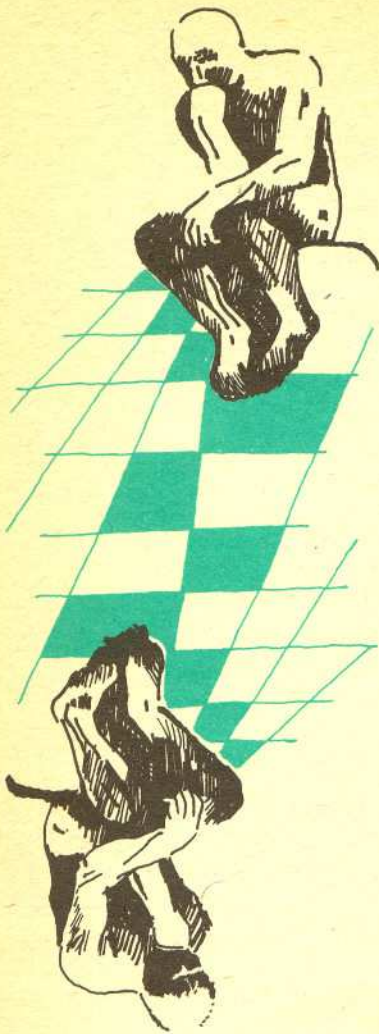


Dr Jerzy KOWALSKI-GLIKMAN



W 1983 roku, po kilkuletnich przygotowaniach, przeprowadzona została w CERNie w Genewie seria doświadczeń, których celem było znalezienie eksperymentalnego potwierdzenia teorii oddziaływań elektroslabych (teorii Weinberga-Salama). Owocem tych doświadczeń było nie tylko odkrycie tzw. bozonów pośrednich W^\pm i Z^0 (w których istnienie nikt już zresztą nie wątpił, jako że teoria Weinberga-Salama została potwierdzona pośrednio już kilka lat temu), ale również, jak to często bywa, zaobserwowanie nowych efektów. Stanowią one, być może, potwierdzenie istnienia w przyrodzie zjawisk postulowanych przez jakościowo nowe modele teoretyczne zwane teoriami supersymetrycznymi. Wspólną cechą tych teorii jest to, że są one niezmiennicze względem nowej klasy transformacji zwanych supersymetrijami.

Zanim przejdziemy do opisu teorii supersymetrycznych, zastanówmy się przez chwilę nad rolą symetrii w fizyce. Symetrią teorii fizycznej nazywamy niezmienniczość tej teorii względem pewnej klasy transformacji działających na obiekty przez nią opisywane (układy cząstek lub pól). Zazwyczaj transformacje te mają matematyczną strukturę grupy — dlatego też mówimy o grupie transformacji lub grupie symetrii.

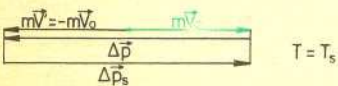
Znane dotychczas symetrie można podzielić na dwie klasy: symetrie czasoprzestrzenne i tzw. symetrie wewnętrzne. Do pierwszej grupy należą na przykład transformacje Galileusza, które nie zmieniają postaci równań Newtona, lub transformacja Lorentza występująca w mechanice relatywistycznej. Przykładem symetrii wewnętrznych mogą być symetrie cechowania elektrodynamiki. Wiadomo na przykład, że do potencjału pola elektrostatycznego można zawsze dodać dowolną stałą (przyjmuje się zazwyczaj, że jest ona tak dobrana, aby potencjał od ograniczonego rozkładu ładunków dążył do zera w nieskończoności). Symetrie cechowania odgrywają wielką rolę w tzw. teoriach pól Yanga-Millsa, które opisują oddziaływania elektroslabe i silne cząstek elementarnych. Odkrywanie nowych symetrii prowadzi często do ważnych odkryć fizycznych. Przykładem może tu być odkrycie szczególnej teorii względności, którą Einstein znalazł szukając mechaniki niezmienniczej względem transformacji Lorentza. To i wiele innych odkryć fizyki XX wieku było źródłem hipotezy, że im bardziej elementarny jest poziom badanych zjawisk, tym „większą symetrię” ma teoria je opisująca. Dlatego też odkrycie nowej klasy symetrii jest źródłem nadziei na zbudowanie teorii opisujących bardziej elementarny poziom zjawisk lub nawet teorii zuniifikowanej wszystkich oddziaływań cząstek elementarnych. Źródłem olbrzymiego w ostatnich latach zainteresowania teoriami supersymetrycznymi, szczególnie teorią supergrawitacji, jest to, że istnieją przesłanki wskazujące, iż teorie te mogą być kandydatami do miana teorii unifikacyjnych.

Aby opisać treść fizyczną supersymetrii, przypomnijmy kilka podstawowych pojęć z teorii cząstek elementarnych. Jak wiadomo, cząstki występujące w przyrodzie można podzielić na dwie klasy: bozony (nośniki oddziaływań grawitacyjnych, elektroslabych i silnych oraz tzw. cząstki Higgsa) i fermiony (kwarki i leptony). Supersymetria jest symetrią, która miesza bozony i fermiony. Dokładniej — w teorii supersymetrycznej każda cząstka bozonowa ma fermionowego partnera i dlatego liczba bozonów i fermionów w takiej teorii jest taka sama. Okazuje się ponadto, że wszystkie cząstki opisywane przez teorię supersymetryczną muszą mieć równe masy. Te dwa fakty zachodzące dla dowolnego supersymetrycznego modelu mają bardzo duże znaczenie dla fenomenologii cząstek elementarnych. Wynika z nich na przykład, że superpartnerem fotonu musi być bezmasowy fermion. Ale w przyrodzie nie ma takiej cząstki (neutrino z pewnych powodów nie pasuje), co oznacza, że nawet jeśli supersymetria jest symetrią przyrody, to jest ona ukryta przy energiach dostępnych w doświadczeniach akceleratorowych. Aby wyjaśnić dokładniej pojęcie ukrytej symetrii, wyobraźmy sobie ruch cząstki w potencjale przedstawionym na rysunku. Potencjał $V(x)$ jest parzysty ($V(x) = V(-x)$), ale cząstka o energii $E_1 < V_0$ może poruszać się tylko pomiędzy x_1 i x_2 i „nie czuje” symetrii potencjału — mówimy: symetria jest złamana. Z drugiej strony ruch cząstki o energii $E_2 > V_0$ jest zgodny z symetrią $x \rightarrow -x$. Tak więc symetria układu jest ukryta, jeśli energia cząstki jest odpowiednio mała. Można przypuszczać, że podobnie rzecz się ma z supersymetrią. Okazuje się, że jeśli jest ona złamana poniżej pewnej charakterystycznej energii (odpowiednik wysokości bariery V_0), to dla niskich energii część cząstek początkowo bezmasowych otrzymuje masy rzędu tej skali. Masy te w zależności od przyjętego modelu mogą wahać się od 10 do 10^{19} GeV (acz w modelach, które uchodzą za realistyczne, przynajmniej część supercząstek powinna mieć masy nie większe od 100—1000 GeV). Tak więc zjawiska supersymetryczne mogą znajdować się na granicy aktualnych możliwości obserwacyjnych.

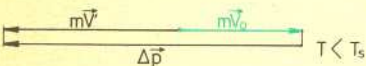
Ze wszystkich teorii supersymetrycznych największe nadzieje wiąże się z supersymetryczną teorią grawitacji — supergrawitacją. W teorii tej obok nośnika pola grawitacyjnego (grawitonu)



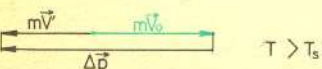
Rozwiązanie zadania F 187. Gdy temperatura gazu T jest równa temperaturze ścianek T_s , przy zderzeniach ze ściankami energia kinetyczna cząstek średnio nie ulega zmianie, a pęd zmienia tylko kierunek.



Gdy ścianka jest cieplejsza, gaz ogrzewa się, co oznacza, że średnio prędkość cząsteczki po odbiciu od ścianki jest większa niż przed odbiciem. W porównaniu z sytuacją równowagową większy jest teraz średni pęd przekazywany ściance, a więc i ciśnienie.



W przypadku chłodzenia gazu ciśnienie będzie mniejsze.



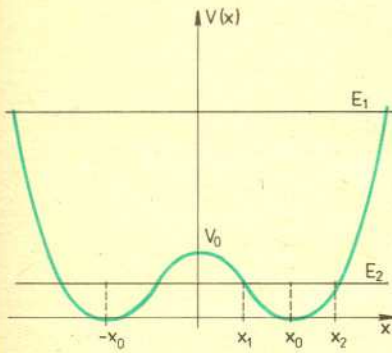


istnieją jego partnerzy supersymetryczni (grawitina) oraz inne pola, których interpretacja niskoenergetyczna nie jest jasna. Istnieje dokładnie 8 różnych teorii supergrawitacji: można je charakteryzować liczbą N równą liczbie grawitin ($1 \leq N \leq 8$, a dla $N = 0$ supergrawitacja jest równoważna ogólnej teorii względności Einsteina). Supergrawitacja jest teorią atrakcyjną z wielu powodów. Jest ona pierwszym znanym przykładem teorii zawierającej grawitację, którą (prawdopodobnie) można skwantować. We wszystkich znanych dotychczas modelach teorii grawitacji pojawia się problem tzw. renormalizowalności. W dużym uproszczeniu polega on na tym, że w teoriach tych po skwantowaniu pojawiają się wyrażenia nieskończone. Istnieje przypuszczenie, że w teoriach supergrawitacji, ze względu na symetrie, współczynniki przy nieskończonych wkładach od bozonów i fermionów mają równe wartości i przeciwne znaki i w efekcie kasują się. Ponieważ wierzymy w istnienie spójnej, kwantowej teorii grawitacji, byłby to silny argument za przyjęciem supergrawitacji.

Drugim powodem nadziei związanych z teorią supergrawitacji jest możliwość unifikacji w jej ramach wszystkich znanych oddziaływań. Najbardziej atrakcyjna jest w tym kontekście maksymalna, zawierająca 8 grawitin teoria supergrawitacji. Zawiera ona tylko dwa dowolne parametry, które muszą być znalezione doświadczalnie (co jest olbrzymim postępem w stosunku do teorii wielkich unifikacji oddziaływań elektrosłabych i silnych, która ma ponad 20 takich parametrów), a mianowicie stałą grawitacyjną i uogólnienie ładunku elementarnego. Co najważniejsze, teoria ta unifikuje w sposób naturalny grawitację i inne oddziaływania cząstek elementarnych.

Charakterystyczną skalą energii dla tej teorii (odpowiednik wysokości bariery V_0 na rysunku) jest tzw. masa Plancka — wielkość o wymiarze energii zbudowana ze stałej grawitacyjnej (bo mamy grawitację), stałej Plancka i prędkości światła (teoria jest kwantowa i relatywistyczna), wynosząca 10^{19} GeV. Przypuszcza się, że poniżej tej skali supersymetria zostaje złamana (przynajmniej częściowo), a oddziaływanie grawitacyjne staje się zaniedbywalnie małe w porównaniu z innymi oddziaływaniami cząstek elementarnych. Łamanie supersymetrii prowadzi do pojawienia się olbrzymich mas grawitin, których w związku z tym nie obserwuje się w doświadczeniach akceleratorowych (jednak masywne grawitina mogą mieć duże znaczenie w kosmologii). Sądzi się ponadto, że obserwowane w przyrodzie cząstki nie są elementarne, a raczej, że są to obiekty złożone z podstawowych obiektów opisywanych w ramach supergrawitacji.

Należy jednak wyraźnie powiedzieć, że wszystkie powyższe stwierdzenia mają charakter wysoce spekulatywny. Niemniej odkrycie dowolnej supercząstki byłoby silnym argumentem na korzyść supergrawitacji. Jest ona bowiem najbardziej elegancką spośród teorii supersymetrycznych, a jak wiadomo, przyroda jest bardzo elegancka.



10. Transformacja Lorentza

Wróćmy do opisanego w części 2 zjawiska Dopplera. Jego relatywistyczną wersję przedstawia rysunek 10a, na którym zaznaczyliśmy tylko linie światła promieni świetlnych, źródła i obserwatora. Źródło emituje impulsy światła w odstępach czasu T_0 w punktach O, A, A_1, \dots , a detektor rejestruje je w punktach O, B, B_1, \dots w odstępach T . Nasze zadanie polega na znalezieniu związku między okresami T_0 i T .

Odcinek AG (rys. 10b) składa się ze zdarzeń równoczesnych z A w układzie źródła, a BK ze zdarzeń równoczesnych z B w układzie detektora. Prędkość względna źródła i detektora jest równa

$$v = \frac{X_G}{T_0} = \frac{X'_K}{T}$$

Z niezmienniczości interwału czasoprzestrzennego wynika, że

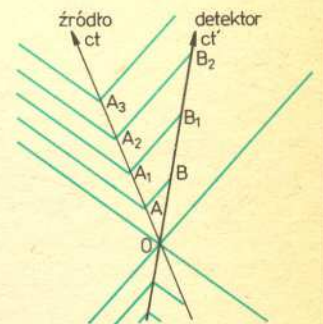
$$c^2 t_K^2 = c^2 T^2 - v^2 T^2,$$

a stąd $t_K/T = \sqrt{1 - v^2/c^2}$. Podobnie otrzymujemy

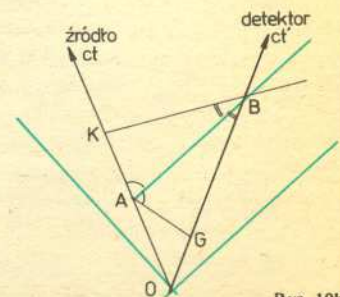
$$\frac{t_K}{T_0} = \frac{X_G + cT_0}{cT_0} = 1 + v/c$$

i z dwóch ostatnich równości:

$$(*) \quad \frac{T}{T_0} = \sqrt{\frac{1+v/c}{1-v/c}}$$



Rys. 10a



Rys. 10b

