



Unifikacja oddziaływań elementarnych

A. Lubos^a, P. Jarka^b

^a Student Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny
e-mail: adam.lubos@gmail.com

^b Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny
Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Technologii Procesów
Materiałowych, Zarządzania i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie
e-mail: pawel.jarka@polsl.pl

Streszczenie: W pracy omówiono problem unifikacji oddziaływań elementarnych w ujęciu historycznym oraz naukowym. Pod względem historycznym pokazane jest w jaki sposób dokonywano pierwszych prób unifikacji, pogląd naukowy pokazuje aktualny koncept budowy materii oraz przewidywane dalsze perspektywy oraz teorie konkurencyjne.

Abstract: In this paperwork there is analyzed problem of great unification of influences between elemental particles in historic and scientific way. There are shown first attempts of unifications, and how old theories evolved to present.

Słowa kluczowe: oddziaływania elementarne, model standardowy, struny, wielka unifikacja, bozony, nośniki oddziaływań

1. WSTĘP

W trakcie rozważań na temat budowy materii nie sposób pominąć oddziaływań występujących między cząsteczkami, które mają duży wpływ na otaczający nas świat. Na wstępie zdefiniowania wymaga pojęcie oddziaływania oraz cząstki elementarnej. W fizyce przez oddziaływanie rozumie się wpływ obecności i stanu jednych ciał fizycznych na stan innych ciał fizycznych. Pojęcie cząstki elementarnej natomiast na przestrzeni historii rozumiane było bardzo różnie. W dzisiejszej dobie jako taką cząstkę będziemy rozumieli punkt, któremu przypisane zostały pewne fizyczne cechy. Należą do nich między innymi masa, ładunek czy spin. Dodatkowo, powszechnie przyjęło się uważać, że taki punkt posiada promień równy zeru oraz pozbawiony jest struktury wewnętrznej. Pracę tę skupiono głównie na opisie fundamentalnych oddziaływaniach działających między podstawowymi składnikami materii, którymi są cząstki elementarne [1].

W skali mikroskopowej wszystkie otaczające nas siły możemy sprowadzić do czterech podstawowych oddziaływań: grawitacji, elektromagnetyzmu oraz oddziaływań silnych i słabych. Fizycy, którzy zajmują się badaniem tych sił twierdzą, że w rzeczywistości nie istnieją cztery podstawowe oddziaływania, tylko jedno, a różnorodność, którą dzisiaj widzimy jest przejawem jednej uniwersalnej siły. Patrząc na ten problem z punktu widzenia kosmologii, dochodzimy do wniosku, że w historii wszechświata musiał istnieć okres w którym wszystkie znane nam oddziaływania były zunifikowane. Zagadnienie to jest badane w największych laboratoriach na całym świecie, przy użyciu akceleratorów o ogromnej mocy, która pozwala na odtworzenie pierwszych chwil istnienia wszechświata [1, 2, 3].

2. HISTORIA

Pierwsze próby unifikacji miały miejsce już w starożytności. Filozofowie jońscy podejmowali próby tłumaczenia zjawisk naturalnych koncepcją podstawowej zasady rzeczy, z której powstają znane formy materii. Demokryt z Tracji, uważany za ojca materializmu, nauczał jednak, że materia zbudowana jest z maleńkich niepodzielnych cząstek, które nazwał atomami. Grecy filozofowie mimo swoich rewolucyjnych koncepcji nie byli w stanie opisać w sposób naukowy zjawisk. Dopiero Izaak Newton, posługując się opracowanymi przez siebie prawami oraz prawem powszechnego ciężenia wyjaśnił wiele spośród otaczających nas zjawisk – od ruchu planet aż po spadające jabłko. Jednak wszystkie teorie Newtona dotyczyły dzisiejszej fizyki klasycznej i nie opisywały budowy materii [2].

Fizyka współczesna natomiast miała swój początek w 1895 roku w chwili odkrycia przez Wilhelma Röntgena promieni X. Od tego momentu nowa „odmiana” fizyki rozumiana jako fizyka cząstek zaczęła się gwałtownie rozwijać. Odkryto promieniotwórczość naturalną, pierwszą cząstkę elementarną (elektron), która do dziś uważana jest za jeden z podstawowych budulców materii, promieniowanie α , a w 1900 roku narodziła się nowa gałąź fizyki wraz z ogłoszeniem przez Maxa Plancka teorii promieniowania ciała doskonale czarnego – powstała mechanika kwantowa [3, 4].

3. OTW I MECHANIKA KWANTOWA

Po obiecującym początku XX wieku fizyka współczesna rozwijała się dalej. Jeszcze pod koniec XIX wieku rozpatrywano dokładnie opracowaną przez Jamesa Maxwella teorię oddziaływań elektromagnetycznych. Maxwell opierając się na swoich równaniach, którymi poparł swoją teorię obliczył jako pierwszy prędkość rozchodzenia się promieniowania elektromagnetycznego (około 300 000 km/s) i wysnuł wniosek, że światło jest falą elektromagnetyczną, a jego prędkość jest równa prędkości rozchodzenia się tych fal. Wnioski te zostały potwierdzone doświadczalnie przez Heinricha Rudolfa Hertza, który przy pomocy wynalezionej przez siebie oscylatora po raz pierwszy wytworzył przewidziane przez Maxwella fale. Udowodnione wtedy również zostało, że jest możliwe połączenie ze sobą trzech niezależnych do tej pory działów fizyki – elektryczności, magnetyzmu oraz optyki. Na tym nie poprzestano. W 1905 roku świat poznał szczególną teorię względności a w 10 lat później jej rozszerzenie – ogólną teorię względności (OTW). Pierwsza połączyła czas

i przestrzeń w jedną formę zdarzeń zwaną czasoprzestrzenią. W drugiej natomiast Einstein rozpatrywał już czasoprzestrzeń wypełnioną dużymi i masywnymi obiektami, które ją zakrzywiały [3, 4].

Równoległe do teorii grawitacji Einsteina rozwijała się mechanika kwantowa, dzięki której mechanika klasyczna została przeniesiona na obiekty o małych rozmiarach i dużych energiach. Za pioniera w tej dziedzinie uważa się wspomnianego wyżej Maxa Plancka, który założył, że atomy rozgrzanych ciał wypromieniowują energię nie w sposób ciągły, lecz w postaci małych paczek – kwantów o energii równej $h\nu$. Było to nowe i ciekawe zagadnienie, które pasjonowało wielu fizyków. Jedną z pierwszych prac pisanych w temacie mechaniki kwantowej napisali Max Born, Werner Heisenberg i Pascual Jordan. Zastosowali oni mechanikę kwantową do pola elektromagnetycznego i wykazali, że „energia i pęd pola elektrycznego i pola magnetycznego w promieniu światła ma postać paczek, które zachowują się jak cząstki, a tym samym uzasadnili wprowadzoną przez Einsteina w 1905 roku koncepcję fotonów czyli cząstek światła” [2]. Następnym krokiem w rozwoju było przypisanie przez Luisa De Broglie w 1924 roku własności falowych cząstkom materialnym. Koncepcja ta została dwa lata później uzupełniona o równania falowe przez Erwina Schrödingera. Natomiast już w 1927 roku Werner Heisenberg sformułował swoją słynną zasadę. Która mówi, że nie można określić dokładnie położenia i pędu cząstki. Dzięki wszystkim tym odkryciom następował szybki rozwój teorii opisującej wzajemne oddziaływanie cząstek naładowanych – elektrodynamiki kwantowej. Dzięki mechanice kwantowej poznana została budowa atomu, odkryto ponad 100 cząstek uważanych za elementarne, z których większość to cząstki o krótkim czasie życia rzędu 10^{-10} sekundy, a przede wszystkim dokonał się ogromny postęp techniczny [4].

Aktualnie zadaniem fizyki współczesnej jest połączenie ogólnej teorii względności z mechaniką kwantową. Jest to jednak zadanie przysparzające wielu trudności. Obowiązującą dzisiaj teorią fizyki cząstek jest Model Standardowy, który opisuje cząstki jako bezwymiarowe punkty przestrzeni. Jeżeli zaczęlibyśmy zbliżać do siebie te punkty, okazałoby się, że siły działające między nimi rosną do nieskończoności. Nieskończoności te stanowią duży problem, który można rozwiązać przy użyciu matematycznej metody – renormalizacji. Metoda ta sprawdza się w przypadku łączenia trzech oddziaływań w Model Standardowy, jednak problem pozostaje, jeżeli zostanie uzupełniony o oddziaływanie grawitacyjne. Patrząc perspektywicznie w przyszłość niestety nie ma widoków na rozwinięcie teorii Modelu Standardowego o oddziaływanie grawitacyjne [5].

Poszukiwana w dalszym ciągu teoria wszystkiego musi spełniać odpowiednie warunki. Podstawowym z nich jest zawarcie w sobie wszystkich czterech oddziaływań fundamentalnych. Drugim, równie ważnym jest renormalizowalność pełnej teorii, co oznacza że nieskończoności, które pojawiają się w teorii znikają a jej wyrażenia matematyczne stają się policzalne. Rozważając ten temat dalej nasuwa się pytanie czy poszukiwana teoria wszystkiego musi być teorią kwantową? Pierwsza myśl potwierdza ten domysł, chociażby z racji, że grawitacja w niej zawarta musi występować w postaci kwantowej. Jednak po głębszych przemyśleniach nie można być pewnym odpowiedzi. Trudności znalezienia takiej teorii występują od wielu lat i wraz ze znalezieniem odpowiedzi na pytanie, pojawiają się kolejne, równie interesujące wątpliwości. Jednym z takich problemów jest fakt, iż nawet teoretycznie nie można stwierdzić, co działo się we wszechświecie w czasie poniżej 10^{-43} sekundy po Wielkim Wybuchu. Dlatego wydaje się możliwe, że do rozwiązania chociaż

części problemów brakuje odpowiedniego aparatu matematycznego. Sięgając do najwcześniejszych chwil istnienia wszechświata – do ery Plancka stwierdzić można że nie istniało rozgraniczenie pomiędzy poszczególnymi siłami. Należy również dodać, iż nie sposób opisać jak w tym okresie powinno się traktować czas i przestrzeń. Dopóki więc nie zostanie opracowana odpowiednia teoria nie będzie możliwy opis wszechświata w chwili Wielkiego Wybuchu [5, 6].

4. MODEL STANDARDOWY

W 1967 powstała tzw. „mała unifikacja”, która przysporzyła jej twórcom (Steven Weinberg, Sheldon Glashow, Abdus Salam) niemało problemów. Dokonali oni połączenia oddziaływań elektromagnetycznych i słabych. Jednak problemem w ich teorii był wynik obliczeń teoretycznych zgodnie z którym powinny istnieć cztery bezmasowe bozony – nośniki oddziaływań. Wiadomo jednak było, że jedyną cząstką nieposiadającą własnej masy jest foton. Należało więc znaleźć sposób umasowienia pozostałych 3 bozonów. Z pomocą przyszedł mechanizm spontanicznego łamania symetrii – mechanizm Higgsa. Dzięki niemu cząstki Z oraz W uzyskiwały masę, foton natomiast dalej pozostawał cząstką bezmasową. Nowe cząstki – wuony oraz zetony jak zaproponowali twórcy teorii elektroslabej zostały odkryte w CERN-ie. Był to wielki sukces zarówno samej teorii jak i jej twórców. Był to pierwszy duży krok na drodze do połączenia sił fundamentalnych [3, 4, 5].

Po sukcesie małej unifikacji, czyli teorii oddziaływań elektroslabych wiodącą rolę odgrywa obecnie inna teoria nazywana Modelem Standardowym. Jednoczy ona w sposób sztuczny oddziaływania elektroslabe oraz silne, jednak należy dodać, iż siły te nie są zunifikowane. Ogólne MS jest to zbiór założeń i teorii, które pozwalają na opis prawie wszystkich zjawisk występujących w mikrokosmosie. W pewnych dziedzinach opis w ramach tego modelu jest niezwykle dokładny, w innych natomiast jest on jedynie bardzo przybliżony lub też możliwy tylko po przyjęciu dodatkowych, skomplikowanych założeń. Należy jednak dodać, że do tej pory żaden eksperyment nie zakończył się wynikiem, który byłby sprzeczny z przewidywaniami MS, choć stale trwają prace nad weryfikacją poprawności teorii i poszukiwanie ewentualnych sprzeczności [5].

Ogólnie teorię Modelu Standardowego można przedstawić w trzech punktach [6]:

- materia składa się z kilku dokładnie zdefiniowanych pracząstek, które możemy podzielić na dwa rodzaje: kwarki oraz leptony,
- cząstki te są nośnikami „ładunków” różnego rodzaju,
- wszystkie obserwowane dotychczas zjawiska można opisać poprzez wymianę cząstek pośredniczących (bozonów) – nośników oddziaływań między pracząstkami. Cząstki-nośniki są charakterystyczne dla każdego rodzaju ładunku i oddziaływania.

Wyżej wymienione punkty to właściwie tylko hipotezy robocze, które do tej pory zostały potwierdzone w szeregu doświadczeń. Do tej pory rozdano już ponad dwadzieścia Nagród Nobla za prace, które przyczyniły się do powstania teorii MS. Podsumowując można śmiało powiedzieć, że MS skutecznie porządkuje naszą wiedzę o fundamentalnych składnikach materii oraz o panujących między nimi oddziaływaniach. Istnieje jednak poważne tendencyjne pytanie, na które ciężko odpowiedzieć posługując się MS [2].

Mówiąc o Modelu Standardowym należy dodać, iż tak właściwie opiera się on na symetrii. Symetrię w fizyce cząstek rozumiemy jako sytuację, w której prawa fizyki nie ulegną zmianie, jeżeli w równaniach opisujących jakiś rodzaj cząstek zamienimy te cząstki między sobą. Jeżeli wziąć pod uwagę na przykład kwarki, które występują w trzech kolorach, oraz równania teorii oddziaływań silnych. Oddziaływania silne posiadają symetrię $SU(3)$ - jeżeli w równaniach teorii oddziaływań silnych dokonamy zamiany trzech kolorowych kwarków, równania nie ulegną zmianie. Podobna sytuacja występuje w przypadku oddziaływań słabych, gdzie zamiast kwarków możemy dokonać zamiany elektronu i neutrina i w tym wypadku mamy do czynienia z symetrią $SU(2)$. Istnieje również symetria $U(1)$, która dotyczy oddziaływań elektromagnetycznych, która przekształca składniki pola elektromagnetycznego same w siebie. Wracając do problemu unifikacji oddziaływań można zauważyć, że symetrię $U(1)*SU(2)$ będzie posiadała teoria oddziaływań elektroslabych. Zaś Model Standardowy, który jednoczy wszystkie trzy wymienione wyżej teorie, opisany może być jedną wielką symetrią $U(1)*SU(2)*SU(3)$. Już teraz widać, iż nie jest to teoria idealna z racji braku oddziaływań grawitacyjnych [5, 6].

Zarówno Steven Weinberg jak i Michio Kaku twierdzą, że teoria opisująca podstawowe prawa natury powinna cechować się prostotą i pięknem. Taki sam pogląd wyznawał również jeden z największych fizyków XX-go wieku – Richard Feynman: „Prawdę można poznać po jej pięknie i prostocie. Gdy udaje się do niej dotrzeć, czuje się pewność – przynajmniej jeśli ma się trochę doświadczenia – ponieważ wtedy uzyskuje się więcej niż się zainwestowało. Niedoświadczeni, dziwacy i podobni im ludzie stawiają hipotezy bardzo skomplikowane, które na pierwszy rzut oka wydają się poprawne, ale ja wiem, że nie są prawdziwe, ponieważ prawda jest zawsze prostsza niż nam się wydaje” [3]. Powodów braku wyżej wspomnianego „pięknego” Modelu Standardowego można podać wiele, oto niektóre z nich [3]:

- teoria jest niekompletna, gdyż nie obejmuje oddziaływań grawitacyjnych;
- połączenie ze sobą trzech oddziaływań elementarnych jest w pewien sposób wymuszone, symetria Modelu Standardowego jest iloczynem symetrii poszczególnych oddziaływań;
- zawiera bardzo dużą liczbę cząstek uznawanych za elementarne i posiadających ogromną rozpiętość mas, od kilku eV/c^2 dla neutrin, do $175*10^9 eV/c^2$ dla kwarka top;
- zawiera 19 stałych opisujących masy cząstek i siły. Stałych tych nie można obliczyć, trzeba je dobrać w sposób sztuczny;
- nie wiadomo czy mechanizm Higgsa (mechanizm łamania symetrii) który zawiera w sobie jest poprawny.

W tej sytuacji w dalszym ciągu prowadzone są badania mające na celu rozszerzenie Modelu Standardowego i włączeniu do niego sił grawitacji.

5. PRÓBY UNIFIKACJI ODDZIAŁYWAŃ

Ideą poszukiwania jednej uniwersalnej teorii unifikującej w sobie wszystkie oddziaływania jest myśl, że tak naprawdę rzeczywistość jest mniej skomplikowana od tej, która jest zauważalna. Zgodnie z tą zasadą w przyrodzie istnieje tylko jedno uniwersalne oddziaływanie, zamiast czterech różnych. Trwaj zatem poszukiwania tej jednej unifikowanej teorii jednoczącej w sobie wszystkie cztery oddziaływania. Zaś jednym z głównych argumentów przytaczanych na poparcie tych poszukiwań są ciągle sprzężenia oddziaływań.

Sprężenia te można opisać następująco: „Każdemu typowi sił odpowiada stała sprężenia mnożąca funkcję opisującą zależność siły od odległości. Oddziaływania silne mają zasięg rzędu 10^{-13} cm, oddziaływania słabe 10^{-16} cm, a oddziaływania elektromagnetyczne i grawitacyjne maleją z odległością r odwrotnie proporcjonalnie do r^2 . Stałe sprężenia oddziaływań silnych, elektromagnetycznych, słabych i grawitacyjnych wynoszą odpowiednio: 1, 10^{-2} , 10^{-5} , 10^{-38} . Choć oddziaływania grawitacyjne cząstek elementarnych są nadzwyczaj słabe, to najsilniejsze siły we wszechświecie, występujące w czarnych dziurach, są siłami grawitacyjnymi” [7]. Nie da się w tym momencie uniknąć związku z kosmologią. Wszechświat narodził się bowiem w Wielkim Wybuchu. Rozpatrując pierwsze chwile jego istnienia zauważalne jest że w tych najwcześniejszych chwilach nie było podziału na poszczególne rodzaje sił. W miarę upływu czasu wszechświat rozszerzał się i jednocześnie obniżała się jego temperatura. Poszczególne oddziaływania wyodrębniły się w procesie nazywanym przejściem fazowym. I tak całkowita symetria pomiędzy siłami fundamentalnymi panowała w czasie ery Plancka ($\sim 10^{-43}$ sekundy po Wielkim Wybuchu). W tym okresie wszystkie oddziaływania były między sobą nierozróżnialne. Warunki, jakie wówczas panowały wykraczają poza znane prawa fizyki. Prawdopodobnie nawet kwantowa teoria grawitacji (dziś jeszcze nieznana) nie zdołałaby ich opisać. Przypuszczalnie, również w tym okresie, energia mogła swobodnie zamieniać się w masę i odwrotnie. Do opisu tej fizyki konieczna jest zunifikowana teoria wszystkich oddziaływań, która na pewno musi zawierać w sobie kwantową grawitację. W chwili zakończenia ery Plancka nastąpiło pierwsze przejście fazowe, i pojawiła się pierwsza siła – grawitacja. W następnym przejściu fazowym ($\sim 10^{-34}$ sekundy) wyodrębniło się oddziaływanie silne, a na samym końcu oddziaływanie słabe. Ponieważ fizycy poszukujący zunifikowanej teorii oddziaływań zauważyli, że unifikacja następuje wraz ze wzrostem energii (ciepło), odtwarzają w swoich badaniach takie właśnie warunki. Prowadząc eksperymenty w akceleratorach poddają oni zderzeniom cząstki materii, osiągając przy tym energię panującą w bardzo wczesnym wszechświecie. Pojawiają się natomiast dalsze problemy związane z uzyskiwaniem coraz większych energii. Według Alana Gutha aby uzyskać energię potrzebną do unifikacji oddziaływań silnych oraz elektroslabych potrzebny byłby akcelerator liniowy o długości około 70 lat świetlnych. W takim wypadku rozważania teoretyczne oraz poszukiwanie metod pośrednich wskazujących na poprawność tworzonych teorii staje się jedyną metodą [7].

6. TEORIE WIELKIEJ UNIFIKACJI

Jedną z prób, która odniosła początkowo sukces były Teorie Wielkiej Unifikacji (GUT). Zastosowano tam zamianę iloczynu symetrii Modelu Standardowego na jedną, wyższą symetrię $SU(5)$. W symetrii tej trzy kolorowe kwarki, elektron oraz neutrino tworzą ze sobą multiplet – zespół cząstek elementarnych, które cechują się podobnymi własnościami. Wadą tych teorii jest zwiększenie ilości nośników oddziaływań z 12 do 24. Dwanaście nowych nośników musi posiadać jakiś ładunek – elektryczny, kolorowy lub słaby, oraz pełnić jakąś rolę. W MS przez wymianę bozonów dokonuje się zmiana cząstek. I tak wymiana gluonów pomiędzy kwarkami może zmieniać ich kolor, czyli rodzaj kwarku w tej samej rodzinie. Wymiana bozonu W jest przyczyną zmiany rodzaju kwarku (lub leptonu) w tej samej rodzinie, bez zmiany ładunku kolorowego. Wymiana nowych nośników oddziaływań

oznaczałaby możliwość przemiany kwarków w leptony i odwrotnie, oraz kwarków w antykwarki [8]. Próby oszacowania energii, przy której miałyby dojść do połączenia trzech podstawowych sił prowadzą do analizy wspomnianych już stałych sprzężenia oddziaływań. Okazuje się, że te stałe zmieniają się wraz z energią zjawiska w którym są mierzone. „Mówi się, że wartość stałej sprzężenia biegnie wraz z energią, a same stałe sprzężenia określa się zwykle jako biegnące” [9]. Z obliczonych wartości biegnących stałych sprzężeń wynika, że trzy fundamentalne siły wchodzące w skład MS unifikują się przy energii rzędu 10^{15} GeV. Jednak dla MS nie jest to unifikacja idealna. Energia ta jest już bardzo blisko energii Plancka, a więc energii nieosiągalnej dla badań akceleratorowych. Jest to poważny problem dla sprawdzenia poprawności teorii GUT. Starano się rozwiązać ten problem. Zauważono, że z racji, iż trzy kwarki, elektron i neutrino mogą się wzajemnie wymieniać, można dokonać zamiany protonu (zbudowanego z kwarków) na elektron lub neutrino. Konsekwencją takich rozważań jest wniosek, że proton uważany za cząstkę stabilną może ulec rozpadowi. Według teoretyków proton najczęściej może rozpadać się na pion i pozytron, a czas rozpadu protonu na leptony miałby wg teorii GUT wynosić 10^{30} lat. Jest to znacznie więcej niż wiek wszechświata. Pomimo tego otrzymano wskazówkę i rozpoczęto poszukiwania rozpadu protonu. Prowadzono doświadczenia, w których obserwowano olbrzymie zbiorniki z wodą. Rozpadu protonu jednak nie udało się zaobserwować do dzisiaj. Obecnie obliczony czas życia protonu jest wynikiem eksperymentu Superkamiokande, w którym poddawano ciągłej obserwacji zbiornik zawierający 50000 ton wody. Pomimo tego, że nie udało się zauważyć rozpadu protonu obliczono, że jego przypuszczalny czas „życia” do rozpadu na leptony wynosi $7,3 \cdot 10^{33}$ lat [10]. Tym samym wyeliminowano prostsze teorie GUT (SU5), które przewidywały czas rozpadu protonu na około 10^{32} lat. Nie jest to jednak definitywny koniec teorii GUT, gdyż może się jeszcze okazać, że protony mogą się rozpadać [6, 7].

7. STRUNY

Następnym krokiem była teoria strun. Według niej jeśli dostatecznie powiększyć cząstki MS uważane dotąd za punktowe, zauważyć by można że są one małą, pojedynczą, drgającą struną. Struny wg. teorii powinny być pozbawione grubości i ich długość powinna być rzędu długości Plancka. Jako obiekty jednowymiarowe są więc dobrymi kandydatami na najbardziej elementarne składniki materii. Każda struna może drgać na wiele rozmaitych sposobów i „według teorii strun właściwości cząstki elementarnej – jej masa i różne ładunki sił – wyznaczone są przez drgania rezonansowe, które wykonuje jej wewnętrzna struna” [4], co oznacza, że strunę drgającą na wiele różnych sposobów można postrzegać jako różne cząstki elementarne. W ten sposób teoria strun wyjaśnia, dlaczego we wszechświecie istnieje tak dużo cząstek elementarnych. Intuicyjnie wiadomo, że im większa częstotliwość drgań struny tym większa energia, a wynikająca ze szczególnej teorii względności równoważność masy i energii mówi o tym, że większa energia wiąże się z większą masą. I tu po raz kolejny pojawia się problem związany z grawitacją. Masa podlega grawitacji, a więc istnieje związek między częstością drgań struny i grawitacją. Ponieważ z założenia wszystkie struny są identyczne, różnice między cząstkami wynikają tylko z różnicy drgań struny podstawowej. Teoria ta wprowadziła ten sam mechanizm w stosunku do ładunków, które niosą ze sobą

poszczególne cząstki. W ten sam sposób teoria strun wyjaśnia pochodzenia cząstek przenoszących oddziaływania [3, 4].

Najważniejszy i najbardziej spektakularny krok w tej teorii został wykonany w 1974 roku przez Johna Schwarza i Michaela Greena. Włączyli oni do teorii grawitację oraz wysunuli koncepcję gravitonu jako nośnika oddziaływań grawitacyjnych. Wywołało to wielkie zainteresowanie tą teorią w połowie lat osiemdziesiątych. Ponieważ graviton zyskał wymiar – długość rzędu długości Plancka, jego rozmiary wyznaczyły granicę dokładności, z jaką można opisać pole grawitacyjne. W ten sposób nałożono ograniczenie na fluktuację próżni będące wynikiem zastosowania zasady nieoznaczoności do pola grawitacyjnego i stanowiące główny problem w połączeniu mechaniki kwantowej i ogólnej teorii względności. Fluktuacje kwantowe próżni pojawiają się podczas rozważań nad zasadą nieoznaczoności dla pola grawitacyjnego na odległościach mniejszych od długości Plancka [3].

Jeżeli teoria strun jest teorią poprawną, drgania muszą opisywać i wyjaśniać własności cząstek MS. Gdyby udało się dopasować drgania strun do mas cząstek MS, mogłoby to oznaczać, iż fizycy są na właściwej drodze do Wielkiej Unifikacji. Na korzyść tej teorii świadczy jeszcze jeden argument. Z jej równań po raz pierwszy określona została ilość dodatkowych wymiarów przestrzennych wszechświata. Przewiduje ona istnienie dziesięciu wymiarów czasoprzestrzennych, a więc dziesięciu przestrzennych oraz czasu. W tych dziewięciu wymiarach przestrzennych drgają przewidziane przez teorię struny [4, 6].

Najnowszą „odmianą” teorii strun jest zaproponowana w 1995 roku przez Edwarda Wittena M-teoria. Nie jest jeszcze poznana, ale podobnie jak teoria strun zakłada istnienie hiperprzestrzeni. Oferuje nam ona możliwość unifikacji wszystkich sił za pomocą dziesięcio- lub jedenastowymiarowej przestrzeni. Istnieje tam pięć różnych teorii strun różniących się m.in. ilością przewidywanych wymiarów przestrzennych. Witten pokazał, że te pięć teorii to pięć różnych sposobów opisu jednej teorii za pomocą matematyki. Tą nową teorię nazwano M-teorią. Obejmuje ona i łączy z sobą wszystkie pięć poszczególnych teorii strun. Zgodnie z pracami Wittena wszechświat posiada nie dziewięć, ale dziesięć wymiarów przestrzennych, ponieważ w tylu wymiarach można połączyć ze sobą wszystkie teorie strun. Z jego prac wynika również, iż możliwe jest istnienie dwuwymiarowych obiektów, które zostały nazwane branami. Mogą istnieć obiekty (brany) o wyższej liczbie wymiarów, ale nie większej niż dziesięć. Okazuje się jednak, że wszystkie brany są znacznie cięższe od strun. Zgodnie z równaniem Einsteina do wyprodukowania cięższych obiektów potrzeba więcej energii. Nie zanoszą więc na ich doświadczalne wykazanie [9, 10].

8. PODSUMOWANIE

Energie osiągnęte dziś w akceleratorach są olbrzymie. Najpotężniejszy zderzacz LHC, który znajduje się w Genewie może osiągać olbrzymią energię (14 TeV przy zderzeniu protonów). Aby jednak badać przestrzeń na odległościach rzędu długości Plancka potrzeba urządzeń o wiele mocniejszych. Niewykluczone, że trzeba będzie zbudować zupełnie inne urządzenia oparte na nowych, dziś jeszcze nieznanach technologiach. Lecz pomimo dużego optymizmu naukowców, pomimo nowoczesnej techniki i teorii, zdaniem wielu naukowców np. sir Roger’a: „Jesteśmy znacznie dalej od ostatecznej teorii, niż to się może wydawać. Idee strunowe (oraz inne z nimi związane) doprowadziły do powstania ciekawych konstrukcji

matematycznych. Jednak nieprzekonujących ostatecznie, że przedstawiają coś innego niż tylko ciekawe konstrukcje matematyczne, które zawdzięczają swoje pochodzenie głębokim ideom fizycznym. Zdaniem wielu wątpliwe są także teorie, w których przyjmuje się wyższe wymiary czasoprzestrzeni niż te, jakie możemy bezpośrednio obserwować (a więc $3 + 1$)” [5].

LITERATURA

1. L. Lederman, *Boska cząstka*, Prószyński i Spółka, Warszawa, 2005.
2. S. Weinberg, *Sen o teorii ostatecznej*, Alkazar, Warszawa, 1994.
3. M. Kaku, *Hiperprzestrzeń, wszechświaty równoległe, pętle czasowe i dziesiąty wymiar*, Prószyński i Spółka, Warszawa, 1999.
4. B. Greene, *Piękno Wszechświata*, Prószyński i Spółka, Warszawa, 2001.
5. R. Penrose, *Droga do rzeczywistości – wyczerpujący przewodnik po prawach rządzących Wszechświatem*, Prószyński i Spółka, Warszawa, 2006.
6. A. Guth, *Wszechświat inflacyjny. W poszukiwaniu nowej teorii pochodzenia kosmosu*, Prószyński i Spółka, Warszawa, 2000.
7. J. Friedman, *Nowe horyzonty fizyki cząstek*, <http://www.fuw.edu.pl/~ajduk/zjazd/friedman.htm>
8. J. Sikorski, *Leptony, hadrony, kwarki*, <http://postepy.camk.edu.pl/jks-kwarki8.html#pkt0>
9. <http://lxa.physik.uni-bonn.de/outreach/wyp/exercises/keyhole/pl/about/Credits.html>
10. <http://hep.fuw.edu.pl/u/wrochna/lectures/nobel02fw.pdf>

