i wykazał, że po odpowiednim przejściu do czterech wymiarów uzyskuje się zwykłe einsteinowskie równania oraz elektromagnetyczną teorię Maxwella. Innymi słowy, Kaluza zademonstrował jedność sił elektromagnetycznych i grawitacyjnych przy założeniu, że działają one w pięcio-, a nie tylko w czterowymiarowej czasoprzestrzeni.

Przedstawione rozumowanie zrobiło na Einsteinie wielkie wrażenie. Wszak odkrywanie wspólnych korzeni różnych zjawisk jest naczelnym zadaniem przyrodznawstwa. James Clark Maxwell, zapisawszy cztery słynne równania, zamknął w jednej teorii elektryczność, magnetyzm i optykę. Ludwig Boltzmann pokazał, że u podstaw nauki o cieple leżą zwykle prawa mechaniki. Połączenie elektromagnetyzmu z grawitacją było więc koncepcją jak najbardziej pożądaną. Pomysł zaś wprowadzenia dodatkowego, piątego wymiaru nie był bynajmniej szalony.

Prostopadłościan jest oczywiście trójwymiarową bryłą. Jeśli jednak bardzo go spłaszczyć, tak aby jego głębokość stała się dużo mniejsza niż wysokość i szerokość, to niewiele będzie się różnił od dwuwymiarowej płaszczyzny – krainy wspomnianych płaszczaków. Podobnie pięciowymiarowa czasoprzestrzeń będzie nam się jawić jako czterowymiarowa, jeśli ów piąty wymiar ograniczyć do bardzo

małych rozmiarów. Oskar Klein – szwedzki fizyk, który w 1926 r. udoskonalił teorię Kaluzy – argumentował, że ruch wzdłuż piątego wymiaru może się odbywać tylko na długości miliony razy mniejszej niż rozmiary atomu. Sprawia to, że ów wymiar jest praktycznie nieobserwowalny. Proces redukcji wymiarów przestrzeni poprzez zawężenie ruchu w tych wymiarach do bardzo małych odległości, określany jest mianem *kompaktyfikacji*. Zachodzenie tego procesu jest postulowane we wszystkich współczesnych, wielowymiarowych teoriach mikroświata.

Więcej sił

Pięciowymiarowa teoria Kaluzy po krótkim okresie zainteresowania została zarzucona. Dopiero po upływie półwiecza do niej powrócono, w nowych jednak okolicznościach. W ciągu tego czasu obraz mikroświata uległ ogromnym przeobrażeniom. Okazało się, że przyrodą rządzą nie tylko znane od wieków siły grawitacyjne i elektromagnetyczne, lecz jeszcze inne rodzaje sił określane jako silne i słabe, działające wyłącznie na odległościach mniejszych niż rozmiary atomu. Odkryto bogactwo cząstek elementarnych.

Potrzeba znalezienia harmonii w tym niezwykle skomplikowanym świecie stawała się coraz bardziej nagląca. W latach sześćdziesiątych sformułowano teoretyczny model, który, wskazując wspólne źródło, unifikował siły elektromagnetyczne i słabe. W 1983 r. model został potwierdzony doświadczalnie – zaobserwowano cząstki będące nośnikami sił elektro-słabych. Później model rozbudowano, włączając doń oddziaływania silne. Powstał Model Standardowy, który jest obecnie najpełniejszą teorią najmniejszych cegiełek Wszechświata.

Odkryta na początku XX w. mechanika kwantowa obejmuje swym władaniem, jak wierzymy, wszelkie zjawiska, chociaż ujawnia swe paradoksalne własności dopiero wówczas, gdy mamy do czynienia z obiektami nie większymi od atomów. Einstein, który odegrał istotną rolę przy tworzeniu fizyki kwantowej, był jej później niechętny. Najwspanialszemu swemu dziełu – ogólnej teorii względności – nadał postać całkowicie klasyczną. Sytuacja jest więc taka, że oddziaływania elektro-słabe i silne mają charakter kwantowy, natomiast opis sił grawitacyjnych pozostaje klasyczny. Największym przeto wyzwaniem fizyki ostatnich kilku dziesięcioleci jest wielka unifikacja, czyli skwantowanie grawitacji i włączenie w jedną spójną teorię wszystkich sił przyrody.

Teorie wszystkiego

Ogromnie wiele wysiłku włożono w stworzenie takiej ogólnej teorii wszystkiego. Wśród różnych podejść powrócono do udoskonalonej przez Kleina teorii Kaluzy, która – mimo modyfikacji i ulepszeń – nie spełniła jednak oczekiwań. Najpoważniejszym kandydatem na ogólną teorię wszystkiego przez długi czas wydawała się teoria strun, w której podstawowym obiektem nie jest bezwymiarowa cząstka, lecz jednowymiarowa struna. Wszystkie typy sił i całe bogactwo cząstek elementarnych jawią się w tej teorii jako drgania strun. Z prostych tonów powstają wielotony, z nich akordy i współbrzmienia, o których największym kompozytorom się nie śniło.

Praktycznie wszystkie sensowne próby stworzenia wielkiej unifikacji zakładają, że w istocie jest więcej niż cztery wymiary, lecz wszystkie te nadmiarowe ulegają opisanej wcześniej *kompaktyfikacji*, są więc niewidoczne w otaczającym nas świecie. Ostatnio zaproponowano jednak podejście odwrotne. Wśród jego autorów jest wybitny teoretyk z Uniwersytetu Warszawskiego prof. Stefan Pokorski. Nowa koncepcja zakłada, że na fundamentalnym poziomie świat ma mniej wymiarów niż cztery, być może jest nawet bezwymiarowy. To, czego doświadczamy, jako zjawisko przestrzennego wymiaru jest bowiem efektem szczególnie symetrycznego działania sił. Trudno zgadnąć, jakie będą losy tego pomysłu. Być może jest on kluczem do ogólnej teorii wszystkiego, może też być już wkrótce zarzucony. Historia fizyki jest bowiem usłana zwłokami zbyt ambitnych teorii.

Stanisław Mrówczyński

Autor jest fizykiem, pracuje w Instytucie Problemów Jądrowych w Warszawie i Akademii Świętokrzyskiej w Kielcach.