

Michał Tempczyk

Supersymetria — nauka czy fantazja?

Nauka jest umiejętnym połączeniem informacji o otaczającym nas świecie z teoretycznym schematem, porządkującym te informacje. Schematy porządkujące są najróżniejszego typu, lecz najbardziej precyzyjnym, skutecznym i niezawodnym sposobem porządkowania empirycznych informacji o świecie jest wykorzystanie w teoriach naukowych odpowiednich teorii matematycznych. Program matematyzacji nauk przyrodniczych, zapoczątkowany i sformułowany przez Galileusza, rozwijany przez jego następców, którego pierwszym wielkim sukcesem była klasyczna mechanika stworzona przez Isaaca Newtona, stał się motorem szybkiego postępu nauki i jej bezprecedensowych sukcesów poznawczych i w rezultacie nowożytna fizyka stała się podstawową, najdokładniejszą nauką o przyrodzie i wzorem dla innych nauk przyrodniczych. Uczni nie poznaliby budowy i dynamiki gwiazd, budowy atomów i ich własności, ani historii Wszechświata, gdyby nie korzystali z wyrafinowanych matematycznie teorii współczesnej fizyki. W elektrodynamice klasycznej, mechanice klasycznej i kwantowej, obu teoriach względności i teorii cząstek elementarnych, odpowiedni język matematyczny odgrywa podstawową i twórczą rolę, ponieważ jego zastosowanie pozwalało na sformułowanie przewidywań wykraczających poza aktualnie znaną bazę empiryczną. Z tego powodu fale elektromagnetyczne, których istnienie i własności wynikają z równań Maxwella, czarne dziury i rozszerzający się Wszechświat, będące rozwiązaniami równań Einsteina, antycząstki przewidziane przez równanie Diraca czy też kwarki stanowiące podstawę symetrii SU(3) porządkującej cząstki elementarne stały się symbolem sukcesów poznawczych będących efektem udanego wykrycia matematycznej struktury określonych klas zjawisk. W wyniku tych sukcesów, szczególnie ważnych i licznych w okresie formułowania rewolucyjnych teorii współczesnej fizyki, około stu lat temu w fizyce dokonał się podział na fizykę doświadczalną i teoretyczną.

Zadaniem fizyki teoretycznej jest skupienie uwagi na matematycznej strukturze teorii fizycznych oraz wyciąganie z niej wniosków empirycznych. Zadanie to nie jest wcale łatwe ani banalne, ponieważ podstawowe równania nowoczesnych teorii fizycznych są trudne do rozwiązania, dlatego poznawanie ich empirycznych konsekwencji jest procesem żmudnym i dalekim od zakończenia. Dla przykładu, przyjrzyjmy się ogólnej teorii względności i porównajmy ją z klasyczną newtonowską teorią grawitacji. Newton wypisując wzór na siłę grawitacji wiedział, że konsekwencją tego prawa muszą być eliptyczne tory planet i własności ich ruchu podane w trzech prawach Keplera, można zatem powiedzieć, że w chwili formułowania matematycznej teorii grawitacji znalazł jej najważniejsze konsekwencje empiryczne. W całkowicie odmiennej sytuacji był Albert Einstein, który dziesięć lat ciężko pracował nad znalezieniem odpowiednich równań, których niektóre konsekwencje zaskoczyły go. Dobrze wiadomo, jak długo krytykował i zwalczał znalezione przez Aleksandra Friedmana rozwiązania opisujące rozszerzający się Wszechświat (Heller, 2005, rozdz. 4). Jeszcze dzisiaj nie wiadomo, czy w równaniach tych nie kryją się ważne informacje o świecie nieznanym fizykom, którzy wciąż poszukują nowych rozwiązań. Ich praca ma sens, ponieważ nowe rozwiązania, potwierdzone empirycznie, doprowadziłyby do wzbogacenia naszej wiedzy o materii w taki sposób, w jaki potwierdzenie istnienia czarnych dziur i ekspansji Wszechświata w istotny sposób zmieniło poglądy na temat budowy i historii Wszechświata. Podobną pracę wykonują fizycy kwantowi, którzy analizując matematyczną treść mechaniki kwantowej poszerzają wiedzę o mikroświecie. Znakomitym przykładem takiego nowego wyniku było odkrycie przez Johna Bella w 1964 roku nierówności, nazwanych na jego cześć nierównościami Bella. Empiryczne potwierdzenie tych nierówności zmieniło poglądy uczonych na temat własności mikroświata i jego związku z makroświatem.

Przed fizykami teoretykami stoi jeszcze inne ważne zadanie — dążenie do przezwyciężenia kłopotów współczesnej fizyki. Kłopoty te mają dwa aspekty: trudności z pojęciowym zrozumieniem tego, co już wiemy, i braki naszej wiedzy o najmniejszych składnikach materii i całym Wszechświecie. Źródłem problemów pierwszego typu jest przede wszystkim mechanika kwantowa. Pomimo doskonałości i prostoty jej struktury matematycznej, sformułowanej w języku teorii przestrzeni Hilberta i operatorów w niej działających, oraz wspianego potwierdzenia jej wszystkich przewidywań empirycznych, fizycy mają trudności w sformułowaniu intuicyjnie zrozumiałego, pogładowego modelu mikroświata. Dyskusje na ten temat rozpoczęły się zaraz po sformułowaniu teorii kwantowej i trwają do dzisiaj, a wynikające z nich wnioski są pesymistyczne, ponieważ w miarę rozwoju naszej wiedzy o świecie kwantowym jego zrozumienie wydaje się coraz trudniejsze lub nawet niemożliwe, jak twierdzili twórcy kopenhaskiej interpretacji mechaniki kwantowej. Jeszcze trudniej zrozumieć świat cząstek elementarnych, których teoria daleka jest od kompletności i harmonii dobrze rozwiniętych teorii fizyki, takich jak elektrodynamika klasyczna, mechanika kwantowa czy ogólna teoria względności. Oparta na grupie $SU(3)$ klasyfikacja hadronów jest mało skuteczna i niezadowolająca, w dodatku nie

wiadomo, jaka jest istota wewnętrznych symetrii cząstek i ich własności. Fizycy pracujący w tej dziedzinie przeważnie optymistycznie głoszą, że ich kłopoty są przejściowe i niedługo zostaną przewyżczone, lecz analiza obecnego stanu fizyki cząstek elementarnych wcale nie potwierdza tego optymizmu (Perkins, 2004). Podsumowując aktualny stan wiedzy o cząstkach można powiedzieć, że fizycy nauczyli się budować coraz silniejsze akceleratory, wytwarzać za ich pomocą coraz cięższe i coraz krócej żyjące cząstki, lecz uporządkowanie tych cząstek, zrozumienie i teoretyczne wyjaśnienie ich własności i wzajemnego powiązania stają się coraz trudniejsze.

Podobna sytuacja panuje w kosmologii. Jej podstawowy schemat teoretyczny tworzy wynikająca z ogólnej teorii względności teoria Wielkiego Wybuchu, lecz coraz trudniej włożyć w ramy tej teorii coraz bogatszy materiał obserwacyjny. W tej sytuacji kosmologowie mają trudności z ustaleniem podstawowych własności Wszechświata: ma on stanowczo za mało obserwowanej materii i zbyt szybko się rozszerza, w wyniku czego trzeba dodawać ogromne ilości 'ciemnej materii' oraz dodatkową formę istnienia zwaną 'ciemną energią' (Heller, 2005, rozdz. 22). Hipotezy o istnieniu tych 'ciemnych' aspektów Wszechświata mają wyraźnie charakter hipotez *ad hoc*, które niczego nie wyjaśniają, ponieważ są dodawane pod naciskiem faktów i nie pasują do matematycznej struktury teorii. Dla filozofa nauki są one objawem kryzysu kosmologii, a kłopoty z materią i energią są anomaliami, których efektywnego rozwiązania nie widać. Ta trudna sytuacja teorii najmniejszych składników materii i całego Wszechświata skłania uczonych do poszukiwania nowych teorii lub poważnej modyfikacji tych, które są obecnie używane, widzimy więc, że fizycy teoretycy mają dużo pracy i stoją przed nimi poważne zadania.

Należy jeszcze krótko wspomnieć trzeci nurt podstawowych badań teoretycznych, którego celem jest sformułowanie jednolitego obrazu całej materii. Współczesna fizyka opisuje świat materii na dwa odmienne i niedające się pogodzić sposoby, klasyczny i kwantowy. Fizyka kwantowa jest dziedziną badań mikroświata, natomiast teorie klasyczne opisują własności i procesy zachodzące z udziałem obiektów makroskopowych. Teorie obu typów nie są poznawczo równoważne, ponieważ zgodnie z mikroredukcyjną metodologią nauk przyrodniczych własności obiektów złożonych są nadbudowane na własnościach ich części. Każdy obiekt złożony istnieje jako określona kompozycja swoich części, a jego własności są konsekwencją własności części i ich powiązania. Nie wynika z tego, że wszystkie własności całości można w jednoznaczny sposób wyprowadzić z własności części, ponieważ całość może mieć globalne sposoby działania, jednak nawet te nieredukowalne, emergentne własności powstają dzięki odpowiednim oddziaływaniom na poziomie części. Z tego powodu teorie opisujące mikroświat uważa się za bardziej podstawowe od teorii makroświata. W przypadku mechaniki kwantowej i klasycznej można, korzystając ze sformułowanej przez Nielsa Bohra teorii korespondencji, w dosyć precyzyjny sposób pokazać, jak mechanika klasyczna powstaje jako przybliżenie mechaniki kwantowej, gdy charakterystyczną dla mikroświata stałą Plancka potraktujemy jako wielkość zmierzającą do zera. Problem sformułowania jednolitego języ-

ka fizyki zostałyby rozwiązane, gdyby udało się w poprawny formalnie sposób wyprowadzić język i matematyczną strukturę teorii makroskopowych z języka teorii kwantowych, lub gdyby fizycy znaleźli jakiś ogólniejszy formalizm, obejmujący oba rodzaje teorii, na przykład w taki sposób, w jaki współczesna geometria opisuje przestrzeń Euklidesa i oba rodzaje przestrzeni nieeuklidesowych jako określone rodzaje przestrzeni metrycznych. Pomimo długotrwałych wysiłków nie udało się dotychczas znaleźć takiego jednolitego języka matematycznego opisującego oba rodzaje zjawisk — klasyczne i kwantowe. Poważną przeszkodą na tej drodze jest fakt, iż fizycy nie zdołali stworzyć kwantowej teorii grawitacji, chociaż pozostałe trzy podstawowe siły przyrody mają swoje teorie kwantowe.

Zadaniem powyższej krótkiej charakterystyki pojęciowych i matematycznych trudności współczesnej fizyki jest pokazanie, że fizycy mają do rozwiązania wiele ważnych problemów związanych z matematyczną strukturą teorii fizycznych. Problemy te są w znacznym stopniu niezależne od empirycznej bazy fizyki, dlatego w ostatnim stuleciu fizyka teoretyczna stała się intensywnie rozwijającą się dziedziną badań o szerokim zakresie, związanych bardziej z matematyką niż z fizyką doświadczalną. Jest to nieunikniona konsekwencja ciągłego wzbogacania matematycznej struktury teorii fizycznych, które w miarę rozwoju nauki korzystają z coraz bardziej abstrakcyjnych teorii matematycznych. Wiele ważnych działów matematyki wyrosło z fizyki lub rozwinęło się w odpowiedzi na jej potrzeby. Rozwój matematycznej struktury podstawowych teorii fizycznych nie jest wynalazkiem XX wieku, ponieważ miał on miejsce od chwili powstania pierwszej zmatematyzowanej teorii fizycznej — mechaniki klasycznej. W swojej ponad 300-letniej historii mechanika była formułowana na wiele sposobów, wystarczy oprócz podstawowych praw Newtona wspomnieć zasady wariacyjne, dwa sformułowania Lagrange'a i formalizm Hamiltona (Arnold, 1981). Jednak te nowe, ciekawe matematycznie i fizycznie spojrzenia na procesy mechaniczne nie prowadziły do nowych konsekwencji empirycznych; były one przeważnie wzajemnie równoważne matematycznie, dlatego wynikające z nich wnioski empiryczne musiały być te same.

Sytuacja uległa zmianie po sformułowaniu równań Maxwella, które doprowadziły do odkrycia fal elektromagnetycznych. W tym przypadku okazało się, że odpowiedni formalizm matematyczny, dzięki któremu udało się połączyć zjawiska elektryczne i magnetyczne, może mieć poważne konsekwencje empiryczne i od tego czasu zadaniem nowych teorii stało się przede wszystkim przewidywanie nowych zjawisk. Nowe spojrzenie na zjawiska dobrze poznane też jest cenne, zwłaszcza w przypadku mechaniki kwantowej, której pojęciowa struktura wciąż jest przedmiotem dyskusji i która ma kilka sformułowań równoważnych lub prawie równoważnych, lecz w obecnej kryzysowej sytuacji trzeba przede wszystkim dążyć do przezwyciężenia poważnych trudności wspomnianych powyżej. W tym celu fizycy pracują nad podstawową teorią oddziaływań cząstek elementarnych, zwaną kwantową teorią pola.

Pierwszą wersją kwantowej teorii pola była elektrodynamika kwantowa, sformułowana w latach 30. ubiegłego stulecia, opisująca elektryczne oddziaływanie czą-

stek, przenoszone przez fotony. Teoria ta postawiła fizyków w trudnej sytuacji, ponieważ wynikały z niej pewne nonsensowne empiryczne konsekwencje, na przykład nieskończony ładunek elektryczny elektronu lub nieskończenie wielka masa tej cząstki. Z drugiej strony pewne specyficzne, bardzo subtelne efekty związane z przenoszeniem oddziaływania przez fotony, przewidywane przez teorię, na przykład nieco inna niż w mechanice kwantowej wartość spinu elektronu, okazały się zadziwiająco dobrze zgodne z doświadczeniami. Dzięki zgodności kilku nowych przewidywań teorii z doświadczeniem fizycy uznali ją za poprawną i opracowali specjalną metodę radzenia sobie z matematycznymi trudnościami tej teorii — teorię renormalizacji. Później opracowano kwantową teorię oddziaływań słabych, a największym sukcesem tego programu było sformułowanie w latach 70. ubiegłego wieku teorii jednoczącej oddziaływania elektromagnetyczne i słabe, nazwane elektrosłabymi. Teoria ta przewiduje istnienie specjalnych cząstek przenoszących oddziaływanie elektrosłabe, tak zwanych bozonów pośrednich, które zostały wyprodukowane w akceleratorach. Dzięki temu uzyskała ona empiryczne potwierdzenie swoich przewidywań stając się przez to uznana teorią fizyczną. Naturalną rzeczą było dążenie fizyków do opracowania kwantowej teorii oddziaływań silnych, lecz okazało się to bardzo trudne, ponieważ nieskończenie duże wartości pewnych wielkości empirycznych, przewidywane przez teorię, nie dadzą się usunąć w sposób spójny matematycznie, tak jak udało się to zrobić w elektrodynamice kwantowej. W związku z tym teoria oddziaływań silnych jest nierenormalizowalna i trudno nadać jej sens fizyczny. Tym niemniej uczeni starają się znaleźć teorię łączącą w jedno oddziaływanie trzy znane oddziaływania kwantowe — elektryczne, słabe i silne. Nazywa się ją teorią wielkiej unifikacji (Great Unification Theory — GUT) (Strzałkowski, 1996, rozdz. 7).

Wiara w istnienie jednolitej podstawy tych oddziaływań i dążenie do znalezienia jej dokładnej teorii to pomysł śmiały i obiecujący, który udało się częściowo zrealizować dzięki teorii oddziaływań elektrosłabych. Jedność tych oddziaływań, na poziomie znanych nam procesów objawiających się jako dwie niezależne siły przyrody, ujawnia się przy zderzeniach cząstek o ogromnych energiach, dlatego dla empirycznej weryfikacji teorii oddziaływań elektrosłabych trzeba było użyć akceleratorów o odpowiednio dużej mocy. Udało się to zrobić, dlatego teoria została potwierdzona, lecz było to potwierdzenie bliskie granicom aktualnych możliwości fizyki. Z budowaną przez fizyków teorią wielkiej unifikacji sprawa jest znacznie trudniejsza, ponieważ postulowana przez tę teorię jedność trzech sił byłaby możliwa do wykrycia przy zastosowaniu cząstek o energiach aktualnie nieosiągalnych w akceleratorach. Na domiar złego, tak ogromnych energii, o wiele rzędów wielkości przekraczających aktualne możliwości nauki, być może nigdy nie uda się uzyskać doświadczalnie. Takie energie wystąpiły jedynie w drobnym ułamku pierwszej sekundy istnienia Wszechświata i nigdy nie powtórzą się, chyba że Wszechświat kiedyś zacznie się kurczyć, powtarzając w przeciwnym kierunku upływu czasu to, co działo się po Wielkim Wybuchu, lecz wtedy nie będzie w nim miejsca dla fizyków.

Na szczęście sytuacja nie jest beznadziejna, ponieważ z jedności trzech oddziaływań wynikają pewne zjawiska, które mogą być przedmiotem obserwacji. Najbardziej znany jest rozpad protonu, którego czas życia szacowany jest na około 10^{30} lat. Jest to czas o wiele dłuższy od wieku Wszechświata, wynoszącego około 10^{10} lat, dlatego czekanie na rozpad określonego protonu nie ma sensu, można jednak poszukiwać takich rozpadów w wystarczająco dużej porcji materii i fizycy zbudowali tego typu urządzenia. Zawierają one tysiące ton wody, otoczonej detektorami, których zadaniem jest rejestracja sygnałów, świadczących o tym, że któryś z protonów rozpadł się w sposób przewidywany przez teorię (Kane, 2006, 131-133). Wiele lat obserwacji nie dało rezultatów i obecnie szacuje się, że czas życia protonu musi być większy od 10^{32} lat i zjawiska tak rzadkiego nie uda się nigdy zaobserwować w sposób wiarygodny. Widzimy zatem, że jeżeli powstanie jednolita teoria pola, to będzie ona na granicy możliwości empirycznej weryfikacji i kryteria wyboru jednego z jej wariantów będą głównie natury teoretycznej. Można powiedzieć, że w tym obszarze badań fizyka dochodzi do granic potwierdzalności empirycznej.

Stosowane w fizyce cząstek metody formalne układają się w pewien schemat teoretyczny, nazywany Modelem Standardowym. Model ten proponuje uporządkowany i spójny obraz podstawowych rodzajów cząstek, ich własności i oddziaływań. Jest on zgodny z doświadczeniem w tym sensie, że wszystkie przewidywane w jego ramach zjawiska są przeważnie potwierdzone przez doświadczenia. Niekiedy, na przykład w przypadku bozonów pośrednich, dla potwierdzenia tych przewidywań trzeba zbudować odpowiednio silne akceleratory. Istnieją także efekty, których potwierdzenia nie można jeszcze uzyskać. W każdym razie nie ma faktów empirycznych sprzecznych z Modelem Standardowym, dlatego fizycy są z niego zadowoleni i pracują nad jego dalszym rozwinięciem (Kane, 2006, rozdz. 2). Są oni przekonani, że niezależnie od tego, jak rozwinięta teoria tej dziedziny, podstawowe stwierdzenia Modelu Standardowego nie zostaną sfalsyfikowane. Do takich twierdzeń należy na przykład to, że wszystkie hadrony są zbudowane z sześciu kwarków i ich antycząstek i że leptonów także jest sześć, oraz to, że zarówno kwarki, jak i leptony układają się w trzy rodziny pod dwa elementy. Model Standardowy ma silne powiązanie z doświadczeniem i jest to jego zaletą jako teorii empirycznej, lecz fakt ten jest jednocześnie źródłem przekonania wielu uczonych, że nie może on być ostateczną teorią cząstek elementarnych.

Takie podejście do tej sprawy może wydawać się dziwne, dlatego należy dokładniej powiedzieć, o co tutaj chodzi. Przecież teoria naukowa powinna być powiązana z empirycznymi obserwacjami, w przeciwnym bowiem wypadku byłaby poznawczo pusta i nieweryfikowalna. Fizykom, którzy nie chcą zakończyć rozwoju teorii cząstek na Modelu Standardowym, chodzi o to, że zbyt wiele jest w nim podstawowych założeń i wielkości wziętych z doświadczenia. Na przykład teoria nie wyjaśnia, dlaczego są trzy rodziny kwarków, ani nie jest w stanie podać sposobu wyliczenia ich mas. Dane te są punktem wyjścia wszelkich rozumowań, lecz same w ramach teorii nie mogą być wyjaśnione. Podobnie nie wiadomo, dlaczego są trzy fundamentalne

oddziaływania o określonej sile. W tej sytuacji fizycy czują, że należy zejść na jeszcze niższy poziom wyjaśniania i stworzyć teorię, która pozwoliłaby wyjaśnić te fakty, które są punktem wyjścia Modelu Standardowego. Nie chcą oni zmieniać tego modelu, lecz pragną wyprowadzić go z założeń jeszcze głębszych i ogólniejszych.

Prace w tym kierunku są prowadzone od około 25 lat. Najpierw powstała teoria strun. W teorii tej wszystkie rodzaje cząstek i ich oddziaływań są opisane jako kombinacje elementarnych dynamicznych jednowymiarowych obiektów fundamentalnych — strun, które łącząc się ze sobą w układy złożone generują wszystkie znane fizykom rodzaje cząstek i oddziaływań. Aby było to możliwe, trzeba założyć, że struny działają w przestrzeni bogatszej od standardowej czterowymiarowej czasoprzestrzeni fizyki makroskopowej, dlatego podstawowa przestrzeń teorii strun jest co najmniej 10-wymiarowa. Dodatkowe sześć wymiarów związanych jest z oddziaływaniami cząstek i ujawnia się tylko przy ich zderzeniach o wysokich energiach. Teoria strun jest bardzo wyrafinowana matematycznie i trudna, ponieważ ma ona pozwolić zrozumieć to, czego nie potrafią wyjaśnić bardzo zaawansowane matematycznie rozważania Modelu Standardowego. Jej twórcy i zwolennicy chcą stworzyć jednolity obraz najniższego poziomu budowy materii, do którego już nic nie dałoby się dodać. Mają przy tym nadzieję, że przy okazji teoria ta będzie rozwiązaniem dla trudności obecnie istniejących kwantowych teorii pola, ponieważ sama, będąc teorią o poprawnej strukturze matematycznej, inne teorie uczyni niepotrzebnymi.

Inną drogą ku jednolitej teorii cząstek elementarnych jest idea supersymetrii. Jest ona związana z podziałem wszystkich rodzajów cząstek na dwa typy — bozony i fermiony. Bozony to cząstki, które mają spin całkowity (także zero jest liczbą całkowitą), natomiast fermiony to cząstki o spinie półowkowym. Pomiędzy tymi dwoma rodzajami cząstek istnieją poważne różnice. Bozony podlegają kwantowej statystyce Bosego-Einsteina, natomiast fermionami rządzi statystyka Fermiego-Diraca; bozony są zawsze nośnikami oddziaływań, a fermiony są podstawowymi składnikami materii; liczba fermionów jest zawsze ustalona i w trakcie reakcji nie może ulec zmianie, podczas gdy bozony mogą być dowolnie produkowane i pochłaniane przy ograniczeniach narzuconych przez prawo zachowania energii, ładunku elektrycznego itp. Podział wszystkich cząstek elementarnych na te dwa rodzaje jest jedną z najważniejszych własności materii i żadna z dotychczasowych teorii nie potrafi go wyjaśnić. Wszystkie muszą przyjmować go jako podstawowy fakt empiryczny. Ze względu na odmienne własności statystyczne, układy wielu fermionów zachowują się inaczej niż układy wielobozonowe, dlatego do ich opisu używa się odmiennych struktur algebraicznych. Jednak na początku lat 70. XX wieku matematycy odkryli, że jeżeli zbudujemy algebrę zwaną superalgebrą, która składa się z dwóch podalgebr, opisujących odpowiednio fermiony i bozony, to operacja przejścia między nimi ma własności pozwalające na opis pola grawitacyjnego. Fakt ten nasunął fizykom myśl, że być może oddziaływanie grawitacyjne jest konsekwencją nieznanego jeszcze naukowcom powiązania fermionów i bozonów. W związku z tym wysunęli oni ideę supersymetrii jako programu poszukiwania tego powiązania. Zgodnie z tą ideą dla ekstre-

malnie wysokich energii oddziaływań cząstek ich podział na fermiony i bozony zacierają się i dla każdego bozonu istnieje jego fermionowy partner, a każdy fermion ma swój odpowiednik bozonowy. I tak, na przykład, elektron ma swego partnera zwane go elektrino, a dla fotonu istnieje fermionowy sfoton (Kane, 2006, 76-84).

Po kilku latach rozwoju teorii strun okazało się, że jej połączenie z ideą supersymetrii może stać się drogą rozwiązania podstawowych trudności kwantowej teorii pola i zaczęto prace nad superstrunami, czyli strunami istniejącymi w supersymetrycznym świecie. Obecnie nazwy 'supersymetria' używa się mówiąc o superstrunach. Popularne krótkie przedstawienie pojęciowego schematu tej teorii nie jest możliwe, dlatego odsyłając zainteresowanego tym Czytelnika do istniejących opracowań (Kaku, 1997; Greene, 2001) przystąpimy do analizy oczekiwań fizyków pracujących w tej dziedzinie i do oceny, w jakim stopniu oczekiwania te są lub mogą być spełnione. Podstawą dalszych rozważań będzie wydana niedawno książka G. Kane'a *Supersymetria. Supersymetryczne cząstki i odkrywanie podstawowych praw przyrody* (2006). Jej zaletą jest to, iż autor oprócz poglądowego przedstawienia stanu Modelu Standardowego w roku wydania książki (2000) i wyjaśnienia idei supersymetrii, stara się dokładnie przedstawić problemy, jakie fizycy chcieliby rozwiązać za pomocą nowej teorii (s. 51-53, 70-76). Ponadto trzy lata później Kane napisał artykuł (2003), w którym wylicza dziesięć podstawowych pytań, na które Model Standardowy nie potrafi odpowiedzieć, a na które mogłaby odpowiedzieć teoria supersymetrii. Pytania te obejmują cały zakres fizyki cząstek elementarnych i podstawowe trudności kosmologii. Ponieważ nie mamy miejsca na ich omawianie, ograniczymy się do ich wyliczenia (Kane, 2003, s. 54): niska wartość liczbowa stałej kosmologicznej, ciemna energia, ciemna materia, inflacja, brak antymaterii we Wszechświecie, opis oddziaływania Higgosa, duża masa cząstki Higgosa, włączenie grawitacji do modelu oddziaływań cząstek, określenie mas kwarków i leptonów oraz wyjaśnienie, dlaczego są trzy generacje cząstek. Z powyższego wyliczenia widać, że dla fizyków pracujących nad teorią superstrun ma ona być ostatecznym rozwiązaniem wszystkich podstawowych trudności obecnej teorii cząstek elementarnych i kosmologii. Jej udana wersja byłaby rzeczywistą ostateczną teorią współczesnej fizyki. Uczni, mając do dyspozycji skuteczny schemat porządkowania i wyjaśniania cząstek i ich własności, nie mieliby o co pytać, ponieważ wszystkie dające się postawić pytania miałyby odpowiedź wynikającą z teorii supersymetrii. Jeszcze nigdy fizyka nie stała przed taką obiecującą szansą, dlatego filozof nauki badający tę sytuację powinien postawić pytanie, jak ocenić możliwość empirycznego potwierdzenia tej teorii, która wprawdzie nie jest jeszcze ostatecznie sformułowana, lecz pozwala na wyciągnięcie tak wielu ważnych wniosków.

Odpowiedź na to pytanie nie jest trudna. Kane poświęcił sporo miejsca pracom nad budową akceleratorów, których zadaniem miało być potwierdzenie przewidywań teorii superstrun, na przykład wytworzenie i zarejestrowanie cząstki Higgosa (rozdz. 7), czy też 'Eksperymentalne poszukiwanie supersymetrii' (rozdz. 5). Tempo tych prac i zaangażowanie fizyków pozwalały mu wierzyć sześć lat temu, że w ciągu naj-

blizszych lat uda się znaleźć kilka ważnych potwierdzeń przewidywań teorii, dzięki którym nabrałaby ona charakteru empirycznego. Prace te zostały przeważnie zakończone, lecz eksperymenty nie dały przewidywanych rezultatów. Szczególnie newralgicznym punktem teorii jest bozon Higgosa, który bardzo by się przydał fizykom i którego nie udało się dotychczas wytworzyć, chociaż potrzebne do tego energie są już uzyskiwane w akceleratorach. Teza o istnieniu tego bozonu, który byłby odpowiedzialny za masy cząstek elementarnych, jest istotnym elementem Modelu Standardowego, dlatego jest on od kilkudziesięciu lat intensywnie poszukiwany. Innym kierunkiem badań jest poszukiwanie lekkich superpartnerów istniejących cząstek, którzy przydaliby się jako źródło ciemnej materii.

Porównując optymistyczne przewidywania Kane'a sprzed sześciu lat z obecnym brakiem wyników można dojść do wniosku, że idea supersymetrii nie jest właściwym kierunkiem poszukiwania jedności zjawisk na najniższym poziomie budowy materii. Teoria supersymetrii stała się również mniej atrakcyjna z teoretycznego punktu widzenia, ponieważ pewne formalne wyniki prowadzą do wniosku, że nie może ona być rozwiązaniem dla teoretycznych kłopotów kwantowej teorii pola. Innymi słowy, coraz powszechniejsze jest przekonanie, że przyroda nie jest supersymetryczna i że trzeba poszukiwać innej drogi do poznania jej podstawowej jedności. Drogi takiej dotychczas nie znaleziono. Można oczywiście wierzyć, że w niedalekiej przyszłości uda się potwierdzić przewidywania teorii superstrun, lecz wiarę taką ma coraz mniejsze grono zwolenników tej teorii. Ich prace mają w znacznej mierze charakter perswazyjny, ponieważ skupiają się na przekonywaniu, jak dobrze byłoby, gdyby przyroda była supersymetryczna. Wtedy opisująca ją teoria byłaby ostatecznym rozwiązaniem wszystkich podstawowych problemów fizyki i w tej dziedzinie nauka doszłaby do swojej granicy. Jednak fiasko związanych z tym programem prac eksperymentalnych prowadzi do wniosku, że przyroda jest dziwnie odporna na urok tej teorii i nie przejmuje się zapewnieniami fizyków, że jest to dla niej najlepsza droga do doskonałości.

Fizycy dążąc do stworzenia spójnej matematycznie i potwierdzonej empirycznie teorii supersymetrii są przekonani, że materia na najgłębszym poziomie swojej budowy powinna być niesłychanie prosta. Ich ideałem jest teoria, w której wszystkie liczbowe charakterystyki podstawowych składników materii, takie jak masy, ładunki elektryczne, spiny itp. dałyby się wyprowadzić z odpowiednich praw matematycznych i kilku ogólnych stałych przyrody, czyli stałej Plancka, prędkości światła, stałej grawitacji i ładunku elektronu. Jest to bardzo racjonalistyczny, platoński obraz przyrody, dlatego prace nad ostateczną jednolitą teorią materii i problem jej empirycznego potwierdzenia mogą być ważnym argumentem w dyskusjach filozoficznych na temat matematyczności przyrody i jej poznawalności. To silne powiązanie nauki i filozofii widać wyraźnie w pracach fizyków, którzy w swoich filozoficznych analizach często używają argumentów typu platońskiego, pisząc na przykład o 'planie Stwórcy' lub 'inteligentnym projekcie'. Zagadnienia tego nie będziemy rozwijać, ponieważ wymagałoby to odrębnego opracowania. Naszym celem było pokazanie,

w jakim stopniu teoretyczne rozważania fizyków mogą oderwać się od empirii, prowadząc ich w stronę matematycznych fantazji.

LITERATURA

- Arnold W. I., 1981, *Metody matematyczne mechaniki klasycznej*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa;
- Greene B., 2001, *Piękno Wszechświata*, Prószyński i S-ka, Warszawa;
- Heller M. 2005, *Granice kosmosu i kosmologii*, Wydawnictwo Naukowe SCHOLAR, Warszawa;
- Kaku M., 1997, *Hiperprzestrzeń. Naukowa podróż przez wszechświaty równoległe, pętle czasowe i dziesiąty wymiar*, Prószyński i S-ka, Warszawa;
- Kane G., 2003, *Najdoskonalsza teoria w punkcie zwrotnym*, Świat Nauki 7/2003, 48-56;
- Kane G., 2006, *Supersymetria. Supersymetryczne cząstki i odkrywanie podstawowych praw przyrody*, Prószyński i S-ka, Warszawa;
- Perkins D. H., 2004, *Wstęp do fizyki wysokich energii* Wyd. Naukowe PWN, Warszawa;
- Strzałkowski A., 1996, *O siłach rządzących światem*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.