

MICHAŁ TEMPCZYK

Odważny program jedności fizyki

Jednym z najważniejszych zadań nauk przyrodniczych jest porządkowanie bogactwa zjawisk otaczającego nas świata, poszukiwanie podobieństw, klasyfikowanie, odkrywanie ukrytych mechanizmów itp. Dzięki tym działaniom naukowy obraz materii staje się coraz prostszy i coraz bardziej jednolity. Najbardziej skuteczną, sprawdzoną i do niedawna prawie jedyną strategią postępowania w kierunku poznania jedności świata przyrody był mikroredukcjonizm. Jest to metoda badawcza polegająca na rozłożeniu obiektów złożonych na ich części, dokładnym poznaniu własności tych części i budowy całości oraz na odtworzeniu na podstawie tej wiedzy własności i działania wyjściowych całości. Metodą tą posługują się przedstawiciele niemal wszystkich dziedzin przyrodoznawstwa, lecz największe osiągnięcia na drodze poszukiwania podstawowych, ogólnych składników materii oraz poznawania ich własności i oddziaływań uzyskały chemia i fizyka. Dzięki chemii wiemy obecnie, że wszystkie substancje występujące w naszym otoczeniu składają się z atomów 92 pierwiastków, poznaliśmy atomowy skład tych substancji i uczeni potrafią projektować oraz wytwarzać związki niewystępujące w przyrodzie w stanie naturalnym. Można metaforycznie powiedzieć, iż budowa materii na poziomie atomowym nie kryje w sobie żadnych ważnych tajemnic. Wiedza w tej dziedzinie nie jest wprawdzie kompletna i nigdy taka nie będzie, jednak uczeni nie spodziewają się żadnych niespodzianek. Są przekonani, że ogólne prawa chemii i własności atomów są dobrze poznane i chemii nie grożą żadne poważne trudności ani rewolucje.

Starożytni atomiści byli przekonani, iż na atomach wiedza o budowie materii się kończy, ponieważ są one niepodzielne, niezniszczalne i nie mają części. Pogląd ten okazał się fałszywy i dzięki rozwojowi fizyki w ostatnich stu latach uczeni poznali budowę atomów, jąder atomowych, cząstek elementarnych i ich składników, dlatego obecnie są pewni, że droga schodzenia na coraz niższe poziomy budowy materii już się skończyła, ponieważ te najmniejsze cegiełki materii, które są przedmiotem ich badań, nie posiadają części i dzięki temu tworzą najniższy możliwy poziom struktury całego świata przyrody. Dzięki temu mikroredukcjonistyczna metoda poznawania świata doszła do swojego kresu, dlatego warto zastanowić się nad tym, jaki obraz świata powstał w efekcie jej zastosowania i zadać pytanie, czy i w jaki sposób nauka może poszukiwać jeszcze ogólniejszej i głębszej jedności materii. Jest to pytanie niezwykle ważne, ponieważ świat podstawowych składników materii, ich własności i oddziaływań, nie jest wcale prosty ani jednolity. Aby się o tym przekonać, przyjrzymy się pod tym kątem najważniejszym założeniom powszechnie obecnie akceptowanej teorii cząstek elementarnych, nazywanej Modelem Standardowym [Perkins, 2004].

Zacniemy od pytania o liczbę rodzajów cząstek elementarnych, które dzielą się na kilka grup. Najważniejsze są dwie grupy – leptoni i kwarki. Leptonów jest sześć: elektron i neutrino elektronowe, mion i neutrino mionowe oraz taon i jego neutrino. Tak naprawdę jest ich dwanaście, ponieważ każda z tych cząstek ma swoją antycząstkę; na przykład antycząstką elektronu jest pozyton. Kwarków także jest sześć i mają one swoje antycząstki. Do tych rodzin należy dodać grupę ośmiu gluonów, które są nośnikami oddziaływań kolorowych zachodzących między kwarkami. W rezultacie składników tych trzech podstawowych rodzin i ich antycząstek jest czterdzieści, lecz na tym nie koniec, ponieważ do tych cząstek należy jeszcze dodać foton, który jest nośnikiem sił elektromagnetycznych, oraz postulowany przez kwantową teorię grawitacji grawiton, którego dotychczas nie zaobserwowano. Teoria oddziaływań elektroslabych, która stanowi ważny składnik Modelu Standardowego i o której będzie mowa poniżej, jest oparta na bozonach pośredniczących W^+ , W^- i Z^0 , które są niezależnymi cząstkami elementarnymi. W sumie Model Standardowy zakłada istnienie

czterdziestu pięciu rodzajów podstawowych składników materii, z których są zbudowane wszystkie pozostałe ciała fizyczne lub które są nośnikami wszystkich sił przyrody. Istnienie tych cząstek jest dobrze potwierdzone, lecz na tym sprawa się nie kończy, ponieważ fizykom bardzo potrzebny jest bozon Higgsa, którego poszukują już 50 lat. Niedawny eksperyment przeprowadzony w CERN, o którym będzie dalej mowa, pozwala wierzyć, że bozon ten rzeczywiście istnieje. Jednorazowy rezultat nie wystarcza do uznania istnienia poszukiwanej cząstki, dlatego fizycy rozpoczęli przebudowę akceleratora w CERN, prowadzącą do zwiększenia jego mocy. Dzięki temu będzie można przeprowadzić eksperyment dla większego przedziału energii zderzeń. Mają oni nadzieję na pozytywny wynik. Brak takiego wyniku byłby powodem ogromnego zamieszania i podstawowych wątpliwości dotyczących Modelu Standardowego.

Na podaną powyżej liczbę można spojrzeć dwojako. Z jednej strony jest to mało w porównaniu z bogactwem atomów, związków chemicznych i rodzajów ciał znanych nam z codziennego doświadczenia, dlatego fizycy mogą być zadowoleni, że udało im się poznać i opisać w jednolity, spójny sposób podstawową warstwę budowy świata fizycznego. Jednak z drugiej strony ten obraz daleki jest od jedności, gdy przez jedność rozumiemy ideał odkrycia i zbadania jednakowej natury tych wszystkich cząstek. Kwarki, gluony, leptony, bozony pośredniczące i fotony to zbiór obiektów bardzo różniących się pod względem mas, spinów, ładunków elektrycznych i rodzajów oddziaływań, w których biorą udział. Można zatem powiedzieć, że materia na tym podstawowym poziomie nie jest wcale taka jednolita, jak mogliby tego chcieć uczeni. Bardziej jednorodny i prostszy jest na przykład poziom budowy wewnętrznej atomów, które składają się z trzech rodzajów składników – elektronów, protonów i neutronów. W porównaniu z nim obraz czterdziestu pięciu rodzajów cząstek, pomiędzy którymi nieustannie zachodzą intensywne procesy oddziaływań, wzajemnych przemian i rozpadów, wydaje się być skomplikowany i zachęca do dalszych prób jego uproszczenia.

Do tego bogactwa podstawowych składników materii należy dodać różnorodność czterech fundamentalnych oddziaływań: elektromagnetycznego, słabego, silnego i grawitacyjnego. Sprowadzenie wszystkich sił

przyrody do tych czterech rodzajów i ich kombinacji jest ważnym osiągnięciem, lecz podobnie jak w przypadku liczby podstawowych rodzajów cząstek, maksymalistycznie pojmowany ideał jedności przyrody skłania fizyków do poszukiwania ich wspólnej podstawy. W tej dziedzinie mają oni konkretny program i ważne sukcesy w jego realizacji. Podstawową ideą tego programu jest przekonanie, że oddziaływania, które w skali dużych odległości i stosunkowo niskich energii objawiają się jako różne, mają w istocie wspólne pochodzenie, są różnymi aspektami tej samej siły. Pod koniec lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku udało się fizykom sformułować teorię łączącą elektromagnetyzm i oddziaływania słabe w jedno oddziaływanie nazwane elektroslabym [Strzałkowski, 1996, rozdz. 7]. Teoria ta przewidywała istnienie bozonów pośredniczących W^+ , W^- , Z^0 i szybko została potwierdzona eksperymentalnie. Uczeni, zachęcani jej sukcesem, pracują obecnie nad jednolitą teorią oddziaływań elektroslabych i silnych. Teorię tę nazywają Teorią Wielkiej Unifikacji. Jej zadaniem jest połączenie oddziaływań silnych i elektroslabych w jedną siłę. Połączenie to zaciera podstawową w aktualnym Modelu Standardowym różnicę między leptonami i hadronami, dlatego jedną z konsekwencji teorii jest możliwość rozpadu protonu na leptony. Rozpad ten jest wprawdzie bardzo mało prawdopodobny, postulowany przez Teorię Wielkiej Unifikacji czas życia protonu jest ogromny, rzędu 10^{30} lat, tym niemniej zjawisko takie mogłoby być zaobserwowane i fizycy podjęli starania zmierzające do jego zarejestrowania [Perkins, 2004, s. 283–286]. Ponieważ nie zaobserwowano przewidywanych rozpadów protonu, uważa się obecnie, że jego czas życia przekracza okres 10^{31} lat i tak mało prawdopodobnego rozpadu tej cząstki nie można zaobserwować z powodu niedających się wyeliminować zakłóceń wszelkich pomiarów.

Proponowany przez Model Standardowy program połączenia trzech sił przyrody w jedną jest niezadowolający, ponieważ nie obejmuje on grawitacji. Kłopoty z grawitacją są dwojakiego rodzaju. Po pierwsze, mimo kilkudziesięciu lat wysiłków nie udało się stworzyć kwantowej teorii tej siły. Dążenie do jednolitego opisu różnych oddziaływań jest możliwe tylko wtedy, gdy mają one podobną strukturę matematyczną. Trzy najważniejsze dla cząstek elementarnych siły mają teorie oparte na formalizmie grup

cechowania i dzięki temu można formułować uogólniające je teorie jednolite, jak miało to miejsce w przypadku teorii sił elektroslabych. Grawitacja jest wciąż oddziaływaniem opisanym przez teorię makroskopową i nie daje się włączyć do fizyki kwantowej. Fizycy, przekonani, że wszystkie procesy są w istocie kwantowe, różnymi drogami zmierzają do kwantowej teorii grawitacji, lecz uzyskane dotąd rezultaty nie są zadowalające. Coraz silniejsze jest przekonanie, że grawitacja jest makroskopowym przejawem procesów zachodzących na odległościach, dla których klasyczne pojęcia geometrii różniczkowej tracą sens, dlatego stosowane dotychczas metody jej kwantowania są nieodpowiednie [Heller, 2001].

Drugą przeszkodą na drodze kwantowania grawitacji jest brak potwierdzenia istnienia grawitonów. Zgodnie z prawami fizyki kwantowej każde oddziaływanie musi mieć swoje zindywidualizowane nośniki, takie jak fotony dla elektromagnetyzmu i gluony dla sił łączących kwarki. Gdyby udało się zaobserwować grawitony, byłoby to potwierdzeniem słuszności przekonania o kwantowej naturze grawitacji. Brak przekonujących obserwacji i istotnych wyników teoretycznych prowadzi do pytania, czy powszechne przekonanie fizyków, iż wszystkie siły przyrody muszą mieć naturę kwantową i wspólne pochodzenie, jest uzasadnione. Z powyższych powodów grawitacja nie mieści się w należącym do Modelu Standardowego schemacie tworzenia jednolitej teorii oddziaływań podstawowych. Nie wynika z tego, że fizycy zrezygnowali z programu jedności wszystkich sił. Jednak, chcąc odkryć i opisać tę jedność, muszą korzystać z metod wykraczających poza akceptowaną powszechnie teorię cząstek i oddziaływań podstawowych. Takim znacznie bardziej radykalnym kierunkiem badań jest teoria superstrun, o której będzie dalej mowa.

Omawiając unifikujące aspekty Modelu Standardowego, należy wspomnieć o koncepcji pola Higgsa. Jest ona próbą przezwyciężenia kłopotów kwantowej teorii oddziaływań słabych, wynikających z tego, że przy teoretycznych wyliczeniach przekrojów czynnych otrzymuje się pozbawione sensu fizycznego wielkości zbyt duże, z którymi fizycy muszą sobie jakoś radzić. Metodę rozwiązania problemu zaproponował w 1964 roku Peter Higgs, wysuwając hipotezę istnienia dodatkowego pola oddziaływań bardziej podstawowych od trzech znanych sił. Na jego cześć nazwa-

no je polem Higgsa, a jego nośnik otrzymał nazwę bozonu Higgsa. Pole to jest odpowiedzialne za masę wszystkich obserwowanych cząstek. Cząstki, takie jak elektrony i kwarki, traktuje się w teorii jako bezmasowe, dzięki czemu unika się wspomnianych trudności teoretycznych, natomiast obserwowana masa tych cząstek pojawia się w rezultacie ich oddziaływania z bozonami Higgsa. Bozony te w matematycznym schemacie teorii oddziaływań słabych pełnią tak ważną funkcję, iż fizycy prędko uwierzyli w ich istnienie i zaczęli przeprowadzać eksperymenty zmierzające do ich wykrycia. Jednak czterdzieści lat poszukiwań, prowadzonych przy użyciu coraz silniejszych akceleratorów, z których niektóre były konstruowane głównie z myślą o tym zadaniu [Kane, 2006, rozdz. 7], nie dało oczekiwanych rezultatów. Mimo to bozony Higgsa są ważnym elementem Modelu Standardowego [Perkins, 2004, rozdz. 8] i uczeni wcale nie zamierzają z nich rezygnować, ponieważ mają nadzieję, że w końcu cząstka Higgsa zostanie wyprodukowana w akceleratorze i zaobserwowana.

Z interesującego nas punktu widzenia jedności fizycznego obrazu materii koncepcja bozonu Higgsa jest ciekawa, ponieważ rozpoczyna opis cząstek elementarnych od stanu, w którym wszystkie cząstki są pozbawione masy. Masa jest wielkością silnie różnicującą cząstki; aby się o tym przekonać, wystarczy zobaczyć, jak bardzo różne są masa elektronu i masy najcięższych hadronów, wytwarzanych w najsilniejszych akceleratorach. Potraktowanie masy jako wielkości wtórnej ujednolici pod tym względem wszystkie podstawowe składniki materii. Różnice ładunków elektrycznych i spinów poszczególnych rodzajów cząstek są znacznie mniejsze niż różnice ich mas. Niestety, wadą koncepcji opartej na polu Higgsa jest to, iż nie można, korzystając z niej, wyjaśnić dużych różnic mas poszczególnych typów cząstek.

Podsumujmy krótko obraz podstawowego poziomu budowy materii, proponowany przez powszechnie uznawaną teorię cząstek elementarnych. W obrazie tym mamy kilkadziesiąt różnych i niezależnych od siebie rodzajów cząstek. Ich własności są bardzo zróżnicowane, chociaż tworzą one kilka rodzin łączących w sobie cząstki podobne. Do tego bogactwa fundamentalnych składników materii dodajmy dwa oddziaływania – elektrosłabe i silne – których jednolitej teorii jeszcze nie ma, oraz grawitację, z którą

w tej dziedzinie fizycy nie mogą sobie poradzić. W związku z tym można powiedzieć, że jest to obraz daleki od ideału jedności, o którym marzą fizycy. Dodatkowym czynnikiem komplikującym sytuację jest to, że większość podstawowych liczbowych charakterystyk cząstek jest znana jedynie z obserwacji i nie ma w ramach teorii żadnego wyjaśnienia. Chodzi przede wszystkim o masy cząstek, których uczeni w żaden sposób nie potrafią powiązać ze sobą. Mówią oni wprawdzie czasami, że teoria przewiduje związki między masami, lecz są to przewidywania w najlepszym razie jakościowe, a nie ilościowe. Na przykład masy kolejnych kwarków są coraz większe, lecz ich wielkości i ogromnych różnic nie można przewidywać.

Podobnie jest z liczbą kwarków i leptonów. Fizycy potrafią przedstawić argumenty, że kwarków i leptonów powinno być tyle samo, lecz nie wiadomo, dlaczego jest ich sześć i dlaczego grupują się one w pary. Przytaczane przez badaczy argumenty mają charakter perswazyjny i nie są dowodami, ponieważ nie wiadomo, na podstawie jakich przesłanek można byłoby dowody takie przeprowadzić. W rezultacie Model Standardowy korzysta z dużej liczby wielkości znanych jedynie z doświadczenia, których natury nie można opisać w jego ramach.

Sytuację tę można potraktować dwojako. Z jednej strony jest ona typowa dla nauk przyrodniczych. Cząstki elementarne są określoną dziedziną badań empirycznych i ich teoria musi być oparta na uogólnieniach obserwowanych faktów, dlatego musi zawierać wiele danych wziętych z obserwacji. Z tego powodu na przykład pytanie o uzasadnienie liczby leptonów nie ma sensu, podobnie jak pytanie o to, dlaczego w Polsce występuje określona liczba gatunków nietoperzy. Po prostu tyle jest leptonów i kwarków, ile zaobserwowano. Uzasadnienia tej liczby należałoby poszukiwać, schodząc na głębszy poziom wiedzy o materii, a w tym wypadku poziomu takiego nie ma. W chemii liczbę pierwiastków, ich własności i powiązania rozumiano dopiero po sformułowaniu kwantowej teorii atomów, opartej na wiedzy o ich budowie. Badane cząstki elementarne są, zdaniem fizyków, naprawdę ‘elementarne’, dlatego ta droga wyjaśniania jest już zamknięta. Podobny empiryczny charakter mają podstawowe założenia Modelu Standardowego. Traktując tę teorię jako graniczną teorię fizyczną,

rezygnujemy z możliwości jej głębszego uzasadnienia i jednolitego uporządkowania.

Takie realistyczne podejście do zagadnienia nie zadowala jednak wszystkich uczonych. Chcieliby oni stworzyć teorię znacznie głębszą, ogólniejszą matematycznie i zawierającą minimalną liczbę założeń empirycznych. Teoria taka musiałaby startować z bardziej jednolitego obrazu materii, wyjaśniając wiele faktów, obecnie przyjmowanych jako uogólnienia empiryczne. Spośród podejmowanych przez fizyków prób tego rodzaju najpoważniejszą i najbardziej rozwiniętą jest teoria supersymetrii, którą się obecnie zajmujemy.

Jedną z fundamentalnych wielkości charakteryzujących cząstki jest spin, który w jednostkach stałej Plancka może przybierać wartości połówkowe ($1/2$, $3/2$, ...) lub całkowite (0 , 1 , 2 , ...). Cząstki o spinie połówkowym podlegają statystyce Fermiego-Diraca, dlatego nazywa się je fermionami, natomiast cząstki o spinie całkowitym zachowują się zgodnie ze statystyką Bosego-Einsteina, stąd ich nazwa – bozony. Podział cząstek na fermiony i bozony oraz związane z nim odmienne zachowanie cząstek obu rodzajów jest jednym z najważniejszych faktów Modelu Standardowego. W ramach tego modelu nie można go ani uzasadnić, ani dążyć do jego przezwyciężenia, jednak fizycy pracujący nad teorią cząstek zaczęli w pewnym okresie zdawać sobie sprawę z tego, iż jednolite potraktowanie fermionów i bozonów pozwoliłoby przezwyciężyć kilka ważnych trudności tworzonej przez nich teorii. Innymi słowy, okazało się, że teoria traktująca fermiony i bozony jako cząstki jednakowo zachowujące się w oddziaływaniach miałaby pod kilkoma względami przewagę nad Modelem Standardowym. W ten sposób pojawiła się i zaczęła funkcjonować w fizyce cząstek idea supersymetrii jako opisanie cząstek i ich własności na poziomie, na którym różnica między fermionami i bozonami przestaje mieć charakter fundamentalny i nieprzekraczalny. Zaczęto badać superalgebry, czyli algebry złożone z dwóch części, z których jedna opisuje cząstki podlegające statystyce Fermiego-Diraca, a druga – statystyce Bosego-Einsteina. Pomiędzy tymi częściami istnieją określone przejścia.

Matematyczne własności superalgebr i przestrzeni, w których one działają (superprzestrzeni), odsłoniły przed fizykami obiecujące perspek-

tywy głębszego i bardzo spójnego formalnie zrozumienia świata cząstek [Kane, 2006, rozdz. 4]. Na początku udowodniono, że korzystając z operatora łączącego podalgę fermionów i bozonów, można w naturalny sposób opisać grawitację. W świetle trudności z kwantowym opisem tego oddziaływania wynik ten był ważny i godny dalszych badań. Potem, w 1982 roku, kilku fizyków pokazało, że dodanie do Modelu Standardowego supersymetrii daje poprawne matematyczne, eleganckie wyjaśnienie mechanizmu działania pola Higgsa. Fizykom nie udało się dotychczas sformułować dobrze opracowanej, efektywnej teorii opartej na idei supersymetrii, uzyskali jednak w trakcie ponad dwudziestu lat badań kilka ważnych wyników cząstkowych, na podstawie których są oni przekonani, że teoria taka jest możliwa i byłaby znacznie doskonalsza niż obecny Model Standardowy. Gordon Kane, autor popularnej książki *Supersymetria*, napisanej w 1999 roku, omawia dziesięć poważnych problemów, które teoria supersymetrii powinna pomóc rozwiązać. Nie wdając się w szczegóły, wymienimy kilka z nich: wyjaśnienie mechanizmu Higgsa, wyjaśnienie, dlaczego Model Standardowy jest efektywny w skali 10^{-17} m, unifikacja grawitacji i innych sił, istota i pochodzenie ciemnej materii, brak we Wszechświecie antymaterii. Trzeba przyznać, że teoria, która daje szanse odpowiedzi na te podstawowe pytania teorii cząstek i kosmologii i w dodatku łączy te dwie dziedziny, jest wielce obiecująca i godna uwagi [Kane, 2006, s. 70–76].

Jednak sytuacja tej teorii nie jest tak jasna, jak ją przedstawia Kane, ponieważ na drodze jej rozwoju stoją poważne przeszkody teoretyczne i empiryczne. Matematyka teorii supersymetrii jest trudna i wciąż mało poznana, dlatego nie jest to zwarta pojęciowo i formalnie teoria w rodzaju szczególnej teorii względności lub mechaniki kwantowej, lecz zespół pewnych propozycji, punktów widzenia, metod obliczeniowych itp. Pracujący nad nią fizycy różnią się często pod względem tego, co uważają za istotne, jakie twierdzenia przyjmują, jak widzą rozwiązania poszczególnych problemów. Z punktu widzenia filozofii nauki jest to dziedzina jeszcze słabo ukształtowana, pozbawiona własnego paradygmatu.

Jeszcze gorzej przedstawia się sprawa empirycznego potwierdzenia specyficznych przewidywań teorii. Gordon Kane, pisząc wiele lat temu

książkę, był przekonany, że dzięki zakończeniu budowy nowych akceleratorów teoria supersymetrii uzyska potwierdzenie, lecz tak się nie stało. Rozpad protonu też jest na razie niepotwierdzoną hipotezą. Podobnie jest ze wszystkimi zjawiskami przewidywanymi przez teorię supersymetrii. W rezultacie idea supersymetrii, czyli zasadniczej jedności fermionów i bozonów, nie spełniła pokładanych w niej nadziei. Pojawia się pytanie, jak ocenić tę sytuację.

Patrząc na ideę supersymetrii z punktu widzenia jedności obrazu materii, zauważmy na wstępie, że jedność ta jest poważnie zagrożona, ponieważ w supersymetrycznym świecie liczba podstawowych rodzajów cząstek ulega podwojeniu. Zrównanie ze sobą fermionów i bozonów uzyskuje się przez to, iż każdy fermion otrzymuje swój bozonowy odpowiednik, a dla każdego bozonu pojawia się odpowiedni fermion. I tak, na przykład, elektron ma partnera nazwanego selektronem, kwark – skwarkiem, foton – fotinem, grawiton – grawitinem, W (wuon) – wuinem itp. Te nowe rodzaje cząstek nazwano superpartnerami. Dzięki hipotezie o ich istnieniu świat cząstek stał się jednolity pod względem spinów i związanych z nimi statystyk, lecz ma dwa razy więcej elementów. Związane z supersymetrią podwojenie liczby rodzajów cząstek Kane porównuje do odkrycia przez Diraca antycząstek, których istnienie wynikało z jego równania. Na obserwację pozytonu, antyprotonu itp. trzeba było czekać kilka lat, w czasie których wielu fizyków krytykowało Diraca, traktując antycząstki jako pozbawiony sensu fizycznego rezultat matematyczny równania Diraca. Podobnie, zdaniem Kane’a, wygląda sytuacja z superpartnerami: „Istnienie szcząstek (superpartnerów) jest najbardziej dramatycznym przewidywaniem, które zweryfikuje tę ideę – jest dowodem koronnym” (s. 77). Jest on przekonany, że superpartnerzy istnieją:

Jednym z ekscytujących aspektów supersymetrii jest świadomość, że stoimy w obliczu odkrycia faktów umożliwiających nam sformułowanie i eksperymentalne testy teorii podstawowej w urządzeniach już budowanych i tych projektowanych. Masy i częstości produkcji superpartnerów powiedzą nam wiele zarówno o postaci teorii podstawowej, jak i o ciemnej materii we Wszechświecie, bardzo subtelnych efektach zachowania się protonu i neutronu w polach elektrycznych, o tym, czy proton jest cząstką stabilną, czy też w końcu się rozpada i o wielu jeszcze innych zagadnieniach. [Kane, 2006, s. 109]

Entuzjastyczne prognozy Kane'a i innych zwolenników teorii supersymetrii nie sprawdziły się i teoria ta budzi coraz więcej wątpliwości. Wielu fizyków krytykuje sam pomysł, uważając, że jest on pozbawiony sensu fizycznego. Roger Penrose pisze: „Jestem zupełnie nieprzekonany do fizycznego znaczenia formalizmu supersymetrii, zwłaszcza w takiej postaci, w jakiej jest dzisiaj stosowany w teorii cząstek elementarnych” [Penrose, 2006, s. 839]. Coraz więcej wyników matematycznych prowadzi do wniosku, że idea supersymetrii nie jest skuteczną metodą przezwyciężenia tych trudności kwantowej teorii pola, dla których została sformułowana. Fakt ten, w połączeniu z brakiem potwierdzenia empirycznego, stawia teorię w trudnej sytuacji.

Zarysowany powyżej obraz świata cząstek elementarnych proponowany przez Model Standardowy i jego rozszerzenie supersymetryczne prowadzą do wniosku, że, wbrew opiniom wielu uczonych, obecnej fizyce daleko do ostatecznego zrozumienia istoty i własności materii na jej najniższym poziomie budowy. Fizycy pracują nad kilkoma nowymi podejściami do tego zagadnienia. Cytowany powyżej R. Penrose wierzy w poznawcze możliwości stworzonej i rozwijanej przez siebie teorii twistorów, chociaż dotychczas nie doprowadziła ona do nowych odkryć. Jest przekonany, że fizycy odkryją i zbadają nowe obszary, do których drogą jest matematyka. Czy w końcu otrzymają jednolity, spójny obraz świata? Na to pytanie nie ma na razie odpowiedzi, trzeba po prostu poczekać na nowe rezultaty. Najważniejsze dla filozofa jest to, że w tej podstawowej dziedzinie fizyki dzieją się ważne rzeczy i że przyszłość powinna przynieść nieoczekiwane rozwiązania.

Bibliografia

- Heller M., (2001), *Kosmologia kwantowa*, Warszawa, Prószyński i S-ka.
Kane G., (2006), *Supersymetria. Supersymetryczne cząstki i odkrywanie podstawowych praw przyrody*, Warszawa, Prószyński i S-ka.
Penrose R., (2006), *Droga do rzeczywistości. Wyczerpujący przewodnik po prawach rządzących Wszechświatem*, Warszawa, Prószyński i S-ka.

Perkins D., (2004), *Wstęp do fizyki wysokich energii*, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN.

Strzałkowski A., (1996), *O siłach rządzących światem*, Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN.

Physics and a long way to unity

ABSTRACT. Physicists aim to create a unified theory of matter at the fundamental level of elementary particles. Much has been achieved in this regard, and the standard model, which is universally accepted, constitutes the best theory of this kind. Contrary to what enthusiasts may believe, this model has many shortcomings and drawbacks which are difficult or impossible to eliminate. Therefore, many physicists propose different models, whose validity has not been confirmed and which do not produce accurate theoretical results. The boldest among them is the theory of supersymmetry.

KEY WORDS: elementary particle physics, the standard model, the Higgs boson, supersymmetry

Michał Tempczyk, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, emerytowany profesor.