

agresywnego (200—400 Hz), ale o ile sum elektryczny nadaje prawie nieprzerwanie nieregularne serie impulsów w tempie 3—10/s, to sum pospolity wytwarza sygnały elektryczne z rzadka, w tempie około 12 na minutę. Wyładowania te u suma pospolitego są słabe i nie mają zdolności porażenia, ale być może odgrywają jakąś rolę odstrasżającą. Sygnały węgorka europejskiego mają podobną częstotliwość (200—400 Hz), ale serie impulsów są nieco częstsze (24—36/min). Pomiary te należy trak-

tować jako szacunkowe, gdyż dokładniejsza analiza byłaby możliwa po wykonaniu oscylogramów i sonogramów.

Wpłynęło 26.III.86 r.

Prof. dr hab. Roman Wojtusik jest emerytowanym Kierownikiem Zakładu Zoopsychologii i Biologii Zwierząt UJ. Zofia Majlert jest emerytowanym pracownikiem Zakładu Zoopsychologii i Etologii Zwierząt UJ.

MAREK WOLF (Wrocław)

CZY W PRZYRODZIE ISTNIEJE PIĄTA SIŁA?

Na początku 1986 roku rozgłośnię radiowe i gazety w wielu krajach (również w Polsce) doniosły o odkryciu piątej siły. O istnieniu w przyrodzie nowego oddziaływania zakomunikowała grupa młodych amerykańskich fizyków: E. Fischbach z uniwersytetu w Seattle, D. Sudarsky, A. Szafer, C. Talmadge z Purdue University w West Lafayette oraz S. H. Aronson pracujący w Brookhaven National Laboratory w Upton. Ich praca *Powtórna analiza doświadczenia Eötvösa* ukazała się na pierwszej stronie numeru czasopisma „Physical Review Letters” noszącego datę 6 stycznia 1986. Artykuł ten wywołał spore poruszenie w świecie fizyków, które objawiło się powstaniem w ciągu kilku miesięcy około 30 prac poświęconych nowej sile. Piąta siła miałaby być bardzo słaba, mieć makroskopowy zasięg, praktycznie rzędu kilkuset metrów; ma mieć ona także powszechny charakter, podobnie jak oddziaływania grawitacyjne, w przeciwieństwie do których powodowałyby jednak odpychanie się ciał. W ten sposób istnienie piątej siły zmodyfikowałoby prawo ciężenia Newtona.

CZTERY SIŁY

Znamy dotychczas cztery siły występujące w przyrodzie: siły grawitacyjne, siły „słabe”, elektromagnetyczne oraz siły jądrowe („silne”). Wymieniliśmy tutaj siły w kolejności od najsłabszej do najsilniejszej. Z przejawami oddziaływań grawitacyjnych i elektromagnetycznych spotykamy się na co dzień. Natomiast siły słabe i jądrowe, z powodu bardzo krótkiego zasięgu, przejawiają się tylko w świecie atomów. Siły słabe powodują np. rozpad promieniotwórczy atomów (rozpad beta).

Wydzielana przy tym energia jest wykorzystywana praktycznie m.in. w elektrowniach atomowych. Siły silne mają charakter przyciągający i utrzymują w całości jądra atomowe. Są one około tysiąc razy silniejsze od oddziaływań elektromagnetycznych, co można wywnioskować m.in. z tego, że dodatnio naładowane protony, wbrew odpychaniu elektrostatycznemu, tworzą (wspólnie z neutronami) jądra atomów. Jak na razie ludzkość potrafi wykorzystać siły silne do produkcji energii tylko podczas wybuchu bomby termojądrowej.

Pod koniec lat sześćdziesiątych Steven Weinberg i Abdus Salam stworzyli niezależnie teorię unifikującą siły elektromagnetyczne i słabe. W myśl tej teorii siły elektromagnetyczne są przenoszone przez fotony, a sła-

be są przenoszone przez cząstki, które nazwano bozonami pośredniczącymi W^\pm i Z^0 . Bozony W^+ i W^- są naładowane elektrycznie, natomiast bozon Z^0 jest obojętny elektrycznie. Obecność tych cząstek jest przejawem istnienia w przyrodzie pewnej ukrytej symetrii, tzw. symetrii cechowania $SU(2) \times U(1)$. To, że symetria ta nie jest dokładną symetrią wszechświata (jest „spontanicznie złamana”, jak mówią fizycy) powoduje, że cząstki W^\pm i Z^0 mają masę, co z kolei jest przyczyną krótkiego zasięgu oddziaływań słabych (zgodnie z obowiązującymi obecnie poglądami, im większy jest zasięg jakichś sił, tym mniejsza jest masa przenoszących je cząstek. Nieskończony zasięg oddziaływań elektromagnetycznych i grawitacyjnych wymaga, żeby przenoszące je cząstki, fotony i grawitony, miały zerową masę). Aby uniknąć pewnych kłopotów występujących w teorii Salama-Weinberga, amerykański fizyk Sheldon Glashow wraz z Iliopoulosem i Maianim wprowadził na początku siedemdziesiątych lat tzw. prądy neutralne (Glashow był także autorem kilku artykułów, napisanych w latach sześćdziesiątych, które utorały drogę pracom Salama i Weinberga. To on w roku 1961 doszedł do wniosku, że dla jednolitego opisu oddziaływań elektroslabych potrzebna jest większa grupa cechowania niż $SU(2)$). W roku 1973 prądy neutralne zostały odkryte doświadczalnie. Odkrycie prądów neutralnych było silnym, ale nie decydującym potwierdzeniem słuszności teorii Salama-Weinberga. Mimo iż nie udawało się stwierdzić istnienia w przyrodzie bozonów W^\pm i Z^0 , w roku 1979 Salam, Weinberg i Glashow otrzymali za swoją teorię nagrodę Nobla. Trudności z odkryciem bozonów W^\pm i Z^0 były spowodowane tym, że cząstki te mają bardzo dużą masę — teoria Salama-Weinberga przewidywała dla nich masę rzędu 80—90 GeV/c².¹ Dla wytworzenia cząstek o tak dużych masach potrzebne są olbrzymie akceleratory. Po kilku latach przygotowań i pokonaniu wielu problemów organizacyjnych i technologicznych, korzystając z syn-

¹ W fizyce jądrowej przyjęło się wyrażać masę cząstek w jednostkach energii, co jest uzasadnione tym, że na mocy wzoru $E = mc^2$ energia E jest równoważna masie m (tutaj c jest prędkością światła w próżni, która wynosi prawie 300 000 KM/S. Natomiast Gigaelektronowolt (w skrócie GeV) jest ilością energii, jaką uzyska elektron po przejściu różnicy potencjału równej 1 miliardowi woltów. W tych jednostkach masa elektronu wynosi około 0,0005 GeV/c², czyli 500 000 elektronowoltów.

chrotronu przyspieszającego protony do energii 400 miliardów elektronowoltów, przystąpiono jesienią 1982 roku w ośrodku badań jądrowych CERN koło Genewy do poszukiwania bozonów pośredniczących w zderzeniach protonów z antyprotonami. W styczniu 1983 roku ogłoszono o odkryciu bozonów W^\pm , których zmierzona masa wynosiła $80 \text{ GeV}/c^2$, co bardzo dobrze zgadzało się z przewidywaniami teoretycznymi. Natomiast latem tegoż roku wyprodukowano bozony Z^0 o masie $90 \text{ GeV}/c^2$. Doświadczeniami tymi kierował włoski fizyk Claudio Rubbia. Wspólnie z holenderskim fizykiem Szymonem van der Meer, którego pomysł tzw. stochastycznego chłodzenia wykorzystano w doświadczeniach, otrzymał on w 1984 roku nagrodę Nobla. Odkrycie istnienia w przyrodzie cząstek pośredniczących było silnym dowodem na to, że teoria Salama-Weinberga poprawnie opisuje oddziaływania elektrosłabe. Na wyjaśnienie czeka jeszcze sprawa tzw. cząstek Higgsa, których obecności w przyrodzie dotychczas nie odkryto, a które trzeba wprowadzić do teorii „ręką”, aby uzyskać spontaniczne złamanie symetrii.

Po upływie blisko stu lat od połączenia przez Maxwella sił magnetycznych i elektrycznych w jedną całość, co dało początek niezliczonej ilości technicznych zastosowań sił elektromagnetycznych, dokonano kolejnego kroku ku zrozumieniu budowy przyrody: połączono w jedną całość oddziaływania słabe z elektromagnetycznymi.

W latach siedemdziesiątych zaczęto też tworzyć w sposób podobny do podejścia Salama-Weinberga teorię oddziaływań silnych. Powstała teoria ochrzczono mianem chromodynamiki, przez analogię z elektrodynamiką. Teoria ta tłumaczy istnienie sił jądrowych jako ciągłą wymianę przez składniki jądra cząstek zwanych gluonami (glue znaczy po angielsku klej), które niejako sklejają w jedną całość protony i neutrony. Chromodynamika przewiduje istnienie ośmiu rodzajów gluonów (siły elektrosłabe są przenoszone przez cząstki czterech rodzajów: foton, W^+ , W^- i Z^0). Pomimo niewątpliwych sukcesów (np. wyjaśnienie tzw. doświadczeń stanfordskich istnieniem asymptotycznej swobody, która polega na tym, że w miarę zmniejszania się odległości siły jądrowe stają się coraz słabsze) w chromodynamice istnieją jeszcze zarówno nierozwiązane problemy teoretyczne (np. problem podczerwonego uwięzienia kwarków), jak też brak jest np. dostatecznie pewnych doświadczeń potwierdzających istnienie gluonów.

Wzorując się na teorii Salama-Weinberga rozpoczęto w latach siedemdziesiątych budować teorie unifikujące oddziaływanie elektrosłabe z siłami jądrowymi. Jednak te tzw. teorie Wielkiej Unifikacji nie mają obecnie wielu związków z faktami doświadczalnymi, a nawet pewne modele oparte na grupie $SU(5)$ są sprzeczne z doświadczeniami przeprowadzonymi jesienią 1983 roku. Mianowicie, doświadczenia te nie wykazały istnienia przewidywanych przez teorię rozpadów protonów na elektrony i inne cząstki.

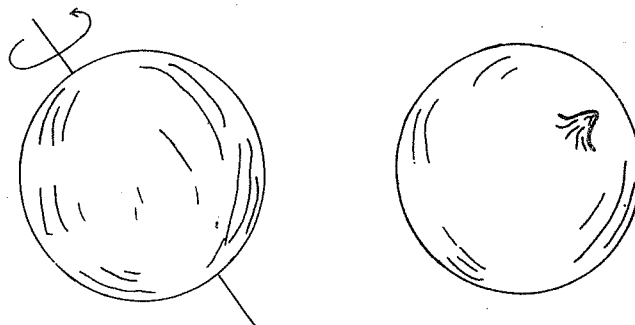
Pojawiły się również na początku lat osiemdziesiątych próby zunifikowania, w oparciu o tzw. supersymetrię (o czym jeszcze powiemy dalej), wszystkich oddziaływań, łącznie z grawitacyjnymi.

PIĄTA SIŁA

Jak wynika z tego, co powiedzieliśmy wyżej, fizycy teoretycy stworzyli obraz świata, który w dosyć zadowalający sposób opisuje istniejące w przyrodzie siły i który nie wymaga w zasadzie istnienia dodatkowych

oddziaływań. Co zatem skłoniło wymienioną na wstępie grupę fizyków do powtórnego przeanalizowania doświadczenia Eötvösa? Otóż kilku fizyków (wśród nich m.in. Fischbach i Aronson) zwróciło w serii prac opublikowanych w 1982 i 1983 roku uwagę na to, że wyniki doświadczeń przeprowadzonych w Laboratorium im. Fermiego z neutralnymi mezonami K , przedstawicielami rodziny kaonów, można interpretować jako wynik oddziaływania kaonów z jakimś zewnętrznym polem. Dane doświadczalne sugerowały, iż kwanty tego pola powinny mieć bardzo małą masę i mieć całkowity spin. W tym miejscu przypomnijmy, że wszystkie cząstki elementarne, występujące w przyrodzie, obdarzone są pewną właściwością o kwantowym charakterze nazywaną spinem. Jest to kwantowy odpowiednik momentu pędu znanego z mechaniki klasycznej. Spin może przyjmować jedynie dyskretne wartości będące tylko całkowitą ($1, 2, 3, \dots$) lub połówkową ($1/2, 3/2, 5/2, \dots$) wielokrotnością stałej Plancka $h = 6,6249 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$. Jak pokazali Bose, w szczególnym przypadku układu fotonów, co potem Einstein, Dirac i Fermi uogólnili na wszystkie cząstki, własności statystyczne cząstek o spinie całkowitym są diametralnie różne od własności cząstek o spinie połówkowym. Z tego powodu wszystkie cząstki należą do jednej z dwóch rodzin: jednej, o spinie całkowitym, których przedstawiciele nazywa się bozonami, i drugiej, o spinie połówkowym, której członków nazywa się fermionami. Na przykład elektrony, neutrino, kwarki mają spin równy $1/2$, a fotony, cząstki W^+ , W^- , Z^0 i gluony mają spin jeden. Cząstki przenoszące oddziaływania są tylko bozonami, natomiast pozostałe cząstki (czyli kwanty pól materii) są jedynie fermionami. Ponieważ wyniki doświadczeń z kaonami sugerowały, iż cząstki, do których one oddziałują, są bozonami i są podobne do kwantów pola grawitacyjnego, nasuwał się wniosek, że w przyrodzie może istnieć siła podobna do grawitacji, lecz dużo słabsza.

Drugim powodem ponownego rozważenia wyników Eötvösa były rozbieżności w wartościach przyspieszenia ziemskiego otrzymanych w laboratorium z wartościami dostarczonymi przez pomiary geofizyczne. Od dawna precyzyjne pomiary przyspieszenia ziemskiego lub fluktuacji pola magnetycznego wykorzystuje się w poszukiwaniach złóż bogactw naturalnych. W lipcu 1981 roku na łamach czasopisma „Nature” ukazał się artykuł napisany przez F. Stacey’a i G. Tucka z uniwersytetu w Brisbane w Australii zatytułowany *Geofizyczne oznaki istnienia nieniutonowskiej grawitacji*. Wykorzystując



Ryc. 1. Kula przechodzi sama w siebie w wyniku dowolnego obrotu — mówimy, że grupą symetrii kuli jest grupa obrotów. Natomiast wyróżnienie na powierzchni kuli pewnego obszaru po prawej stronie złamało symetrię obrotową. W teorii pola odpowiednikiem wyrzuczenia na prawej kuli jest różna od zera wartość próżniowa pola Higgsa.

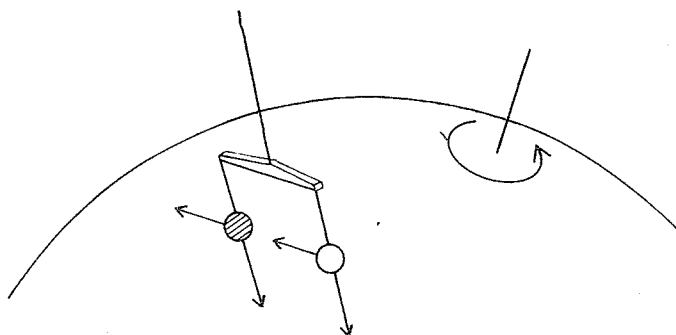
bardzo obszerne dane dotyczące przyspieszenia ziemskiego w Zatoce Meksykańskiej, dostarczone przez koncern naftowy Exxon, autorzy ci otrzymali wartość stałej grawitacyjnej o około jeden procent większą od otrzymywanej metodami laboratoryjnymi.

Również wyniki innych pomiarów geofizycznych zawsze dawały większą wartość stałej grawitacyjnej od wielkości otrzymywanej przy pomiarach na małych odległościach. Aczkolwiek trudności z oszacowaniem błędów nie pozwalały na jednoznaczne konkluzje, Stacey i Tuck wypowiedzieli przypuszczenie, że na odległościach rzędu kilkuset metrów do kilku kilometrów mogą występować odchylenia od prawa Newtona.

HRABIA EÖTVÖS I JEGO DOŚWIADCZENIE

Roland von Eötvös urodził się 27 lipca 1848 roku, w samym środku burzliwych wydarzeń Wiosny Ludów. Jego ojciec, baron Józef von Vasarosnemeny Eötvös, zajmował się polityką i poezją. Stworzył m.in. pod wrażeniem Powstania Listopadowego kilka utworów literackich, w których opiewał polską walkę o niepodległość i polski patriotyzm. W kwietniu 1848 roku został ministrem oświaty i wyznań religijnych w pierwszym niepodległym rządzie węgierskim. Gdy po kilkunastu miesiącach powstanie węgierskie upadło, Józef Eötvös musiał uciekać za granicę. W wieku 21 lat młody Eötvös wstąpił na uniwersytet w Heidelbergu, gdzie studiował fizykę i chemię. Przez pewien czas był też studentem uniwersytetu w Królewcu. Jego praca doktorska związana była z problemami względności i dotyczyła możliwości stwierdzenia ruchu względem eteru. W roku 1872 został profesorem uniwersytetu w Budapeszcie. W latach 1894–95 był ministrem oświaty; był także rektorem Uniwersytetu w Budapeszcie, który nosi obecnie imię Rolanda Eötvösa.

Wcześniejsze doświadczenia Eötvösa dotyczyły głównie zjawisk molekularnych. Pierwszą swoją pracę na temat grawitacji opublikował Eötvös w roku 1889 mając 41 lat. Od tego czasu przez kilkadziesiąt lat zajmował się badaniem przyciągania grawitacyjnego. W swoich doświadczeniach dotyczących grawitacji Eötvös sprawdzał, czy wszystkie ciała spadają z jednakowym przyspieszeniem, czym zajmował się m.in. Stevin w XVI wieku oraz Newton i Galileusz w wieku XVII. Chodziło o to, że masa występująca w drugiej zasadzie dynamiki Newtona, charakteryzująca bezwładność ciała, nie musi być równa masie występującej we wzorze na siłę grawitacyjną. Już Newton zdawał sobie sprawę z tego, że na pytanie o równość masy bezwładnej i masy grawita-

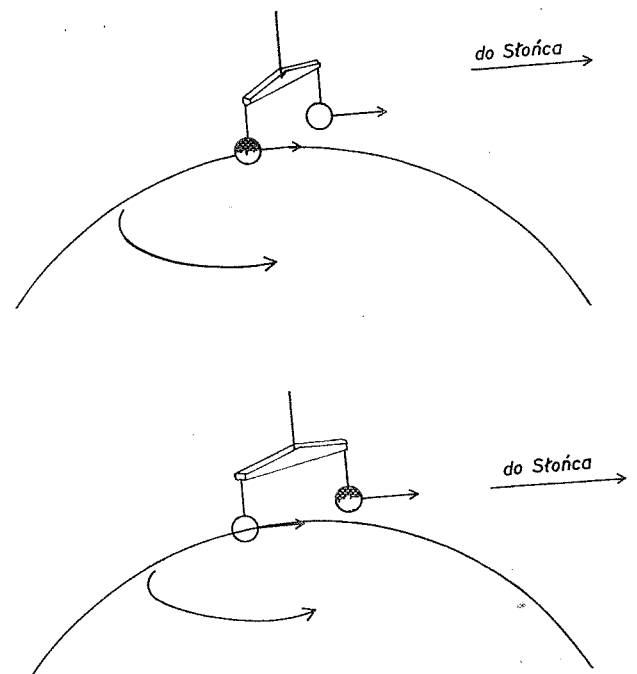


Ryc. 2. Idea doświadczenia Eötvösa. Dwa różne ciała zawieszono na wadze skreć. Podlegają one jednocześnie działaniu siły przyciągania ziemskiego i siły osrodkowej, spowodowanej obrotem Ziemi. Gdyby masy bezwładne i grawitacyjne nie były do siebie proporcjonalne w tym samym stosunku, waga ulegałaby skrećeniu.

cyjnej może odpowiedzieć tylko doświadczenie. To właśnie równość tych mas dla różnych ciał zapewnia, że spadają one z jednakowym przyspieszeniem. Równość masy grawitacyjnej i bezwładnej była dla Einsteina punktem wyjścia do zbudowania ogólnej teorii względności, która tłumaczy zjawiska grawitacyjne własnościami geometrycznymi zakrzywianej czasoprzestrzeni.

Eötvös porównywał ze sobą spadanie ciał zbudowanych z różnych substancji, m.in. miedzi z platyną, wody z miedzią, drewno węzownika z platyną, brązu z miedzią itd. Pomiary wykonywał za pomocą wagi skreć. W wyniku wieloletnich doświadczeń stwierdził on, że wymienione ciała spadają z przyspieszeniami różniącymi się o mniej niż 10^{-9} . Dokładność jego pomiarów była często kwestionowana, np. zwracano uwagę, że obecność w próbkach minimalnych ilości żelaza, podlegającego wpływowi ziemskiego pola magnetycznego, mogła wprowadzić znaczne zaburzenia do układu.

W roku 1964 profesor Robert Dicke z uniwersytetu w Princeton powtórzył wraz ze współpracownikami doświadczenie Eötvösa. W celu zmniejszenia wpływu na doświadczenie różnych przypadkowych zjawisk Dicke badał spadanie ciał na Słońce, a nie na Ziemię. Aby wyeliminować wpływ ruchów powietrza na aparaturę pomiarową, część urządzeń umieszczono w wysokiej próżni, a oddziaływanie ciężarków z polem magnetycznym wyeliminowano przez odpowiednią obróbkę cieplną próbek. W trwającym kilka miesięcy doświadczeniu nie zaobserwowano dostrzegalnego obrotu wagi skreć i stwierdzono, że z dokładnością do jednej dziesięciomiliardowej przyspieszenie miedzi i ołowiu jest jednakowe. W roku 1971 Braginski z uniwersytetu w Moskwie poprawił o rząd dokładność pomiarów przeprowadzonych w Princeton.



Ryc. 3. Idea doświadczenia Dicke'a. Dla uproszczenia przedstawiono doświadczenie przeprowadzone na biegunie północnym. Na górnym rysunku czarny ciężarek unoszony jest wskutek obrotu Ziemi ku Słońcu. Na dolnym rysunku, przedstawiającym sytuację 12 godzin później, czarny ciężarek oddala się od Słońca. Gdyby różne ciała doznawały różnego przyspieszenia grawitacyjnego, w drganiach wagi skreć dałoby się wydzielić ruch o okresie 24 godzin. W ciągu trwających kilka miesięcy obserwacji, Dicke i jego współpracownicy nie zaobserwowali tego typu efektów.

PONOWNA ANALIZA WYNIKÓW EÖTVÖSA

Fischbach wraz z kolegami wykorzystali wyniki pomiarów, zawarte w pracy Eötvösa, do uzasadnienia istnienia nowej siły. Przyspieszenia badanych ciał różniły się między sobą minimalnie. Np. przyspieszenie spadania platyny było o 4 miliardowe części średniego przyspieszenia ziemskiego mniejsze od przyspieszenia miedzi, ale o 1 miliardową część większe od przyspieszenia drewna wężownika. Te drobne różnice w spadaniu ciał na Ziemię Fischbach ze współpracownikami powiązali z różnicami ilości barionów²⁾ w porównywanych parach próbek: we wszystkich przypadkach z większym przyspieszeniem spadało to ciało, które zawierało więcej barionów. Różnica przyspieszeń zależała od różnicy liczb barionowych (w granicach błędów pomiarowych) w sposób liniowy i miałyby być spowodowana przez siłę nowego rodzaju.

Energia związana z oddziaływaniem grawitacyjnym dwóch ciał o masach m_1 i m_2 , znajdujących się w odległości r od siebie wyraża się wzorem

$$U(r) = -G \frac{m_1 m_2}{r} \quad (1)$$

Fischbach z kolegami założył, że energia potencjalna dwóch obiektów oddalonych od siebie o r i składających się odpowiednio z B_1 i B_2 barionów, związana z nowym oddziaływaniem wyraża się wzorem

$$U_B(r) = f^2 B_1 B_2 e^{-r/\lambda} \quad (2)$$

Tutaj f jest odpowiednikiem stałej grawitacyjnej Newtona G , a λ jest z grubsza mówiąc, odległością, na której nowa siła może być istotna. Ponieważ we wzorze (2) po prawej stronie jest plus, w przeciwieństwie do wzoru (1), siła barionowa powoduje odpychanie się ciał. Pomiaru geofizyczne dają następujące wartości:

$$f^2 = (8 \pm 3) 10^{-39} e^2, \quad \lambda = 200 \text{ metrów},$$

gdzie e jest ładunkiem elektronu wyrażonym w układzie jednostek Gaussa. Cząstki przenoszące oddziaływania barionowe nazwano hiperfotonami. Jak wspomnieliśmy wcześniej, zasięg oddziaływania związany jest z masą przenoszących je kwantów. Podana wyżej wartość 200 m odpowiada masie hiperfotonów rzędu 10^{-9} eV/c², a więc jest ona znikomo mała.

Odpychający charakter piątej siły pozwala zrozumieć, dlaczego pomiary geofizyczne dają większą wartość przyspieszenia ziemskiego od pomiarów przeprowadzonych w laboratorium. Mianowicie, jak widać z wzorów (1) i (2), odpychanie barionowe dużo szybciej maleje z odległością niż przyciąganie grawitacyjne i dlatego efektywnie w skali laboratoryjnej (małe r) przyciąganie się ciał jest mniejsze niż w obszarze pomiarów geofizycznych (duże r).

Mówiliśmy poprzednio, że jednym z powodów analizy przeprowadzonej przez Fischbacha i jego kolegów były trudności z teoretyczną interpretacją pewnych doświadczeń przeprowadzonych z mezonami K . Ponieważ kaony mają zerową liczbę barionową, Fischbach i jego współpracownicy przyjęli, iż wzór (2) opisuje oddziaływanie materii obdarzonej tzw. hiperładunkiem. Hiperładunek Y jest sumą liczby barionowej A i tzw. dziwności S : $Y = A + S$. Dziwność została wprowadzona do fizyki przez

Gell-Manna i Nishijime na początku lat sześćdziesiątych, aby wytłumaczyć „dziwne” zachowanie się cząstek K , Σ i Λ , które nienormalnie długo żyły. Mezonom K^+ i K^0 przypisano dziwność równą 1; mezony K^- i K^0 (anty- K^0), Λ^0 i Σ mają dziwność -1 , natomiast protony, neutrony mezony mają dziwność równą zero. W ten sposób po zastąpieniu B przez Y wzór (2) będzie opisywał oddziaływanie zarówno zwykłej materii („niedziwnej”), jak i oddziaływanie niektórych mezonów posiadających niezerową dziwność. Analiza zjawisk, w których obecność siły (2) mogłaby się przejawiać w świetle mezonów K , została przedstawiona przez S. Aronsona, H.-Y. Chenga, E. Fischbacha i W. Haxtona w artykule *Eksperymentalne sygnały istnienia hiperfotonów*, który ukazał się na wiosnę 1986 r. w „Physical Review Letters”.

Zauważmy, że w doświadczeniach Dicke'a i Braginskiego nie można było zaobserwować efektów pochodzących od piątej siły, gdyż w eksperymentach tych badano spadanie ciał na Słońce, a więc wchodziły w grę odległości znacznie większe od 200 metrów.

SUPERSYMETRIA, SUPERGRAWITACJA I ... ANTYGRAWITACJA

W roku 1977 francuski fizyk Joel Scherk wysunął na łamach październikowego numeru czasopisma „La Recherche” przypuszczenie, że może istnieć antygravitacja, tzn. mechanizm kompensujący przyciąganie grawitacyjne. Podstawy do takich przypuszczeń znalazł on w tzw. supersymetrycznych teoriach pola, które były wówczas przedmiotem intensywnych badań teoretycznych.

Supersymetria została wymyślona w 1971 roku przez radzieckich fizyków Golfanda i Lichtmana, którzy poszukiwali uogólnień tzw. grupy Poincarégo opisującej symetrię czasoprzestrzeni. W dwa lata później Wess i Zumino, starając się uogólnić na cztery wymiary pewne przekształcenia znane w tzw. dualnych modelach hadronów, w niezależny sposób doszli do idei supersymetrii. Bez uciekania się do formuł matematycznych można powiedzieć, iż supersymetria polega na tym, że w pewnych układach, będących bardzo specjalną kombinacją cząstek, nic się nie zmieni w wyniku zamienienia bozonów i fermionów miejscami. Innymi słowy mówiąc, są do pomysłenia układy cząstek symetryczne ze względu na podstawienie w miejsce bozonów cząstek o spinie połówkowym, a w miejsce fermionów cząstek o spinie całkowitym. Gdybyśmy chcieli tego podstawienia dokonywać w każdym punkcie czasoprzestrzeni w nieco inny sposób (lokalnie, jak mówią fizycy), musielibyśmy wprowadzić między cząstkami układu oddziaływanie grawitacyjne. Taka lokalna supersymetria nazywana jest supergravitacją. Każdej cząstce o spinie j supersymetria przypisuje partnera, który ma spin $j + 1/2$ lub $j - 1/2$. Fizycy wymyślili dwa sposoby nadawania nazw tym cząstkom (co jest być może przykładem zastosowania filozoficznej zasady głoszącej, że coś istnieje, gdy zostało nazwane). Mianowicie, nazwę supersymetrycznego partnera otrzymuje się zmieniając końcówkę pierwotnej nazwy na „ino”, a więc na przykład supersymetryczny „brat” fotonu to fotino, „bracia” gluonów to gluina, itd., lub też dodając na początku nazwy literę „s” (od przymiotnika „supersymetryczny”), np. kwark — skwark, lepton — slepton. Dotychczas nie odkryto żadnych doświadczalnych oznak istnienia w przyrodzie tych cząstek.³⁾ Wytłumaczeniem tego może być to, że supersy-

²⁾ Bariony to cząstki silnie oddziałujące o spinie połówkowym. Na przykład protony i neutrony są barionami. W przyrodzie obowiązuje zasada zachowania liczby barionowej, która dla barionów jest równa $+1$, a dla antybarionów -1 .

³⁾ Wiosną 1984 roku pojawiły się doniesienia o zaobserwowaniu w CERN-ie kilku przypadków zderzeń, w których nie można było

metria nie przejawia się przy tych energiach, które możemy obecnie osiągnąć w akceleratorach. Najbardziej pesymistyczne oszacowania mówią, że akceleratory zdolne przyspieszyć cząstki do takich energii, aby supersymetria stała się widoczna, powinny być rozmiarów galaktyki.

Po tej dygresji na temat supersymetrii wróćmy do Scherka i jego antygravitacji. W rozważanej przez niego teorii można było zmieniając wartość parametru zwanego stałą sprzężenia uzyskać częściowe lub nawet całkowite skompensowanie siły ciężenia. Cząstka przenosząca takie oddziaływania musi mieć spin równy jeden, gdyż w teorii pola można udowodnić, że bozony przenoszące siły przyciągające muszą mieć spin parzysty, a cząstki przenoszące siły o charakterze odpychającym muszą mieć spin nieparzysty. Z tego powodu cząstka postulowana przez Scherka miałaby spin równy jeden — czyli byłby to, jak mówią fizycy, bozon wektorowy. Jak pokazał Scherk, bezmasowość cząstki przenoszącej antygravitację prowadziłyby do tego, że różnica przyspieszenia spadania na Ziemię np. wodoru i helu byłaby rzędu jednej milionowej, co jest w sprzeczności z wynikami Eötvösa. Dla uratowania idei antygravitacji Scherk założył, że cząstka przenosząca odpychanie musi mieć niezerową masę. Bozon wektorowy można obdarzyć masą za pomocą tzw. mechanizmu Higgsa. Zakładając, że wartość próżniowa pola Higgsa jest spowodowana spontanicznym łamaniem symetrii oddziaływań elektroślabych, Scherk otrzymał na masę cząstki przenoszącej antygravitację wartość rzędu 10^{-10} eV/c², co odpowiada zasięgowi siły rzędu 1 kilometra. Jak widzimy, pokrywa się to całkiem dobrze z rezultatami analizy Fischbacha i jego kolegów. W ten sposób, w razie potwierdzenia istnienia w przyrodzie piątej siły, idee supersymetrii mogłyby zostać po raz pierwszy powiązane z faktami doświadczalnymi. Scherk, niestety, nie mógł być świadkiem pojawienia się pracy Fischbacha i jego współpracowników, gdyż zmarł w roku 1980 w wieku czterdziestu lat. Dodajmy, że Scherk swoje rozważania zaliczał raczej do science fiction niż do nauki.

CZY TO WSZYSTKO JEST PRAWDA?

Na zakończenie zostaje nam zastanowić się nad tym, czy z „szumu” wywołanego pracą Fischbacha i innych coś zostanie za np. pięć lat. Może całe zainteresowanie tą sprawą wkrótce minie, tak jak miało w przeszłości,

po przeprowadzeniu dokładniejszych doświadczeń, podniecenie wywołane doniesieniami o odkryciu kwarków czy monopolu magnetycznych.

Znaczna część artykułów, które pojawiły się po pracy Fischbacha i jego współpracowników, odnosi się sceptycznie do przedstawionych przez nich dowodów istnienia piątej siły. Najczęściej podnoszona jest kwestia systematycznych błędów w pomiarach Eötvösa. Wśród pomysłów wytłumaczenia wyników Eötvösa w ramach konwencjonalnej fizyki trzeba wymienić prace S. Y. Chou i R. Dicke'a. Według nich obecność różnic temperatur w aparaturze Eötvösa powodowałaby wywieranie różnych ciśnień na badane próbki. Fischbach z kolegami broni się przed tym zarzutem pytając, dlaczego różnice temperatur miałyby być zawsze takie same, niezależnie od pory dnia lub roku podczas trwających kilka lat pomiarów. Poza tym mechanizm Chou-Dicke'a prowadziłby raczej do związku różnic przyspieszenia z gęstością ciał, a nie z liczbą barionową. Z kolei P. T. Keyser, T. Niebauer i J. E. Faller zwrócili uwagę, że obecność w próbkach minimalnych ilości promieniotwórczego radu mogła powodować zawsze takie samo podgrzewanie pewnych części aparatury pomiarowej. Niekiedy wypowiadano też (prywatnie) argumenty o nienaukowym charakterze, a mianowicie mówiono, że Fischbach i jego koledzy to hochsztaplerzy, a nie poważni fizycy.

Ostateczna odpowiedź na pytanie, czy w przyrodzie naprawdę istnieje piąta siła, należy do doświadczenia. Niektóre doświadczenia już rozpoczęto, jednak liczne eksperymenty są dopiero przygotowywane. Na przykład w CERN-ie grupa fizyków z Rubbia na czele ma zamiar powtórzyć doświadczenie Eötvösa używając detektora fal grawitacyjnych. Zaproponowano również doświadczenia polegające na pomiarze różnicy mas protonu (liczba barionowa 1) i antyprotonu (liczba barionowa -1); planuje się też wykonanie pomiarów przy wykorzystaniu sztucznych satelitów Ziemi.

W ciągu kilku najbliższych miesięcy powinna być znana odpowiedź na pytanie postawione w tytule niniejszego artykułu. Nie ulega wątpliwości, że ewentualny pozytywny wynik doświadczeń spowoduje sporą modyfikację w naszym obrazie świata.

Wpłynęło 18 II.87 r.

Dr Marek Wolf jest adiunktem w Instytucie Fizyki Teoretycznej UW.

STANISŁAW KOHLMÜNZER (Kraków)

POLISACHARYDY GRZYBOWE JAKO ZWIĄZKI BIOLOGICZNIE CZYNNY

W świecie roślinnym polisacharydy są związkami powszechnie występującymi. Celuloza — polimer glukozy jest najbardziej rozpowszechnionym związkiem naturalnym.

W zidentyfikować cząstek unoszących ze sobą znaczną ilość energii. Pojawily się spekulacje, iż być może te nowe cząstki są bozonami Higgsa albo też są to cząstki supersymetryczne.

Polisacharydy roślin niższych (zarodnikowych) są na ogół odmiennie zbudowane, jeżeli chodzi o skład cukrowy, od polisacharydów roślin kwiatowych. Najbardziej rozpowszechnione i stosunkowo najlepiej charakteryzowane polisacharydy roślin zarodnikowych są zestawione w tab. 1.

Przedstawiono w niej ważniejsze polisacharydy sta-