

MACIEJ PANCZYKOWSKI

ISTOTA FIZYKI

SPIS TREŚCI

Str. 3 - Rozdział 1 - PRZESTRZEŃ I CZAS

Str. 8 - Rozdział 2 - MATERIA

Str. 16 - Rozdział 3 - SIŁY

Str. 23 - Rozdział 4 - RUCH I ZŁOŻONOŚĆ

Str. 35 - Rozdział 5 - PROBLEMY FIZYKI KWANTOWEJ

Str. 43 - Rozdział 6 - FIZYKA PRZYSZŁOŚCI

Str. 53 - LITERATURA

1. PRZESTRZEŃ I CZAS

Wszechświat istnieje już 13,8 miliarda lat. Przez tak długi czas rozszerza się jego przestrzeń, a z zawartej w niej materii formują się różnorodne ciała fizyczne.

Na początku był **Wielki Wybuch**, przy czym w tym jednym przypadku, wyjątkowo, wybuchła sama przestrzeń z całą zawartością, bo, jak wiemy, znane nam eksplozje przebiegają zawsze w obrębie przestrzeni. Teoria Wielkiego Wybuchu jest obecnie bardzo dobrze potwierdzona i uznawana. Na jej korzyść przemawiają przede wszystkim: zjawisko oddalania się od siebie prawie wszystkich obserwowanych przez astronomów galaktyk (z wyjątkiem tych, które są tak blisko siebie, że przeważa przyciąganie grawitacyjne) oraz niemal jednorodnie wypełniająca przestrzeń kosmiczną mikrofalowe promieniowanie reliktowe.

Skoro galaktyki na ogół oddalają się od siebie, tak jak plamki na nadmuchiwanym balonie, to oznacza, że w przeszłości były bliżej siebie, a 13,8 miliarda lat temu były skupione w tajemniczym, niezmiernie małym obiekcie, który zawierał wszystko. Był niezmiernie gęsty i niezmiernie gorący; być może nawet nieskończenie. Jedno jest pewne - istniał. Gdyż przestrzeń z materią, nawet przed ekspansją, na pewno była czymś innym niż nicość (nic).

A skąd się ten obiekt wziął? Oto jest pytanie. Moim zadaniem w tym miejscu fizyka spotyka się z religią lub z ezoteryką. Muszę tylko powiedzieć, że mimo, że jestem fizykiem i naukowcem, ten obiekt uczy pokory i szerszego spojrzenia na istnienie i na możliwe różne rodzaje istnienia. Jest tak dlatego, że koncepcja powstania Wszechświata z nicości funkcjonuje w fizyce jako hipoteza, a nie fakt, mimo, że jest lubiana.

Ekspansja przestrzeni Wszechświata jest zjawiskiem ciekawym i tajemniczym. Nikt nie wie dlaczego ma ona zdolność rozszerzania się i jaki jest mechanizm tego zjawiska. Sama ekspansja przypomina wydłużanie się linijki w ten sposób, że powiększa się dystans między wszystkimi podziałkami. Gdybyśmy na przykład ustawili jeden obiekt przy podziałce "0", a drugi - przy podziałce "1" to odległość między nimi zwiększałaby się mimo, że nie byłoby między nimi żadnego oddziaływania o charakterze odpychającym i każdy byłby cały czas przy swojej podziałce.

Obecny Wszechświat jest po tylu latach istnienia i rozszerzania się bardzo duży. Jego widzialna część (czyli ta, którą można obserwować; ta z której dopływają informacje do przyrządów astronomicznych) jest kulą o średnicy około:

10^{24} kilometrów (1 i 24 zera!) czyli milion miliardów miliardów kilometrów

Nie jesteśmy pewni czy to, co widzimy to wszystko lub prawie wszystko, a jeśli nie - to jaką część zdołaliśmy dostrzec. Pewne jest to, że żyjemy w przestrzeni trójwymiarowej, czyli takiej, w której do wyznaczenia położenia każdego obiektu potrzebne są trzy niezależne parametry, w której każdy obiekt ma swoją długość, szerokość i wysokość. Wszelkie koncepcje istnienia większej liczby wymiarów, zwiniętych i o mikroskopowych rozmiarach, pozostają w sferze hipotez (np. zwinięte 6-wymiarowe przestrzenie w teorii superstrun).

A co z czasem? Czym jest czas? Jakie są jego związki z koncepcją czasoprzestrzeni?

Czas jest parametrem, którego wartość zwiększa się wraz ze zmianami w układach fizycznych, powodowanymi przez oddziaływania fizyczne (np. grawitacyjne lub elektromagnetyczne). Oddziaływania powodują zmiany nieprzerwanie, dlatego też nieprzerwanie biegnie czas. Odmierzamy go zawsze za pomocą przyrządów (zegarów) wykorzystujących zjawiska o charakterze cyklicznym. Na te zjawiska ma wpływ stan ruchu przyrządu. Jeśli zatem zegar porusza się, to jedno jego tyknięcie będzie trwało dłużej niż u zegara obserwowanego w spoczynku. Zegar w ruchu będzie więc wskazywał wolniejszy upływ czasu, a człowiek realnie poruszający się wraz z nim będzie starzał się wolniej. Jest to zjawisko tzw. **dylatacji czasu**, będące ważną częścią szczególnej teorii względności (STW), sformułowanej w 1905 roku przez Alberta Einsteina.

Pojęcie czasoprzestrzeni, wywodzące się z STW i robiące od 100 lat olbrzymią karierę w fizyce mówi nam tyle, że współrzędne: czasową i przestrzenne zdarzenia według jednego obserwatora można obliczyć ze współrzędnych: czasowej i przestrzennych tego samego zdarzenia według obserwatora w innym rodzaju ruchu. Skoro są one ściśle współzależne, to można stworzyć pewien byt: czasoprzestrzeń. Należy jednak pamiętać, że te zależności są ściśle matematyczne, obliczeniowe i ten byt też taki jest. Wygoda obliczeniowa sprawia, że nie tylko robi karierę, ale bywa nadinterpretowany, "urealniany", co nie zmienia faktu, że żyjemy w trzech wymiarach, a ten "czwarty", czasowy wymiar nie jest widzialny i mierzymy go w zupełnie inny sposób.

Jeśli powrócimy do wyobrażenia rozszerzającego się Wszechświata jako nadmuchiwanego balonu, to zauważymy, że jego promień cały czas rośnie i ma taką samą długość dla każdego punktu balonu. Z tym promieniem związany jest tak zwany **czas kosmiczny** - czas który powstał wraz z początkiem Wszechświata. Wiążąc powierzchnię balonu z naszą przestrzenią, widzimy, że mimo, że spoczynek lub ruch w obrębie tej przestrzeni ma wpływ na lokalny upływ czasu, to czas kosmiczny dla każdego w tej przestrzeni biegnie tak samo. Tak jak pisałem na samym początku tego rozdziału, całkowity upływ tego czasu szacowany jest na 13,8 miliarda lat.

Wszechświat symbolizowany przez balon jest zamknięty, czyli zawiera on skończoną objętość. Modele kosmologiczne przewidują, że taki Wszechświat musi zawierać gęstość materii przekraczającą tzw. **gęstość krytyczną**. Wtedy to jego krzywizna jest dodatnia, a zawarta materia po skończonym czasie wyhamowuje jego ekspansję i powoduje fazę kurczenia się. Tak jak kamień rzucony do góry przez człowieka jest wyhamowywany przez Ziemię i powraca na jej powierzchnię. W przypadku gęstości materii równej gęstości krytycznej Wszechświat byłby jednak płaski i nieskończony, a gęstości materii mniejszej niż gęstość krytyczna - nieskończony i o ujemnej krzywiznie.

Teoretycy kosmologii lubią koncepcję Wszechświata (Uniwersum) skończonego i zamkniętego, gdyż wybuch intuicyjnie wskazuje na symetrię sferyczną, a skończony wiek Wszechświata nie pasuje do nieskończonych rozmiarów przestrzennych. Niemniej jednak obserwacje i pomiary w obrębie przestrzeni kosmicznej wskazują, że jest ona niemal idealnie płaska. Zatem obecnie przypuszcza się, że oprócz zwykłej materii (tworzącej gwiazdy, planety, pył kosmiczny i gaz międzygwiazdny i międzygalaktyczny), która stanowi tylko 4,9% gęstości krytycznej, istnieje także tajemnicza **ciemna materia**, która niczego nie emituje i nie odbija, a tylko oddziałuje grawitacyjnie i daje wkład 25,8% gęstości krytycznej oraz tajemnicza **ciemna energia**, która wzmaga ekspansję Wszechświata i jej wkład wynosi 69,3% gęstości krytycznej ($4,9\% + 25,8\% + 69,3\% = 100\%$).

Samo 4,9% - to wydaje się być bardzo niewiele jak na zwykłą materię. Jest to złudzenie, gdyż jej masa w naszym, widzialnym Uniwersum, czyli w kuli o średnicy 10^{24} kilometrów wyraża się liczbą zawrotną. Spróbujmy teraz wyznaczyć tę liczbę. Zwykła materia składa się ze składników jąder atomowych: protonów i neutronów oraz z elektronów - atomowych składników pozajądrowych, a także z fotonów, czyli cząstek światła i innych fal

elektromagnetycznych oraz z neutrin - ultralekkich, tajemniczych cząstek, o których dowiemy się więcej w rozdziale 2.

Masa elektronu, fotonów i neutrin jest zaniedbywalna w porównaniu z masą protonu i neutronu. Liczba protonów widzialnego Uniwersum jest tego samego rzędu co liczba neutronów, tylko większa. Więc wystarczy przyjąć, że liczba protonów jest rzędu:

$N_p \approx 10^{80}$ (tzw. **liczba Eddingtona**)

i pomnożyć ją przez masę protonu: $1,672 \cdot 10^{-27}$ kg (bardzo niewielka liczba: 1,672 w liczniku oraz jedynek i 27 zer w mianowniku).

Otrzymujemy wynik rzędu: 10^{53} kg = 10^{50} ton

Trzeba przyznać, że wynik imponujący. Co ciekawe, istnieją liczby bardziej kosmiczne niż liczba Eddingtona. Przykładowo, liczba fotonów Wszechświata szacowana jest na 10^{89} i liczba neutrin też.

Pytania dla przyszłości

Pomimo ogromnego rozwoju kosmologii, nasz obraz Wszechświata wciąż zawiera więcej podstawowych pytań niż otrzymanych odpowiedzi. Oto lista problemów kierowanych do przyszłych kosmologów i fizyków, które wciąż są ciekawe i nurtujące i czekają na rozwiązanie:

1. Czy Wszechświat zaczął się od nieskończonego gęstego punktu, czy od niewielkiej struktury o skończonych rozmiarach i gęstości?
2. Czy Wszechświat jest zamknięty, czy jego krzywizna jest zerowa lub ujemna i, co za tym idzie, czy zapadnie się z powrotem, czy będzie rozszerzał się w nieskończoność?
3. Jeśli Wszechświat zapadnie się z powrotem w tzw. **Wielkim Kolapsie**, to czy będzie to definitywny koniec wszystkiego: przestrzeni, czasu i materii, czy po kolapsie nastąpi kolejny Wielki Wybuch?
4. Jaką część Wszechświata stanowi Wszechświat widzialny?
5. Jaki jest kształt Wszechświata? Czy jest trójwymiarową sferą, trójwymiarowym torusem czy jest jeszcze czymś innym?

6. Czym jest ciemna materia, której istnienie postuluje się w związku z obserwacją znacznie silniejszych zjawisk grawitacyjnych w galaktykach, niż wskazywałaby na to ilość materii emitującej światło? Czy składa się ona z nieznanymi jeszcze cząstek czy może jest tylko postulatem ad hoc i tak naprawdę nie istnieje, a przyczyną wspomnianych zjawisk jest inne prawo grawitacji na odległościach galaktycznych?

7. Czym jest ciemna energia, której istnienie postuluje się w związku z obserwacją coraz szybciej rozszerzającego się Wszechświata? Czy jest tylko postulatem ad hoc, a przyczyna tego przyspieszenia jest inna?

8. Czy przestrzeń stanowi kontinuum, w którego każdym odcinku jest nieskończona liczba punktów, czy ma strukturę ziarnistą, czyli składa się z drobnych "komórek", tak jak pozornie ciągła sztabka złota składa się z atomów złota?

2. MATERIA

Nie jesteśmy pewni co do ziarnistości przestrzeni, ale taką pewność mamy co do materii, jaką ona zawiera. Materia to coś zupełnie innego; coś skupionego, "stawiającego opór". Gdy wyobrazimy sobie, że poruszamy się w przestrzeni kosmicznej, to czujemy, że przestrzeń nie wpływa na nasz ruch w żadnym kierunku. Daje nam pełną wolność i jest rozciągnięta na dowolnym obszarze. Będzie tak do czasu, dopóki nie natrafimy na obiekt materialny, który ma określony rozmiar i uderzy w nas albo my w niego uderzymy, co zmieni nasz stan ruchu. Przestrzeń, mimo że tak odmienna, jest jednak materii potrzebna nie tylko dla możliwości przemieszczania się. Materia nie może bez niej istnieć, tak jak sęk nie istnieje bez drewna.

Obecnie wiemy doskonale, że materia składa się z atomów różnych pierwiastków, np: wodoru, tlenu, krzemu, węgla lub żelaza. Atomy nie są jednak bezstrukturalne i nierozbijalne na części, na co wskazywać mogłaby ich myląca nazwa, wynikająca z dawnych przekonań (gr. *atomos* - niepodzielny). Składają się z jądra atomowego i poruszających się poza nim elektronów. Jądro atomowe ma ładunek dodatni, gdyż w jego skład zawsze wchodzi dodatnio naładowane protony oraz prawie zawsze neutrony, które są obojętne elektrycznie (wyjątkiem jest najlżejszy izotop wodoru - prot, którego jądrem jest tylko jeden proton). Elektrony mają równoważący ładunek ujemny, co sprawia, że atomy są obiektami o zerowym, wypadkowym ładunku.

Jesteśmy obecnie niemal pewni, że elektron jest cząstką elementarną, czyli taką, która nie składa się z mniejszych cząstek i jest rzeczywiście niepodzielna. Protony i neutrony (noszące wspólną nazwę nukleonów) składają się z tajemniczych cząstek, również najprawdopodobniej elementarnych, które noszą nazwę kwarków. To jednak nie jest wszystko. Obecnie znamy 25 cząstek elementarnych. Nie wszystkie są trwałe. Niektóre istnieją przez bardzo krótki czas. Dzielimy je ze względu na wartości czterech własności: masy, ładunku, spinu (własności związanej z wirowaniem wokół własnej osi) i tajemniczego "koloru" nie mającego nic wspólnego z barwą.

Wyróżniamy dwie podstawowe grupy cząstek elementarnych: **fermiony** i **bozony**. Te pierwsze mają spin wyrażony liczbą $\frac{1}{2}$, a te drugie mają spiny wyrażone po prostu wartością 1 lub 0. Fermiony stabilne są budulcami wszystkich rzeczy i obiektów Wszechświata; funkcja bozonów jest zupełnie inna i zostanie omówiona dokładniej w rozdziale 3.

Fermiony nieniosące wspomnianego już "koloru" to tzw. leptony, a te, które cechuje jego niezerowa wartość to tzw. kwarki.

LEPTONY:

Zdecydowanie najbardziej znaną i popularną cząstką elementarną jest **elektron**. To ta cząstka, która wchodzi w skład atomów i porusza się poza jądrami atomowymi. Odpowiada za ich właściwości chemiczne. To również cząstka, której ukierunkowany ruch w obrębie przewodnika stanowi prąd elektryczny, bez którego nie można sobie już wyobrazić współczesnej cywilizacji.

Wylistujmy teraz jej cechy:

Spin = $\frac{1}{2}$

Ładunek = -e (elementarny ładunek ujemny, najmniejsza porcja wolnego ładunku ujemnego)

Kolor = 0

Średni czas życia - cząstka trwała

Masa = $9,109 \cdot 10^{-31}$ kg (cząstka bardzo lekka, jest 1836 razy lżejsza od protonu i 1838 razy lżejsza od neutronu)

Powyższa masa to tzw. **masa spoczynkowa**, tj. masa, którą posiada każda cząstka, która nie może poruszać się z prędkością światła (maksymalną osiągalną prędkością we Wszechświecie). Taka cząstka może poruszać się z każdą inną prędkością lub spoczywać i to właśnie w spoczynku wyznaczana jest masa spoczynkowa. Wartość masy mierzona w ruchu jest większa, co jest efektem przewidzianym przez szczególną teorię względności.

Następnym, znanym nauce fermionem jest **mion**. Okazało się, że elektron ma "kuzyna", który różni się od niego masą spoczynkową i czasem życia. Nie był on przewidywany teoretycznie. Został odkryty zanim ktokolwiek postawił hipotezę o możliwości jego istnienia. To rzadki przykład praktyki przed teorią w fizyce cząstek elementarnych. Lista cech mionu jest następująca:

Spin = $\frac{1}{2}$

Ładunek = -e (elementarny ładunek ujemny, najmniejsza porcja wolnego ładunku ujemnego)

Kolor = 0

Średni czas życia = $2,2 \cdot 10^{-6}$ sekundy (10^{-6} = jedna milionowa, 10^6 = milion)

Masa spoczynkowa = około 207 razy większa niż u elektronu

Nauka odkryła również lepton jeszcze wyższego rzędu. Nazywa się **taon**. Ma ten sam spin i ładunek, co dwa poprzednie, ale żyje jeszcze krócej ($2,9 \cdot 10^{-13}$ sekundy) i ma masę około 3480 razy większą niż elektron.

Istnieją zatem 3 naładowane leptony, z czego tylko jeden - ten najlżejszy - jest trwały. Oprócz nich występują we Wszechświecie 3 odpowiadające wymienionym leptony nienaładowane: **neutrino elektronowe, mionowe i taonowe**. Potrafią one przechodzić w siebie nawzajem w zjawisku tzw. **oscylacji neutrin**. Ich masa spoczynkowa nie jest dokładnie znana, ale jest różna od zera. Szacuje się, że jest ona rzędu milionowej części masy elektronu. Są to więc cząstki ultralekkie. Wypełniają przestrzeń kosmiczną i bardzo słabo oddziałują z materią.

Podsumowując: leptony mogą mieć różne czasy życia, masy i ładunki. Ich częścią wspólną jest to, że mają spin połówkowy i kolor równy zero.

KWARKI:

Fermionami, które mają spin połówkowy i niezerowe wartości "koloru" są kwarki. To bardzo ciekawe cząstki. Mają ułamkowe wartości ładunku i nigdy nie występują wolno i pojedynczo. Są niezwykle "towarzyskie". Istnieją trzy możliwe wartości "koloru": "zielony", "niebieski" i "czerwony". Kwarki o tych trzech "kolorach" przyciągają się silnie i tworzą cząstki złożone z takich trójek, zwane **barionami**. Jedynymi stabilnymi, a ponadto znanymi i niezmiernie ważnymi barionami są nukleony: proton i neutron (stabilny tylko w obrębie jądra atomowego). Ktoś mógłby powiedzieć: "Te dwie cząstki są do siebie podobne, ale nie są identyczne. Więc czym się różnią?". Różnią się kombinacjami kwarków, jakie wchodzą w ich skład, a mówiąc ściśle - ich zapachami. W przyrodzie możliwe jest istnienie 6 zapachów kwarków: u (górnny), d (dolny), s (dziwny), c (powabny), b (piękny) i t (prawdziwy). Tylko kwarki o dwóch pierwszych zapachach są stabilne, więc nietrudno domyślić się, że one wchodzą w skład nukleonów. I tak rzeczywiście jest. Proton to kombinacja: uud, a neutron tworzony jest przez kombinację: udd.

Kwarki: d, s oraz b mają ładunek o wartości: $-\frac{1}{3}e$

Kwarki: u, c oraz t mają ładunek o wartości: $+\frac{2}{3}e$

Możemy zatem obliczyć, że kombinacja uud daje w sumie ładunek $+e$ charakterystyczny dla protonu, a kombinacja udd ma wypadkowy ładunek zero i to też się zgadza, gdyż neutron jest elektrycznie obojętny, co ma zresztą odbicie w jego nazwie.

Masy kwarków nie są idealnie znane, tylko w zakresach i mają one tak "rozstrzelone" wartości, że nie sposób dostrzec w tym żadnej prawidłowości.

Oto lista, która przedstawia ile mniej więcej razy poszczególne kwarki są cięższe od elektronu:

Kwark u: 4,5 razy

Kwark d: 9,4 razy

Kwark s: 186 razy

Kwark c: 2530 razy

Kwark b: 8200 razy

Kwark t: 338 000 razy

Co ciekawe, kwark t jest najcięższą, znaną nauce cząstką elementarną. Waży prawie tyle, co atom złota, w skład którego wchodzi 79 protonów i 118 neutronów. To prawdziwy, elementarny gigant.

Fermiony tworzą trzy generacje. Pierwsza generacja, stabilna i tworząca złożone obiekty Wszechświata to: kwark u, kwark d, elektron i neutrino elektronowe. Druga generacja to: kwark c, kwark s, mion i neutrino mionowe. W skład trzeciej generacji wchodzi: kwark t, kwark b, taon i neutrino taonowe. Dwie ostatnie generacje zawierają cząstki niestabilne, o krótkim lub bardzo krótkim czasie życia. Znane są one przede wszystkim jako wynik wysokoenergetycznych zderzeń w akceleratorach cząstek.

Jak dotąd poznaliśmy 12 fermionów. Przejdźmy teraz do omówienia pozostałych 13 cząstek elementarnych z grupy bozonów.

Najbardziej znanym bozonem, dorównującym popularnością elektronowi, jest **foton**. Z fotonów składa się światło (promieniowanie widzialne), a także inne promieniowanie: podczerwone, ultrafioletowe, mikrofalowe, rentgenowskie i radiowe. Ciekawą rzeczą jest fakt, że foton nie ma masy spoczynkowej. Porusza się zawsze z jedną prędkością - tzw. **prędkością światła**, oznaczaną symbolem

"c". Jej wartość wynosi około 300 000 kilometrów na sekundę i jest to maksymalna prędkość jaką mogą osiągać obiekty Wszechświata. Takie górne ograniczenie prędkości jest fundamentalną cechą szeroko rozumianej przyrody.

Foton ma energię (E), którą można przeliczyć na masę (m) zgodnie ze słynnym w fizyce wzorem:

$$E = mc^2$$

przy czym należy pamiętać, że nie jest to już masa spoczynkowa.

Fotony różnych rodzajów promieniowania różnią się częstotliwością swych drgań. Ich energia jest tym wyższa im wyższa jest częstotliwość (ν). Stałą proporcjonalności jest **stała Plancka** (oznaczana symbolem "h"):

$$E = h\nu$$

I tak na przykład: najniższą częstotliwość ma foton promieniowania radiowego, wyższą - promieniowania mikrofalowego, dalej - podczerwonego, a potem: widzialnego, ultrafioletowego i rentgenowskiego. Fotony rentgenowskie niosą najwyższą energię, więc są najbardziej niebezpieczne i destrukcyjne, ale w małych dawkach znalazły zastosowanie medyczne przy prześwietleniach.

Spójrzmy na listę cech charakteryzujących foton:

Spin = 1

Ładunek = 0

Kolor = 0

Średni czas życia - cząstka trwała

Masa spoczynkowa = 0

Następnymi elementarnymi bozonami są tzw. **gluony**. Są to ciekawe, nieobserwowalne w życiu codziennym cząstki, które wchodzą w skład nukleonów, dają duży wkład do ich masy i sprawiają, że kwarki są "towarzyskie" i trzymają się razem. Stąd zresztą bierze się nazwa tych osobliwych bozonów, gdyż słowo "glue" znaczy w języku angielskim: "klej".

Znamy aż 8 rodzajów gluonów. Oto ich charakterystyka:

Spin = 1

Ładunek = 0

Kolor = różny od zera

Średni czas życia - cząstka trwała

Masa spoczynkowa = 0

Oprócz 9 poznanych bozonów istnieją jeszcze masywne **bozony**: W^+ , W^- i Z^0 oraz słynny **bozon Higgsa**.

Bozony masywne W (cechy):

Spin = 1

Ładunek = -e lub +e (elementarny ładunek, najmniejsza porcja wolnego ładunku)

Kolor = 0

Średni czas życia - $3 \cdot 10^{-25}$ sekundy

Masa spoczynkowa = około 157 600 razy większa niż u elektronu

Bozon masywny Z (cechy):

Spin = 1

Ładunek = 0

Kolor = 0

Średni czas życia - $3,2 \cdot 10^{-25}$ sekundy

Masa spoczynkowa = około 178 800 razy większa niż u elektronu

Bozony te biorą udział w jednym z oddziaływań przyrody, tzw. oddziaływaniu słabym. Szerzej omówimy ich funkcję oraz funkcję gluonów w rozdziale 3.

Bozon Higgsa został odkryty najpóźniej, bo dopiero w lipcu 2012 roku. Sporo mówiono wtedy o nim w mediach. Jego istnienie było przewidywane teoretycznie od wielu lat, ale potwierdzenie wymagało wiele czasu, cierpliwości i zbudowania nowego akceleratora cząstek (LHC - Large Hadron Collider). Jest to niezwykle ciekawa cząstka. Pozbawiona jest spinu, ładunku i koloru. Ma tylko masę spoczynkową, około 245 000 razy większą niż ma elektron i jest niestabilna. Masywniejszy od niej jest jedynie kwark t. Postuluje się, że

pochodzi ona od tzw. pola Higgsa, które gra kluczową rolę w nadawaniu masy spoczynkowej wszystkim cząstkom elementarnym, które ją mają. Pole to miało zerową wartość u początku Wszechświata, przy wysokich temperaturach, a wraz z rozszerzaniem się Wszechświata i obniżaniem się temperatury nabywało niezerowych wartości i wtedy nadawało masy. Można to sobie wyobrazić za pomocą tarczy zegara z ołówkiem. Przy zerowej wartości ołówek jest prostopadły do tarczy i ostrze skierowane ma w jej centrum. Sytuacja jest symetryczna i żadna wartość na tarczy nie jest wskazana. Gdy przestaniemy trzymać ołówek, upadnie on na bok, wskazując którąś z cyfr. Nastąpi tzw. **złamanie symetrii**.

Trzeba tu nadmienić, że oprócz materii wykryto w przyrodzie cząstki antymaterialne. Pierwszą taką cząstką był antyelektron, czyli **pozyton**, którego obecność stwierdzona była po raz pierwszy w promieniowaniu kosmicznym (1932 rok). Fakt ten był potwierdzeniem teoretycznego przewidywania, pochodzącego od tzw. równania Diraca sformułowanego w 1928 roku.

Cząstka elementarna różni się od swojej antycząstki znakiem ładunku i przeciwną wartością "koloru" (jeśli go ma). Różnicy nie ma w spinie, masie spoczynkowej i w czasie życia. Tak zatem, pozyton ma po prostu ładunek $+e$, podobnie jak antymion i antytaon. Antycząstkami kwarków są antykwarki o antykolorach i przeciwnych ładunkach. Bozony W^+ i W^- są dla siebie wzajemnie antycząstkami. Same dla siebie antycząstkami są: fotony, gluony, bozon Higgsa i bozon Z^0 .

Ciekawe są neutrina. Mają one tzw. liczby: elektronową, mionową i taonową (odpowiednio) równe jeden. Te liczby dla odpowiednich antyneutrino wynoszą minus jeden, choć na dzień dzisiejszy fizycy nie są pewni czy neutrino i antyneutrino to odrębne cząstki, czy w gruncie rzeczy są one jednym i tym samym. Byłyby to w tym drugim przypadku tzw. neutrino Majorany.

Obecnie wiemy, że Ziemia, Układ Słoneczny i nasza galaktyka - Droga Mleczna są zbudowane wyłącznie z materii. W innym razie obserwowalibyśmy intensywne źródła fotonów pochodzące z **anihilacji**, czyli procesu unicestwiania się materii z antymaterią, a tak się nie dzieje. Procesem odwrotnym do anihilacji jest **kreacja**, kiedy to z wysokoenergetycznego fotonu, w bliskości materii, powstają: cząstka i antycząstka. Anihilacja i kreacja to dwa bardzo ciekawe zjawiska, które wskazują na to, że masa spoczynkowa i ładunek mogą

powstawać z fotonów i znikać z wytworzeniem fotonów, pod warunkiem, że bierze w tym udział para odpowiedników, np. elektron i pozyton.

Pytania dla przyszłości

1. Obecnie nie wiemy czym tak naprawdę jest materia, nie dysponujemy żadnym modelem teoretycznym cząstki pokazującym źródła różnic między nią, a przestrzenią, źródła ładunku, masy spoczynkowej, spinu i "koloru". Nie wiemy też dlaczego niektóre cząstki są stabilne, a inne nie.
2. Jak obliczyć, wyznaczyć teoretycznie wartości mas spoczynkowych, ładunków i czasów życia cząstek elementarnych (przy przyjętych jednostkach). Przykładowo, dlaczego mion jest około 207 razy masywniejszy od elektronu? Dlaczego taka wartość, a nie inna, np. 184 lub 251?
3. Dlaczego istnieją tylko trzy generacje fermionów? Wyniki eksperymentów z rozpadem bozonu Z^0 na neutrino i antyneutrino wskazują, że rozpada się tylko na 3 ich rodzaje, a jako, że jest on masywny, a neutrino - ultralekkie, to byłaby energia na neutrino czwartej generacji.
4. Czy Wszechświat zawiera materię i antimaterię w równych ilościach, czy zawiera właściwie tylko materię, a jeśli to drugie, to co jest przyczyną tej asymetrii?
5. Jaki jest dokładny mechanizm anihilacji i kreacji?

3. SIŁY

Gdyby cząstki elementarne były wobec siebie obojętne, to przestrzeń Wszechświata wypełniona byłaby nimi w sposób jednorodny mniej więcej tak jak pokój wypełniony jest cząsteczkami powietrza. Taki Wszechświat byłby prosty i nieciekawym. Nie dzieje się tak dlatego, że cząstki elementarne podlegają działaniu sił o charakterze podstawowym, czyli niesprowadzalnym do innych rodzajów oddziaływań. Możliwe jest to z tej przyczyny, że posiadają one pewne własności (takie jak: ładunek, masa, "kolor"), których obecność powoduje ich wzajemne przyciąganie lub odpychanie.

Na dzień dzisiejszy fizyka zna cztery podstawowe siły (ściślej: oddziaływania) przyrody: **grawitacyjne, elektromagnetyczne, silne i słabe**.

Oddziaływanie grawitacyjne zostało ujęte ściśle przez samego Izaaka Newtona w II połowie XVII wieku (1687 rok) w postaci **prawa powszechnego ciężenia**. Prawo to mówi, że wszystkie ciała posiadające masę przyciągają się siłą proporcjonalną do iloczynu ich mas i odwrotnie proporcjonalną do kwadratu odległości między nimi.

Oto postać matematyczna tego prawa:

$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$

Objaśnienia symboli: F - wartość siły, M i m - wartości mas, r - odległość dzieląca masy, G - stała proporcjonalności (tzw. **stała grawitacyjna**).

Dzięki temu równaniu wiemy, że siła jest tym większa im większe są masy, a maleje z odległością do potęgi drugiej, czyli na przykład dla dwa razy większej odległości jest cztery razy mniejsza. Warto zauważyć, że grawitacja jest zawsze przyciągająca i ma nieograniczony zasięg (siła maleje do zera dopiero wtedy gdy "r" zmierza do nieskończoności).

Prawo powszechnego ciężenia jest klasycznym przykładem prawa fizyki, które stanowi ogólny schemat zależności między wartościami wielkości, bez względu na to jakie te wartości są. Innymi słowy, równanie jest jedno bez względu na to czy przyciągają się masy: Ziemi i Marsa, Ziemi i Księżyca, Słońca i Jowisza, itp. To bardzo ważne i ciekawe, że w zjawiskach przyrody można ująć proste zależności, mimo ich różnorodności. To taka fizyczna "miniaturyzacja", bądź "kompaktyfikacja".

Trzeba nadmienić, że siły są w fizyce przedstawiane jako wektory, czyli odcinki skierowane (strzałki) - obiekty mające długość, kierunek i zwrot. W przypadku oddziaływania grawitacyjnego wektory są zaczepione w środkach mas, mają długość wyznaczaną z powyższego wzoru, a skierowane są wzdłuż linii łączących obie masy, ze zwrotem w kierunku tej drugiej masy.

Wektory to obiekty matematyczne, abstrakcyjne. Przecież nigdy nie widzimy przy masach żadnych strzałek. To tylko nasz wygodny opis. W rzeczywistości moglibyśmy sobie wyobrazić, że dwa obiekty mające masy zawsze ruszają naprzeciw siebie tym gwałtowniej, tym szybciej, im większe są te masy i im mniejsza dzieli je odległość. Taki byłby obraz klasyczny z pominięciem wektorów sił. Jest on możliwy. Ścisłej omówimy to zagadnienie w rozdziale 4.

Nowocześniejszym, lepszym i dokładniejszym ujęciem grawitacji jest **ogólna teoria względności** (OTW) sformułowana w 1915 roku przez wielkiego fizyka - Alberta Einsteina. W teorii tej nie występuje w ogóle pojęcie siły. Zastępuje je zakrzywienie (czasoprzestrzeni) przez masę, które można zobrazować wklęśnięciem gumowej membrany przez położoną na niej kulkę. Każda masa zakrzywia (czasoprzestrzeń), a masy poruszają się po zakrzywionych torach, które są liniami prostymi w innym niż płaska rodzaju przestrzeni (są to tzw. **geodezyjne**). Oddziaływanie grawitacyjne udało się z sukcesem zgeometryzować. To nie jakaś tajemnicza siła na odległość powoduje, że na przykład orbita Ziemi okala Słońce, ale zakrzywiona przez naszą najbliższą gwiazdę (czasoprzestrzeń) sprawia, że Ziemia wykonuje taki, a nie inny ruch.

Matematyka OTW jest bardzo trudna, zatem tylko dla ciekawości przedstawię tutaj najważniejsze równanie tej teorii i omówię je jakościowo:

$$G_{\mu\nu} = \frac{-8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

G - stała grawitacyjna, c - prędkość światła, $G_{\mu\nu}$ - tensor Einsteina, $T_{\mu\nu}$ - tensor energii-pędu.

Równanie to jest tensorowe, więc przedstawia równość dwóch tensorów. Tensor to wektor wyższego rzędu. W tym przypadku mają one aż 16 składowych ($\mu = 1,2,3,4$ oraz $\nu = 1,2,3,4$, w sumie: $4 \cdot 4 = 16$), czyli znacznie więcej niż znane nam z przestrzeni trójwymiarowej wektory z trzema składowymi, będącymi rzutami wektora na osie: X, Y, Z. Tensory są potrzebne w OTW dlatego, że

operuje się w czterowymiarowej czasoprzestrzeni i dlatego, że potrzeba aż tylu składowych, aby niczego nie pominąć.

Z równania wynika, że mając daną stronę prawą (związaną z materią), możemy wyznaczyć tensor Einsteina po stronie lewej, który to jest zależny od tzw. **tensora metrycznego**. Gdy mamy już tensor Einsteina, obliczamy tensor metryczny, a jest on bardzo ważny, gdyż w pełni determinuje zakrzywienie (czaso)przestrzeni. Gdy materii "po prawej" nie ma, to tensor ten wyznacza przestrzeń płaską, czyli niezakrzywioną, w której najkrótszą drogą między dwoma punktami jest łączący je prosty odcinek i którą znamy ze szkoły i z życia codziennego (przybliżenie, idealizacja).

Kolejnym rodzajem oddziaływania, jaki poznamy jest oddziaływanie pomiędzy dwoma ładunkami. Jest ono również nieograniczone w swym zasięgu, proporcjonalne do iloczynu ładunków i słabnące z kwadratem ich odległości od siebie. W tym przypadku jednak może mieć ono charakter przyciągający jak i odpychający, co ma związek z tym, że są dwa podstawowe rodzaje ładunków: dodatni i ujemny. Te dodatnie odpychają się, tak jak ujemne. Ładunek dodatni i ujemny przyciągają się.

Prawo rządzące oddziaływaniem elektrycznym dwóch nieruchomych ładunków to **prawo Coulomba**, sformułowane w 1785 roku i mające strukturę matematyczną analogiczną do tej dla prawa powszechnego ciążenia.

$$F = k \frac{Qq}{r^2}$$

Objaśnienia symboli: F - wartość siły, Q i q - wartości ładunków, r - odległość dzieląca ładunki, k - stała proporcjonalności.

Wyraźnie widać, że masa jest dla grawitacji tym, czym ładunek dla oddziaływań elektrycznych (jest swoistym "ładunkiem grawitacyjnym").

Ładunek elektryczny to własność cząstek materii, która sprawia, że nie są one sobie obojętne, ale zmagają w swoim kierunku lub "od siebie" tym szybciej im mniejsza odległość je dzieli. Możemy wyobrazić sobie taki obraz: ładunek jest źródłem pola elektrycznego. Matematycznie pole to stanowią wektory E w całej przestrzeni zwrócone od źródła lub do źródła, a realnie - jest to zmieniona przestrzeń, która sprawia, że inny ładunek w jej obrębie nie będzie spoczywał, ale wykona ukierunkowany ruch. Mówiąc jaśniej, jeśli w polu elektronu

umieścimy inny elektron, to wykona on ruch "od źródła", a jeśli pozyton - nastąpi ruch w kierunku źródła.

Nieruchomość ładunków jest pewną idealizacją, gdyż ich oddziaływanie sprawia, że od razu przestają one być nieruchome. Dlatego oprócz pola elektrycznego istnieje także pole magnetyczne B , które wytwarzane jest przez ładunki w ruchu i działa na ładunki będące w ruchu. W takiej, bardziej rzeczywistej sytuacji, oddziaływanie ma charakter elektromagnetyczny.

Jak już wiemy, źródłem pola elektrycznego jest ładunek. Jest to treść jednego z czterech **równań Maxwella** - bardzo ważnych dla fizyki równań, sformułowanych w 1864 roku przez Jamesa Clerka Maxwella i będących największym osiągnięciem fizyki XIX wieku.

Drugie równanie Maxwella stwierdza, że pole magnetyczne nie ma źródła, co należy rozumieć tak, że nie istnieje coś takiego jak ładunek magnetyczny.

Równania: trzecie i czwarte dotyczą zmian. Zmieniające się pole elektryczne (a także prądy) generują pole magnetyczne, a zmieniające się pole magnetyczne generuje pole elektryczne.

Omówione powyżej dwa rodzaje oddziaływań są nam znane z życia codziennego. Ziemia przyciąga nas, przedmioty spadają na ziemię, piorun to elektrony zmierzające w kierunku dodatnio naładowanej Ziemi, a między naelektryzowaną odzieżą a ciałem czasami przeskakują iskry. Oprócz nich istnieją jeszcze dwa zupełnie inne oddziaływania: słabe i silne. Znane są one tylko fizykom i mają niezmiernie mały zasięg, co sprawia, że nie doświadczamy ich na co dzień.

Oddziaływanie słabe przebiega na odległości rzędu 10^{-18} metra. To niezmiernie krótki dystans, tysiąc razy mniejszy niż średnica protonu. W tym oddziaływaniu mogą brać udział kwarki, leptony naładowane jak i nienaładowane. Jako jedyne z czterech oddziaływań, może ono doprowadzać do zmiany tożsamości cząstek oddziaływujących. Rodzaj procesu, który to umożliwia to tzw. **prąd ładunkowy**. Biorą w nim udział znane nam już bozony W^+ i W^- . Są one bardzo niestabilne, więc istnieją bardzo krótko. Jeżeli istnieją krótko, to mogą pokonać niewielki dystans, a jako, że są jednymi z nośników oddziaływań słabych - ma ono dlatego niezwykle krótki zasięg.

Przykład oddziaływania słabego (prąd ładunkowy):

Kwark d emituje bozon W^- i zamienia się w kwark u

Bozon W^- natrafia na neutrino elektronowe i zamienia je w elektron.

Sumarycznie: kwark d + neutrino elektronowe = kwark u + elektron

Inny, przykładowy proces, tym razem z wymianą bozonu W^+ :

Neutrino elektronowe emituje bozon W^+ i zamienia się w elektron

Bozon W^+ natrafia na inny elektron i zamienia go w neutrino elektronowe.

Sumarycznie: neutrino elektronowe + elektron = elektron + neutrino elektronowe

Oprócz prądu ładunkowego istnieje także **prąd neutralny**, który nie zmienia tożsamości cząstek, a jedynie ich prędkości i kierunki ruchu. Nośnikiem tego procesu jest masywny bozon Z^0 .

Przykładowo:

Neutrino elektronowe emituje bozon Z^0 i pozostaje "sobą"

Bozon Z^0 natrafia na elektron i zmienia tylko jego ruch.

Sumarycznie: neutrino elektronowe + elektron = neutrino elektronowe + elektron

Oddziaływanie silne ma zasięg 10^{-15} metra, czyli jest tego rzędu, co średnica protonu. Nic dziwnego, gdyż ono jest odpowiedzialne za towarzyskość kwarków i za spójność nukleonów. Nośnikami tego oddziaływania są poznane wcześniej gluony. Jako, że same niosą niezerowy "kolor" (swoisty "ładunek oddziaływań silnych") potrafią oddziaływać również między sobą, wymieniając inne gluony. Kwarki o tych samych "kolorach" odpychają się, a przyciąganie następuje przy różnych "kolorach" i w przypadku "koloru" i "antykoloru". Pierwszy przypadek obserwujemy u barionów, a więc także nukleonów, a drugi - u **mezonów**, które zbudowane są z kwarka i antykwarka. Te ostatnie cząstki zapewniają stabilność jąder atomowych. Będzie jeszcze później o nich mowa.

Oddziaływania: grawitacyjne i elektromagnetyczne słabną z odległością.

Oddziaływanie silne jest ciekawe. Rośnie ono mniej więcej proporcjonalnie do odległości "r" (na odcinku 10^{-15} metra):

$$F \sim r$$

Tak więc, dla bliskiego zera "r" oddziaływanie jest tak niewielkie, że kwarki są praktycznie swobodne. Gdy odległość przekroczy 10^{-15} metra, jego natężenie staje się tak duże, że kwarki nie mogą się już być od siebie dalej, bo tyle jest energii, że powstają nowe kwarki (tworzą się mezony). Opisane zjawisko nosi nazwę **asymptotycznej swobody**.

Przedstawmy teraz przykład oddziaływania silnego między dwoma kwarkami o różnych "kolorach":

Kwark "niebieski" → Kwark "zielony" + gluon "niebieski-antyzielony"

Kwark "zielony" + "gluon niebieski-antyzielony" → Kwark "niebieski"

W przypadku oddziaływania między kwarkiem i antykwarkiem o "kolorze" i "antykolorze":

Kwark "czerwony" → Kwark "niebieski" + gluon "czerwony-antyniebieski"

Kwark "antyczerwony" + gluon "czerwony-antyniebieski" → Kwark "antyniebieski"

Wedle współczesnych teorii kwantowych, nie tylko poznane, ciężkie bozony i gluony są pośrednikami oddziaływań. Foton uważany jest za cząstkę przenoszącą oddziaływanie elektromagnetyczne. Postuluje się też istnienie grawitonu - pośrednika w grawitacji. Miałby on mieć spin 2 (wyjątek) i zerową masę spoczynkową. Jego istnienie jest jednak w sferze hipotez.

Wymienione cząstki mają w procesach oddziaływań charakter **wirtualny**, co znaczy, że fizycy wierzą, że pojawiają się one pomiędzy przyciągającymi się bądź odpychającymi fermionami, ale istnieją tylko przez skończony czas procesu i nie podlegają obserwacji.

Warto tutaj dodać, że znane są w fizyce siły o charakterze nieelementarnym i przyciągającym. Są to tak zwane **siły jądrowe**. Odpowiadają one za stabilność jąder atomowych, które to, jak już wiemy, prawie zawsze składają się z protonów i neutronów. Jako, że protony mają ładunki dodatnie, to ich wzajemne odpychanie zdestabilizowałoby prawie każde jądro. Zapobiegają temu siły jądrowe, które na dystansach rzędu średnicy protonu są od tego odpychania po prostu silniejsze. Pośrednikami oddziaływania jądrowego są znane nam już mezony, które swoją nazwę biorą od przedrostka "mezo"(z greckiego: "środkowy"). Mają one po prostu masę pośrednią między elektronami a nukleonami. Siły jądrowe dotyczą w prawie takim samym stopniu protonów,

neutronów jak i par: proton-neutron. Można je uważać za skomplikowaną wypadkową oddziaływań silnych, które mają miejsce w obrębie nukleonów.

Porównajmy teraz relatywne wartości sił działających między dwoma kwarkami (są to cząstki, które potrafią oddziaływać na każdy z czterech omówionych sposobów). Przyjmujemy wartość siły grawitacji za jeden:

Grawitacyjnie: **1**

Słabo: **10^{25}**

Elektromagnetycznie: **10^{36}**

Silnie: **10^{38}**

Widzimy, że grawitacja jest bardzo słaba. Obserwujemy ją na co dzień dlatego, że zauważalna jest dla ogromnych mas (planety, gwiazdy, galaktyki) i nie przesłania jej wtedy elektromagnetyzm (bo obiekty te są elektrycznie obojętne), ani oddziaływania silne i słabe, które, jak już wiadomo, liczą się tylko w mikroświecie cząstek elementarnych.

Zdecydowany prym wiedzie oddziaływanie silne, więc jego nazwa jest zrozumiała, a oddziaływanie słabe co prawda o 13 rzędów wielkości ustępuje liderowi, ale mimo takiej nazwy jest 10^{25} razy silniejsze od grawitacji.

Wszystko wskazuje na to, że istnieją tylko 4 podstawowe siły przyrody. Nie jest to pewne, więc postuluje się istnienie innych rodzajów oddziaływań, np. między materią a antymaterią lub w obrębie omówionej w pierwszym rozdziale ciemnej energii. To drugie miałyby być odpychające i odpowiadają za coraz szybsze rozszerzanie się Wszechświata. Postulować to jednak nie to samo co udowodnić istnienie. Zatem poszukiwania trwają.

Pytania dla przyszłości

1. Dlaczego podstawowe siły przyrody mają takie, a nie inne natężenia?
2. Czy istnieją tylko 4 fundamentalne rodzaje oddziaływań? A jeśli tak to dlaczego cztery, a nie trzy lub pięć albo sześć?

4. RUCH I ZŁOŻONOŚĆ

Jak zostało już wspomniane w poprzednim rozdziale, oddziaływania sprawiają, że cząstki materialne przyciągają się lub odpychają, czyli wykonują ruchy. Jako, że siły działają zawsze, to materia we Wszechświecie jest w nieustannym ruchu. Ruszają się kwarki w nukleonach, jądra atomowe i elektrony w atomach i cząsteczkach, drgają cząsteczki w ciałach stałych, poruszają się drobiny cieczy i gazu. Na wysokim poziomie złożoności, na którym działa już tylko grawitacja, można zaobserwować ruch planet, gwiazd i galaktyk. Przykładów nie trzeba szukać daleko. Ruch Ziemi wokół własnej osi odpowiada za następstwo dnia i nocy, a jej ruch wokół Słońca - za następstwo pór roku. Słońce również nie jest statyczne. Porusza się wokół własnej osi i wokół centrum naszej galaktyki - Drogi Mlecznej. Jeden obrót zajmuje mu - bagatela - 225 milionów lat.

Istnieją różne rodzaje ruchów. Większość znamy z życia codziennego. Oto lista przykładów:

- Ruch po linii prostej - przykład: samochód poruszający się po prostej drodze
- Ruch po krzywej - przykład: samochód poruszający się i robiący zakręty
- Ruch po okręgu - przykład: dziecko poruszające się na karuzeli
- Ruch po elipsie - przykład: planeta Neptun okrążająca Słońce
- Ruch po dowolnej krzywej zamkniętej - przykład: Formuła 1 robiąca pełne okrążenie
- Ruch po odcinku, oscylujący - przykład: ciężarek oscylujący na sprężynie
- Ruch po łuku, oscylujący - przykład: ruch wahadła zegara

Prędkości osiągalne w ruchu nie mogą przekroczyć prędkości światła. To podstawowa cecha Wszechświata. Nic nie porusza się szybciej niż circa 300 tysięcy kilometrów na sekundę. Jak już wiemy, prędkość "c" mają tylko ciała bez masy spoczynkowej (np. fotony), a ciała z masą spoczynkową mogą dowolnie blisko zbliżyć się do "c", ale nigdy jej wartości nie osiągają.

Najprostszym ruchem, jaki istnieje jest ruch po linii prostej ze stałą prędkością (**jednostajny prostoliniowy**). W jego przypadku w każdym przedziale czasowym Δt ciało przemieszcza się w przestrzeni o odcinek Δx , taki, że:

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = v$$

gdzie: v - prędkość ciała.

Gdy prędkość ta wynosi 5 metrów na sekundę, to oznacza, że w czasie sekundy ciało pokona 5 metrów przestrzeni, w czasie trzech sekund pokona 15 metrów, a w czasie minuty - 300 metrów.

Wiemy jednak, że ruch raczej nie przebiega nigdy w tak idealny sposób. Kiedy jedziemy samochodem prostą drogą, prędkość odczytywana na liczniku może się wahać. Dlatego wprowadzono ważne pojęcie prędkości chwilowej.

Obliczamy ją ze wzoru:

$$v_{ch} = \frac{dx}{dt}$$

Jest to prędkość mierzona w nieskończenie małym przedziale czasu dt .

Mówimy, że jest ona pochodną przesunięcia po czasie.

Odpowiednio, wyobraźmy sobie, że ciało zwiększa swą prędkość o Δv w każdym przedziale czasowym Δt i zachodzi równość:

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = a$$

gdzie: a - przyspieszenie

Jeśli wynosi ono 8 metrów na sekundę, na sekundę (czyli 8 m/s^2), to znaczy, że startując ze stanu spoczynku, w pierwszej sekundzie osiągnie prędkość 8 m/s, w czwartej - 32 m/s, a po minucie będzie już rozpędzone do prędkości 480 m/s. Prędkość może też z czasem maleć i mówimy wtedy o przyspieszeniu ujemnym albo o opóźnieniu.

Podobnie jak prędkość, przyspieszenie w niektórych rodzajach ruchów może nie być stałe i wtedy wartość przyspieszenia chwilowego wyznaczamy ze wzoru:

$$a_{ch} = \frac{dv}{dt}$$

Jest ono zatem pochodną prędkości po czasie i drugą pochodną położenia po czasie.

Ruch ze stałym przyspieszeniem nosi nazwę **jednostajnie przyspieszonego** lub **jednostajnie opóźnionego**. Jak już wiemy, w takim ruchu prędkość jednostajnie

zwiększa się albo maleje. Zmiany położenia w zależności od czasu są w tym przypadku wyznaczane ze wzoru:

$$x = \frac{1}{2}at^2$$

przy założeniu, że zaczynamy od położenia $x = 0$ i od stanu spoczynku.

Dobrym przykładem takiego ruchu jest spadek ciała w polu grawitacyjnym Ziemi. Niedaleko powierzchni Ziemi możemy przyjąć, że działa na nie stałe przyspieszenie ziemskie $a = g = \text{około } 10 \text{ m/s}^2$. Nietrudno obliczyć, że ciało spadające na ziemię z wysokości 80 metrów będzie przechodzić przez następujące stany (pomijamy opór powietrza):

Po 1 sekundzie: $x = 5 \times 1^2 = 5$ metrów (pokona 5 metrów i będzie na wysokości 75 metrów)

Po 2 sekundzie: $x = 5 \times 2^2 = 20$ metrów (będzie na wysokości $80 - 20 = 60$ metrów)

Po 3 sekundzie: $x = 5 \times 3^2 = 45$ metrów (będzie na wysokości $80 - 45 = 35$ metrów)

Po 4 sekundzie: $x = 5 \times 4^2 = 80$ metrów (uderzy w ziemię)

Wyraźnie widać, że w każdej następnej sekundzie ciało będzie pokonywało dłuższe odcinki przestrzeni: 5 m, $20 - 5 = 15$ m, $45 - 20 = 25$ m, $80 - 45 = 35$ m.

Przypadek ciała oscylującego na sprężynie jest o tyle ciekawy, że w tym ruchu przyspieszenie nie jest stałe, ale proporcjonalne do wychylenia.

W każdym ruchu po linii prostej lub jej fragmencie (odcinku) zmianie może ulec jedynie wartość prędkości. Natomiast w ruchach po dowolnej krzywej, otwartej lub zamkniętej, zmianie ulega także jej kierunek. Jest tak dlatego, że prędkość jest wektorem. Przykładowo, w przypadku obrotów na karuzeli w każdej chwili nasza prędkość zmienia kierunek, a w przypadku parkowania samochodu zmieniamy jej kierunek i wartość (skręcamy i hamujemy). Przyspieszenie mające wpływ na kierunek prędkości nosi nazwę **radialnego**.

Pozostaje zasadnicze pytanie: co jest źródłem przyspieszenia? Co sprawia, że prędkość się zmienia? To ciekawe i podstawowe zagadnienie. W fizyce obowiązuje fundamentalna **zasada bezwładności**, która mówi, że każde ciało zachowuje swój stan kinetyczny, to znaczy, że gdy spoczywa to "samo z siebie"

będzie spoczywać, a gdy porusza się z jakąś prędkością, to dalej z tą prędkością będzie się poruszać. Wydaje się to mało intuicyjnie, gdyż z życia codziennego wiemy, że ciała wprawione raz w ruch po pewnym czasie zatrzymują się. Jest tak jednak tylko dlatego, że w codziennych doświadczeniach działają **siły tarcia**, które nie są elementarne, ale wynikają z nacierania na siebie nierówności (chropowatości) na powierzchniach ciał. Zjawisko niekończącego się ruchu byłoby doskonale widoczne w pustej przestrzeni kosmicznej, w niemal doskonałej próżni. Kamień rzucony w taką przestrzeń poruszałby się stale nawet na odcinku milionów kilometrów.

Zasada bezwładności jest tożsama z **I zasadą dynamiki Newtona**. Wracając jednak do pytania postawionego w poprzednim akapicie, skoro ciała same z siebie nie mogą zmieniać swej prędkości, to musi być jakaś zewnętrzna przyczyna przyspieszeń. Tą przyczyną są siły.

Przyspieszenie ciała jest proporcjonalne do działającej na nie siły i odwrotnie proporcjonalne do jego masy. Przyspieszenie ma kierunek tej siły. Jest to treść **II zasady dynamiki Newtona**. Wyraża się ją matematycznie w następujący sposób:

$$a = \frac{F}{m}$$

Masa jest miarą podatności ciała na zmianę prędkości przy danej sile. Im jest ona większa, tym mniejsze jest przyspieszenie ("m" w mianowniku). Czyli tym większy jest "opór" przeciw zmianie prędkości. Mówimy, że masa jest miarą bezwładności ciała.

Istnieje także **III zasada dynamiki Newtona**, która mówi, że siły z jakimi działają na siebie dwa ciała są równe co do wartości i mają przeciwne zwroty. Akcja jest równa reakcji.

Zasada bezwładności jest bardzo głęboką zasadą fizyki. Na tyle głęboką, że nikt nie wie co stanowi jej przyczynę. Dlaczego ciała takie są, że podtrzymują swój stan kinetyczny i potrzeba siły, by go zmienić? Zdaniem znanego fizyka XIX wieku - Ernsta Macha ciała takie są dlatego, że jest ich w kosmosie bardzo wiele. Innymi słowy, według **zasady Macha**, jedno, samotne ciało we Wszechświecie nie byłoby bezwładne. To cechy globalne mają wpływ na właściwości lokalne. Jest to jednak hipoteza, choć warta uwagi i poznania.

W życiu codziennym pojęcie siły jest bardzo użyteczne i popularne. Mówimy o siłach tarcia, nacisku lub uderzenia. Nie mają one jednak charakteru elementarnego i chociaż wiemy jak wyznaczać ich wartości musimy wiedzieć, że są to pojęcia abstrakcyjne. Nigdy przecież nie widzimy wektorów sił w postaci strzałek przy ciałach.

Na przykładzie elementarnego oddziaływania grawitacyjnego, o którym była już mowa w rozdziale 3, możemy pokazać, że możliwe jest uzyskanie ścisłego obrazu fizycznego z pominięciem pojęcia siły. Wykorzystamy dwa poznane już wzory (z II zasady dynamiki i prawa powszechnego ciężenia) i połączymy je:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{\frac{GMm}{r^2}}{m} = \frac{GM}{r^2}$$

Teraz widzimy to tak: ciało o masie "m" zawsze doznaje przyspieszenia w kierunku ciała o masie M, które jest proporcjonalne do M i odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości od masy M. A więc: przyspieszenie to jest tym większe im większa jest masa M i tym mniejsze i większa jest odległość od masy M.

Jeszcze ogólniejszy, nawet bardzo ogólny, obraz jest następujący: ciała przyspieszają w swoim kierunku lub "od siebie" dlatego, że mają pewne właściwości (np. masa, ładunek, "kolor") i o wartości tych przyspieszeń decydują też odległości między nimi.

Układ, który porusza się prostoliniowo, ze stałą prędkością, to tzw. **układ inercjalny**. Wyobraźmy sobie, że poruszamy się autobusem, po prostej drodze i utrzymywana jest stale ta sama wartość prędkości. Jeżeli zasłonimy szybę i założymy słuchawki, to nie będziemy w stanie stwierdzić czy się poruszamy czy nie, a jeśli się poruszamy, to z jaką prędkością. Żadne zjawisko wewnątrz autobusu nie będzie nam w stanie pomóc w odpowiedzi na to pytanie.

Obserwacja ta jest zgodna z fundamentalną **zasadą względności**, która mówi, że prawa fizyki są takie same, a zjawiska fizyczne przebiegają tak samo w każdym układzie inercjalnym. Aby wiedzieć jaki jest nasz stan ruchu, musielibyśmy odnieść się do świata poza autobusem. Widząc drzewa przy drodze poruszające się "do tyłu" wiedzielibyśmy że się poruszamy, gdyż można przyjąć, że pobocze jest w spoczynku. Jest to jednak tylko kwestia umowy. W przestrzeni kosmicznej, pasażer "statku inercjalnego" nie byłby pewien tego czy jest w ruchu, widząc przez okno spoczywający, inny statek. Mógłby tylko stwierdzić,

że względem tamtego statku jest w spoczynku. Ważny wniosek, jaki wynika z tych rozważań jest taki: ruch ze stałą prędkością, po linii prostej jest **względny**.

Wracając do przykładu autobusu, wyobraźmy sobie, że pojazd ten hamuje. Jakaś tajemnicza siła wyrzuca nas do przodu. Jest to **siła bezwładności w hamowaniu** - przykład **siły pozornej**. Jest ona pozorna dlatego, że tak naprawdę z nami nic się nie dzieje. Poruszaliśmy się i, zgodnie z zasadą bezwładności, przy hamowaniu nadal chcemy poruszać się tak jak poprzednio. To tylko autobus zahamował i dlatego "wpadliśmy" na siedzenie przed nami. Siły pozorne są **bezzródłowe**. Nie jest trudno zrozumieć dlaczego. W momencie hamowania przed szybą autobusu nie ma żadnego źródła siły, a siły właściwe zawsze mają źródła (takie jak: ładunek, masa, "kolor"). Innym przykładem siły pozornej jest **siła odśrodkowa**, która wyrzuca nas "na bok" podczas skręcania samochodem lub kręcenia się na karuzeli.

Ważny jest też wniosek, który płynie z powyższych rozważań nad ruchem ze zmienną prędkością tzw. **układów nieinercjalnych**. Efekty działania sił pozornych są obserwowane w obrębie tych układów, więc jeśli one występują, to znaczy, że układ jest w ruchu. W tym przypadku możemy stwierdzić czy jesteśmy w ruchu nie odnosząc się do obserwacji świata zewnętrznego. Mówimy, że ruch z przyspieszeniem różnym od zera jest **bezwzględny**.

W celu lepszego zrozumienia tego zagadnienia, wróćmy do obrazowania za pomocą ruchu autobusu. Kiedy autobus hamuje, osoba na przystanku, która widziana była w "ruchu" w kierunku autobusu również się zatrzymuje. Jeżeli jednak spytamy tą osobę czy doznawała podczas naszego hamowania działania jakichś sił, zaprzeczy temu. Stąd wnioskujemy, że to my poruszaliśmy się naprawdę, a nie osoba na przystanku. Jesteśmy tego pewni i nie potrzebna jest tu żadna umowa.

Inny przykład pochodzi od samego Izaaka Newtona. Gdy widzimy wiadro z wodą, na powierzchni której pojawia się wklęsłość (siła odśrodkowa!), to istnieje tylko jeden słuszny wniosek: wiadro wiruje wewnątrz świata, a nie świat wokół wiadra. Ruch obrotowy to zawsze ruch.

Do powstania złożonych układów potrzebnych jest wiele cząstek i siły przyciągania, które powodują ich ruch ku sobie i skupienie na ograniczonej przestrzeni. Jak już wiemy z rozdziału 3, kwarki o różnych "kolorach" przyciągają się i trójkami formują nukleony: protony i neutrony. Mimo, że protony odpychają się, na dystansach wielkości średnicy nukleonu siły jądrowe

przewyciężają odpychanie, co skutkuje powstaniem jądra atomowego. W przyrodzie istnieje 266 stabilnych jąder atomowych. Elektrony wykonują ruchy poza jądrami atomowymi. Istnieje między nimi odpychanie równoważone przez przyciąganie przeciwnie naładowanego jądra. Każdy atom jest elektrycznie obojętny, więc posiada taką samą liczbę protonów co elektronów. Atom każdego pierwiastka determinowany jest przez liczbę protonów w jądrze - tzw. **liczbę atomową**. Liczba neutronów może być zmienna, co determinuje różne **izotopy** danego pierwiastka. W przyrodzie istnieje 81 pierwiastków mających stabilne jądra atomowe (przynajmniej jeden trwały izotop). Są to pierwiastki o liczbie atomowej od 1 do 83, z wyjątkiem tych o liczbie atomowej 43 (technet) i 61 (promet). Przykłady tych pierwiastków z ich symbolami chemicznymi są podane poniżej:

Liczba atomowa: 1 - wodór (H)

Liczba atomowa: 2 - hel (He)

Liczba atomowa: 3 - lit (Li)

Liczba atomowa: 6 - węgiel (C)

Liczba atomowa: 8 - tlen (O)

Liczba atomowa: 12 - magnez (Mg)

Liczba atomowa: 14 - krzem (Si)

Liczba atomowa: 16 - siarka (S)

Liczba atomowa: 17 - chlor (Cl)

Liczba atomowa: 19 - potas (K)

Liczba atomowa: 20 - wapń (Ca)

Liczba atomowa: 24 - chrom (Cr)

Liczba atomowa: 26 - żelazo (Fe)

Liczba atomowa: 29 - miedź (Cu)

Liczba atomowa: 47 - srebro (Ag)

Liczba atomowa: 50 - cyna (Sn)

Liczba atomowa: 53 - jod (I)

Liczba atomowa: 74 - wolfram (W)

Liczba atomowa: 79 - złoto (Au)

Liczba atomowa: 80 - rtęć (Hg)

Liczba atomowa: 82 - ołów (Pb)

Liczba atomowa: 83 - bizmut (Bi)

Atomy tworzą mniej lub bardziej skomplikowane cząsteczki związków chemicznych w reakcjach chemicznych, w których oddawane, przyjmowane lub uwspólniane są elektrony występujące najczęściej najdalej od jądra (tzw. walencyjne).

Przykładowe cząsteczki chemiczne:

H_2 - cząsteczka wodoru

O_2 - cząsteczka tlenu

H_2O - woda

$NaCl$ - chlorek sodu (sól kuchenna)

CH_4 - metan

C_2H_5OH - alkohol etylowy

$CaCO_3$ - węgiel wapnia (kreda)

$AgCl$ - chlorek srebra

Zarówno pierwiastki jak i związki chemiczne mogą w temperaturze pokojowej występować w trzech stanach skupienia: gazowym, ciekłym lub stałym. To zróżnicowanie wynika z siły, z jaką te cząsteczki ze sobą oddziałują. Na przykład, w temperaturze pokojowej tlen i metan są gazami, rtęć i woda są cieczami, a węgiel i kreda - ciałami stałymi.

Przyglądnijmy się teraz następującemu zjawisku: w połowie naczynia znajduje się gaz, w drugiej połowie próżnia. Przegroda zostaje usunięta i w krótkim czasie gaz wypełnia całe naczynie. Proces ten wydaje się być jednokierunkowy i nieodwracalny. Praktycznie nigdy nie jest tak, że gaz z całego naczynia zbiera

się w jego połowie lub tak, że woda zabarwiona jednorodnie atramentem zamienia się w czystą wodę i wyodrębnioną, granatową kroplę.

Co jest tego przyczyną? Nie jest trudne zrozumienie tego zjawiska jeżeli wyjaśni się je obrazowo i krok po kroku.

Wyobraźmy sobie, że w naczyniu jest 1000 cząsteczek gazu. Cząstka w lewej połowie naczynia symbolizowana jest przez reszkę, a w prawej - przez orła.

Jeżeli rzucimy 1000 razy monetą, to najbardziej prawdopodobne jest, że otrzymamy 500 reszek i 500 orłów. Znikomo prawdopodobny jest wynik: 1000 reszek lub 1000 orłów. Podobnie jest z cząstkami gazu. Realizowany jest stan równomiernego wypełnienia naczynia gazem dlatego, że przy liczbie jego cząstek, z jaką mamy do czynienia w codziennym życiu (rzędu miliona miliardów miliardów) ten stan jest tak prawdopodobny, że zawsze występuje w praktyce.

Stany znikomo prawdopodobne, ustawione na początku, zmierzają w kierunku stanów bardzo prawdopodobnych. Jest to prawo statystyczne, a nie fundamentalne i ma związek po prostu z bardzo dużą liczbą cząsteczek.

Pozostając przy przykładzie naczynia z gazem, warto omówić bardzo ważne równanie, które pokazuje jakie są zależności między objętością gazu, jego temperaturą i ciśnieniem. Nosi ono nazwę **równania stanu gazu doskonałego** (równania Clapeyrona) i - jak sama nazwa mówi - wynika z pewnej idealizacji. Gaz doskonały to taki, w którym można zaniedbać objętość, strukturę cząsteczek i ich oddziaływanie między sobą, a zderzenia cząstek mają charakter sprężysty, czyli odbywają się bez utraty całkowitej **energii kinetycznej** cząstek (energii związanej z masą (m) i prędkością (v); oblicza się ją wg wzoru: $E_k = \frac{1}{2}mv^2$).

Oto **równanie Clapeyrona** w pełnej krasie:

$$pV = nRT$$

gdzie: p - ciśnienie gazu, V - objętość gazu, T - temperatura gazu, R - stała, n - liczba moli, która mierzy liczbę cząsteczek gazu, $1 \text{ mol} = \text{około } 6,022 \cdot 10^{23}$ cząsteczek.

Równanie to jest piękne i proste. Wnioskujemy z niego, że dla danej liczby moli gazu iloczyn ciśnienia i objętości podzielony przez temperaturę jest stały (constans, skrótowo: const):

$$\frac{pV}{T} = nR = \text{const}$$

Dodatkowo, przy stałej temperaturze, stały jest iloczyn ciśnienia i objętości:

$$pV = nRT = \text{const}$$

czyli, gdy zmniejszymy objętość gazu w stałej temperaturze, to wzrośnie jego ciśnienie. Wyraźnie odczuwalne jest to zjawisko przy dociskaniu tłoka w zatkniętej strzykawce.

Jeśli stałe jest ciśnienie, to otrzymujemy zależność:

$$\frac{V}{T} = \frac{nR}{p} = \text{const}$$

Gdy zwiększymy temperaturę gazu przy stałym ciśnieniu, to wzrośnie jego objętość, bo stały jest wtedy stosunek objętości do temperatury. Widać to przy podgrzewaniu powietrza wypełniającego i unoszącego balon.

Gdy stała jest objętość, to otrzymujemy zależność:

$$\frac{p}{T} = \frac{nR}{V} = \text{const}$$

Gdy zwiększymy temperaturę gazu przy stałej objętości, to wzrośnie jego ciśnienie, bo stały jest wtedy stosunek ciśnienia do temperatury. Widać to przy podgrzewaniu zawartości garnka, zamkniętego od góry pokrywką. Po pewnym czasie pokrywka zaczyna poruszać się wskutek wzrostu ciśnienia pary wodnej.

Układami bardziej złożonymi niż gazy, ciecze i substancje stałe są ich mieszaniny. Przykładem mieszaniny gazów jest atmosfera ziemską, złożoną w około 78% objętości z azotu i około 21% objętości z tlenu. Niewielki dodatek stanowią dwutlenek węgla, argon i para wodna. Skorupa ziemską zawiera przede wszystkim mieszanekę stałych związków tlenu, glinu i krzemu.

Ziemia jest planetą położoną w **Układzie Słonecznym**, trzecią z planet jeśli chodzi o odległość od Słońca. Poza nią istnieją jeszcze: Merkury, Wenus, Mars, Jowisz, Saturn, Uran i Neptun. Słońce jest gwiazdą, jedną z 100 do 400 miliardów gwiazd, jakie wchodzi w skład naszej galaktyki, zwanej **Drogą Mleczną**. W widzialnym Wszechświecie jest około 100 miliardów galaktyk. Współtworzą one gromady i większe supergromady. Wszystkie wymienione w

tym akapicie struktury istnieją dzięki jednej, przyciągającej sile - grawitacji, gdyż w przypadku obiektów tej skali wielkości działa tylko ona.

Dla ciekawości możemy obliczyć, że przy dobrym założeniu przeciętnej wielkości naszej galaktyki, liczbę gwiazd widzialnego Wszechświata możemy oszacować na:

100 miliardów razy 100 miliardów

Jaki to jest rząd wielkości?

Miliard = 10^9 , sto = 10^2

$$10^2 \cdot 10^9 \cdot 10^2 \cdot 10^9 = 10^{11} \cdot 10^{11} = 10^{22}$$

A zatem liczba "Słońce" całego widzialnego Wszechświata szacowana jest na 10^{22} (jedyńka i 22 zera, ogromna liczba!).

Gwiazdy różnią się masą. Najlżejsze osiągają 8% masy Słońca, a najcięższe: 60 mas Słońca. Wszystkie produkują energię z fuzji lekkich jąder atomowych (przede wszystkim jąder wodoru przeprowadzanych w jądra helu). Wydzielające się fotony równoważą swym ciśnieniem grawitacyjne przyciąganie reagujących składników. "Rozpychanie" równoważy zapadanie. Gdy materiał termonuklearny "wypala się", a gwiazda miała więcej niż 3 masy Słońca, zapada się ona do supergęstego obiektu, który tak mocno zakrzywia (czasoprzestrzeń, że nawet światło nie jest w stanie zeń wydostać. Powstaje **czarna dziura**. Jeśli masa zapadającej się gwiazdy jest mniejsza niż 1,44 mas Słońca - formuje się gęsty **biały karzeł**, złożony z nukleonów i elektronów, a gdy pomiędzy 1,44-3 masy Słońca - mamy w efekcie do czynienia z bardzo gęstą **gwiazdą neutronową**.

Na dzień dzisiejszy astronomowie dysponują już dowodami bezpośrednimi i pośrednimi na istnienie planet wokół innych gwiazd (tzw. **egzoplanet**). Pewne jest to, że niektóre są gazowe, a niektóre skaliste i nie na wszystkich może istnieć życie wskutek zbyt bliskiej lub zbyt dalekiej odległości od swojej gwiazdy.

Jedno jest pewne. Życie istnieje na Ziemi. Formami jego istnienia są bakterie, sinice, pierwotniaki, grzyby, rośliny i zwierzęta. Cechuje je budowa komórkowa, co znaczy, że składają się z jednej lub większej liczby komórek. W skład komórki wchodzi skomplikowane substancje o charakterze tłuszczowym,

białka złożone z aminokwasów, węglowodany, a także woda, witaminy i sole mineralne.

Dla organizmów na wysokim poziomie złożoności - roślin i zwierząt z reguły charakterystyczne są systemy komórek - tkanki i organy. Osobniki niektórych gatunków zwierząt tworzą społeczności, których bardziej złożone formy obserwujemy u ssaków (np. słonie, delfiny, wiele gatunków małp).

Organizmy żywe nie są od siebie niezależne, ale tworzą ekosystemy, w których istnieje specjalizacja na producentów pokarmu, konsumentów i destruentów.

Szczytowa złożoność cechuje człowieka, jego mózg i społeczeństwa jakie formuje. Dzięki wysokiej inteligencji, dwunożności i związanemu z nią "uwolnieniu rąk" człowiek wytworzył zaawansowane cywilizacje. To najbardziej skomplikowane systemy, jakie istnieją na Ziemi.

Pytania dla przyszłości

1. Co jest przyczyną bezwładności ciał? Czy rację w tej kwestii miał Mach czy przyczyna jest inna?
2. Czy fakt, że we Wszechświecie mogą istnieć wspomniane w tym rozdziale złożone struktury i finalnie: inteligentne życie i cywilizacje jest dowodem na szczęśliwy przypadek, tajemniczy projekt czy na to, że Wszechświat jest jednym z wielu wszechświatów, o różnych, dowolnych prawach fizyki?
3. Czy jądra atomowe mają strukturę nieregularną, zmienną, czy nukleony układają się w nich w trwałe, krystaliczne formy?
4. Czy elektron porusza się w atomie w sposób różnorodny i ujmowalny tylko statystycznie, czy porusza się po trajektoriach o ściśle określonych geometriach?
5. Jak powstały galaktyki? Skąd wzięły się fluktuacje gęstości materii u początku Wszechświata, które potem narastały zgodnie z "efektem kuli śniegu"?

5. PROBLEMY FIZYKI KWANTOWEJ

Zasady dynamiki Newtona, prawo powszechnego ciążenia, równania Maxwella i teoria względności to części składowe tak zwanej **fizyki klasycznej**. Jest ona **deterministyczna**, czyli pozwala wyznaczać ściśle przyszłość lub przeszłość ciała dzięki znajomości jego teraźniejszości i odpowiednich równań.

Fizyka klasyczna jest, począwszy od 1900 roku, stopniowo wypierana przez wielki program badawczy, zwany fizyką kwantową, co do którego istnieje silna wiara, że jest nieomylny i dostarczy narzędzi do opisanego i wyjaśnienia całej rzeczywistości fizycznej. A było to tak...

Fizyka klasyczna nie radziła sobie w ogóle z wyjaśnieniem teoretycznym kształtu widma emisyjnego tak zwanego **ciała doskonale czarnego**. Jest to ciało wyidealizowane, które z założenia potrafi całkowicie pochłaniać fale elektromagnetyczne o wszystkich długościach. Dobrym przykładem niemal idealnego ciała tego typu jest piec, w którym żarzą się węgle. Okazało się, że można było uniknąć teoretycznego absurdu tylko wtedy, gdy zrobiło się założenie, że światło emitowane jest w kwantach czyli w skończonych porcjach. Dziś już wiemy, że kwanty te to znane nam już cząstki - fotony. Hipotezę tę wysunął jako pierwszy znany, niemiecki fizyk Max Planck dnia 14 grudnia 1900 roku i jest to umowna data narodzin fizyki kwantowej (mechaniki kwantowej).

Potwierdzeniem korpuskularnej natury światła było wyjaśnienie tak zwanego efektu fotoelektrycznego, czyli efektu wybijania elektronów z powierzchni metalu przez promieniowanie nadfioletowe lub światło widzialne. Okazywało się, że liczba wybitych elektronów była proporcjonalna do natężenia światła, a ich energia kinetyczna zależała rosnąco tylko od częstości drgań "fali" czyli jej energii. Prawidłowa interpretacja zjawiska została podana w 1905 roku przez Alberta Einsteina. Światło składa się z kwantów (cząstek). Im większe natężenie światła, tym większa liczba cząstek i tym większa liczba wybitych elektronów. Im większą energię ma kwant uderzający i całkowicie przekazujący energię, tym większą energię kinetyczną nadaje elektronowi.

Jednak, z drugiej strony, już od wieku znane były wtedy klasyczne eksperymenty ze światłem, które ukazywały jego efekty interferencyjne wyraźnie wskazujące na jego naturę falową. Interferencję widać doskonale na przykład wtedy, gdy światło pada na ekran z dwiema szczelinami, a na dalszym, drugim ekranie pojawiają się prążki, podobne do tych u zebry, wskazujące, że

światło w pewne obszary dotarło, a w inne w ogóle nie. Fala składa się z grzbietów (wychyleń w górę) i dolin (wychyleń w dół). W przypadku emisji fal z dwóch szczelin - te obszary ekranu, na które padają dwa grzbiety lub dwie doliny są "wzmocnione", a zatem wyjątkowo jasne. Te, na które padła jedna dolina i jeden grzbiet są "wygaszone", ciemne. Istnieją między nimi także stany pośrednie. W sumie układają się one w prążkowy wzór interferencyjny. Podobny efekt możemy zaobserwować gdy przechodzimy obok dwóch włączonych głośników z muzyką, rozstawionych w pewnej odległości od siebie. Będziemy wtedy naprzemian przechodzić przez obszary z głośniejszym i cichszym natężeniem dźwięku.

Nie pozostawało więc nic innego jak przyjąć, że światło ma naturę dwoistą, że ma właściwości falowe i korpuskularne uzupełniające się i wykluczające się zarazem.

W 1924 roku ukazała się praca doktorska francuskiego fizyka - Louisa de Broglie'a, w której postuluje on, że cząstki materialne (np. elektron, proton) i w ogóle ciała materialne też mogą mieć naturę dwoistą. Słynny eksperyment Davissona-Germera z 1927 roku wydawał się potwierdzać przypuszczenie de Broglie'a. Wiązka elektronów rozpraszana na sieci atomowej kawałka niklu i padająca później na ekran "dawała" charakterystyczny dla fal obraz interferencyjny. Stawało się prawie jasne, że istnieją fale materii. Wzór na długość takiej fali (λ), czyli odległość od grzbietu do sąsiedniego grzbietu lub doliny od sąsiedniej doliny:

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

gdzie: h - stała Plancka, p - **pęd** cząstki = masa · prędkość (p = mv)

Przyjęto, że **dualizm falowo-korpuskularny** jest w przyrodzie czymś powszechnym, a nawet jest fundamentalną jej cechą.

Z powyższego wzoru widać, że cząstka reprezentowana przez falę o danej długości ma określony (jeden) pęd. Jednak jej położenie jest zupełnie nieokreślone, bo fala może rozciągać się po całej przestrzeni. Z drugiej strony - gdy cząstka jest lokalizowana, czyli ma określone położenie, to nie może składać się z jednej fali, tylko z ogromnej liczby fal o różnych długościach, a więc "rozmywa się" pęd. I wszystkie możliwości pośrednie. Zauważył to znany fizyk Werner Heisenberg i uznał, że to fundamentalne zjawisko to tak zwana

nieoznaczoność pędu i położenia. Nie można naraz wyznaczyć dokładnie pędu i położenia cząstki, a najwyżej jedną z tych wielkości. Podobnie jest w przypadku pary: energia i czas, a także kilku innych.

Jako, że położenie i pęd całkowicie determinują teraźniejszość cząstki, a my nie mamy szans na poznanie obydwóch, to nie potrafimy przewidzieć co dokładnie działo się z nią w przeszłości i dzieć się będzie w przyszłości. Mechanika kwantowa nie jest zatem deterministyczna. Możemy mówić tylko o pewnym stanie, reprezentowanym matematycznie przez **funkcją falową**, która daje np. możliwość określenia tylko rozkładu prawdopodobieństw pędów lub położzeń. Stan ten ewoluuje deterministycznie według najważniejszego dla mechaniki kwantowej **równania Schrödingera** (z 1926 roku), a więc możemy mówić tutaj jedynie o tzw. determinizmie probabilistycznym.

Centralną rolę w mechanice kwantowej pełni zatem stan i jego funkcja falowa. Stanowi ona rdzeń wielkiego, kwantowego programu badawczego we współczesnej fizyce, a więc jest czymś nienaruszalnym, czymś z czym się nie dyskutuje.

A czy przedstawiono kiedykolwiek choć jedno zdjęcie funkcji falowej? Nie. Jest ona czymś abstrakcyjnym, matematycznym. Czy mamy zatem "pusty rdzeń"? To otwiera pole do ożywionej dyskusji, która w fizyce trwa już od dekad.

Przyzwyczajeni jesteśmy do tego, że ciała mają określone położenia i pędy i poruszają się po ściśle określonych torach nie dając nigdy efektów interferencyjnych. Albert Einstein wierzył, że jest tak zawsze, również w mikroświecie małych cząstek i mawiał, że "każdy element fizycznej rzeczywistości musi mieć swój odpowiednik w teorii". W związku z tym uważał mechanikę kwantową za teorię niepełną. Inne argumenty głoszą, że pojęcia i logika świata, w którym jesteśmy kształtowani, w którym efekty kwantowe są niezauważalne ze względu na duże masy, nie muszą pasować do tych z mikroświata.

Fizyczni pozytywiści zaś nie interesują się filozofią, gdyż twierdzą, że najważniejsze jest to, że obiekty matematyczne mechaniki kwantowej pozwalają na dokonywanie pomyślnych obliczeń i to jest zadowalające i wystarczające. Natomiast słynna w fizyce kwantowej **interpretacja kopenhaska** postuluje, że funkcja falowa to tylko nasz stan wiedzy a nie stan ontologiczny, czyli realnie istniejący. Kto ma zatem rację?

Wyjść z labiryntu

Jak już dowiedzieliśmy się, fundamenty fizyki kwantowej tworzone były ponad 90 lat temu. Przez ten czas bardzo się ona rozwinęła i - rzecz jasna - musiała odnosić sukcesy, skoro stosowana jest po dziś dzień.

Przyczyną tych sukcesów było to, że stanowi ona bardzo dobry schemat obliczeniowy, który pozwala uzyskiwać wyniki zgodne z eksperymentem. Obecnie jednak tylko fizycy-pozytywiści nie mają do niej zastrzeżeń, gdyż uważają oni, że teoria powinna dawać przewidywania zgodne z doświadczeniem, nieważne jakimi środkami matematycznymi.

Spróbujmy zatem zrobić podsumowanie tego co wiadomo i pomyśleć.

Z jednej strony bardzo klarowne są dowody korpuskularne (na istnienie cząstek) w efekcie fotoelektrycznym, zderzeniach cząstek w akceleratorach lub w obrazach uzyskiwanych z mikroskopu skaningowego tunelowego lub elektronowego (choć te dotyczą atomów).

Z drugiej strony, inne eksperymenty z cząstkami elementarnymi ujawniły zjawiska charakterystyczne dla fal (interferencja, dyfrakcja), co zinterpretowano w ten sposób, że materia musi mieć też właściwości falowe (dualizm korpuskularno-falowy).

Matematyczna postać fali materii - funkcja falowa jest często przedstawiana w postaci funkcji zespolonej, mającej wartości w zbiorze liczb urojonych. Jest zatem zbyt abstrakcyjna, techniczna, aby mogła istnieć realnie. To tylko wygodne i skuteczne narzędzie matematyczne.

Jeżeli jednak odrzucimy realne istnienie fal materii i zaakceptujemy interpretację kopenhaską, to nie możemy osiąść na laurach. Dlaczego?

Dlatego, że pozostaje zasadnicze pytanie: **co faluje**? Skąd biorą się wzory interferencyjne, które są faktem. Jaka jest ich przyczyna? Musi być ona realna skoro skutki są realne.

Bardzo dobrą propozycję wyjścia z impasu interpretacyjnego zaproponował polski fizyk - Michał Gryziński (ur. 1930 - zm. 2004). Przyjął on, że cząstka jest zawsze strukturą oscylującą, która oddziałuje z atomami otoczenia i stąd biorą się efekty interferencyjne. Cząstka zatem nie faluje, lecz oscyluje.

Podejście Gryzińskiego jest uważane za awangardowe, mimo, że daje pełny obraz zjawisk i jest proste. Uważam, że ze względu na to, że obraz i rozumienie

są dla wielu ludzi ważne, to warto hipotezie Gryzińskiego przyjrzeć się bliżej. Nastąpi to w kolejnym podrozdziale.

Koronne doświadczenie, głębokie wnioski

Wybitny fizyk i wykładowca - Richard Feynman powiedział kiedyś, że całą mechanikę kwantową można wyprowadzić z doświadczenia z dwiema szczelinami. Wiemy już o jakie doświadczenie chodzi. Omawialiśmy je w przypadku światła. Dużo jednak ciekawsze są wnioski z tego doświadczenia, które można wysnuć wtedy, gdy używamy w nim elektronów i to wysłanych w kierunku szczelin i ekranu za nimi pojedynczo.

Eksperyment ten uważany jest za koronny i dostarczający dowód na nieomyślność mechaniki kwantowej, bo tylko ona dostarcza wyjaśnienia tego, co się w nim dzieje.

Elektrony emitowane w kierunku szczelin jeden za drugim tworzą na dalszym ekranie obraz interferencyjny "techniką punkt po punkcie". Czyli elektron trafiający w ten ekran jest dobrze zlokalizowaną cząstką, z tym, że w pewne obszary ekranu trafia, a w inne - nie. Dlaczego tak jest? Mechanika kwantowa twierdzi, że dlatego, że elektron między jego emisją a ekranem, gdy jego położenie nie jest śledzone, stanowi byt rozciągnięty; jest falą materii, reprezentowaną przez funkcję falową. Fala ta, jako, że nie ma określonego położenia, może przebywać w obydwu szczelinach i stamtąd emitować fale wtórne w kierunku ekranu. Fale te interferują ze sobą pozytywnie lub negatywnie (lub w pośredni sposób) i dlatego na obszarach ekranu gdzie się wzmacniają jest wiele śladów od uderzeń elektronów (wysokie prawdopodobieństwo stwierdzenia tych cząstek), a na obszarach gdzie się wygaszają - jest całkowicie pusto. I nie ma innego wyjaśnienia. Nie ma innej interpretacji.

Dualizm falowo-korpuskularny jest zatem wyraźnie widoczny i nieodzowny. I z tymi ostatnimi tezami nie zgodził się Gryziński. Swoją argumentację przedstawił w słynnej pracy naukowej z 1987 roku (*Spin-Dynamical Theory of the Wave-Corpuscular Duality*). Praca ta oczekiwała 20 lat na publikację i ukazała się w roku, w którym przypadła trzechsetna rocznica wydania jednego z największych dzieł w historii fizyki: *Zasad matematycznych filozofii przyrody* autorstwa wielkiego Izaaka Newtona, które zawiera słynne trzy zasady dynamiki i prawo powszechnego ciężenia. Nota bene, sam Newton był również

zwolennikiem poglądu, że wszystko składa się z cząstek, a nie fal, w tym także światło.

We wspomnianym artykule Gryziński wystąpił jako zdecydowany przeciwnik poglądów Louisa de Broglie'a (czytaj: *Luisa de Broja*). Było tak dlatego, że to od prac tego pana rozpoczął się rajd mechaniki kwantowej w głąb ślepej uliczki. Jak mawiał mój nauczyciel chemii kwantowej: "de Broj nabroił".

Gryziński zastosował z sukcesem uznaną metodę naukową, zwaną **brzytwą Ockhama** (Wilhelm Ockham to średniowieczny filozof, który wymyślił ją jako pierwszy). Polega ona na niemnożeniu bytów i ich cech ponad to, co potrzebne do wyjaśnienia zjawiska. Wyjaśniać trzeba zawsze maksymalnie oszczędnie. Przykładowo: jeżeli zjawiska elektromagnetyczne da się wyjaśnić istnieniem tylko dwóch rodzajów ładunków elektrycznych (plus i minus), to nie należy wprowadzać trzeciego rodzaju ładunku.

Postulat Gryzińskiego: **Cząstki nie mają właściwości falowych, fale materii nie istnieją a funkcja falowa to konstrukcja zbędna i myląca.**

Po przyjęciu tego postulatu trzeba skupić się na wyjaśnieniu co odpowiada za efekty interferencyjne, które są faktem i nie sposób ich kwestionować. I tu należy przytoczyć kolejny postulat:

Każda fala jest oscylacją, ale nie każda oscylacja jest falą.

Fala materii to byt rozciągnięty w przestrzeni i oscylujący, związany z prawdopodobieństwem stwierdzenia cząstki w jakimś miejscu. W to miejsce mamy cząstkę, która rozciągnięta nie jest, ale oscylują wokół niej pola magnetyczne i elektryczne. Są one związane z tzw. momentem magnetycznym cząstki, a ten ma po prostu związek z jej spinem.

Oscylacje te powstają wtedy, gdy oś spinowa dokonuje tak zwanej precesji. Jest to taki ruch, jaki wykonuje znana zabawka dziecięca - bąk. Nakręcony bąk nie tylko kręci się wokół własnej osi, ale także jego oś zakreśla stożek z wierzchołkiem w punkcie styku z ziemią. Położenie osi zatem zmienia się z czasem.

Precesja osi spinowej ma, zdaniem Gryzińskiego, charakter translacyjny. To znaczy precesja jest wtedy, gdy cząstka zmienia położenie.

Podsumowując: gdy cząstka porusza się, oscylują wokół niej pola: elektryczne i magnetyczne.

Gryziński zwrócił uwagę na to, że szczelina nie jest tylko konturem na schemacie doświadczenia, ale w rzeczywistości składa się z warstw atomów, które na swoich brzegach mają przewagę ładunku ujemnego (dane eksperymentalne).

Oscylujące pola oddziałują z tymi ładunkami, co powoduje, w zależności od fazy drgań, że elektrony wylatują ze szczeliny tylko pod pewnymi kątami. A więc w niektóre obszary dalszego ekranu padają, a w niektóre nie i to jest przyczyna otrzymywania interferencyjnego wzoru prążkowego.

Ilościowe ujęcie translacyjnej precesji spinu przedstawia się następująco:

$$d\alpha = \frac{mv}{\hbar} dl$$

gdzie: $d\alpha$ - kąt o jaki obróci się oś spinu po przebyciu przez elektron drogi dl , m - masa elektronu, v - prędkość elektronu, \hbar - stała Plancka (h) podzielona przez 2π .

Nietrudno zauważyć, że obrót o kąt pełny ($d\alpha = 2\pi$) następuje na drodze:

$$dl = h/mv = h/p$$

Wielkość " h/p " jest nam już znana. Pochodzi ze wzoru de Broglie'a na długość fali materii. Jednak w nowej interpretacji nie jest to odległość między grzbietem a następnym grzbietem fali materii, ale maksimum oscylujących pól cząstki a kolejnym maksimum, przesuniętym w czasie, a nie w przestrzeni.

Dzięki Gryzińskiemu możemy dokładnie wiedzieć co dzieje się w doświadczeniu, zamiast wprowadzać tajemniczą funkcję falową i postulować tajemnicze własności falowe materii. Elektron jest najpierw falą, a po dotarciu do ekranu staje się cząstką - to niejasne wyjaśnienie, zwłaszcza, że nie jest znany mechanizm przejścia fali w cząstkę. Czyżby tajemnicze zjawisko kwantowe...?

Wyraźnie widać, że popełniono błąd nie biorąc pod uwagę struktury szczelin i nie postulując dynamicznej struktury cząstki. Było po prostu za wcześnie na tak nowatorskie podejście. A wzięcie tego pod uwagę w doświadczeniu z dwiema szczelinami było niezbędne i kluczowe (podobnie w przypadku eksperymentu Davissona-Germera). Gryziński nie zakwestionował wyniku doświadczenia, tylko jego interpretację.

Nie zmienia to niestety faktu, że uderzenie w funkcję falową było uderzeniem w sam rdzeń wielkiego programu badawczego fizyki kwantowej, a to się nie podoba i nigdy nie pozostaje bez konsekwencji o charakterze socjologicznym. Może skończyć się szydzeniem lub przemilczaniem prac i marginalizacją. W przypadku Gryzińskiego były to problemy środowiskowe i trudności z publikacją prac i zyskiwaniem przez nie rozgłosu. Środowisko naukowe stawia opór wtedy, gdy program badawczy jest modny, gdy stanowi główny nurt badań i zaowocował już pracami naukowymi, karierami i pieniędzmi. Jest rzeczą oczywistą, że uznani naukowcy z takiego nurtu nie zrezygnują z tego co mają i z bezkrytycznej akceptacji swych osiągnięć.

Nowy program badawczy ma szansę "przebić się" wraz z napływem młodych, świeżych umysłów do nauki, pod naporem faktów, z którymi bieżący program badawczy sobie nie radzi lub w wyniku presji społecznej na rozwiązanie problemów, których bieżący program badawczy rozwiązać nie zdołał.

W następnym rozdziale omówimy pokrótce co udało się fizyce kwantowej, a co nie i spróbujemy spojrzeć w przyszłość i dostrzec tam zarysy nowego programu badawczego. Od jakich podstawowych problemów zacząć? Co warto przemyśleć?

6. FIZYKA PRZYSZŁOŚCI

Przeszłość i teraźniejszość

Obecny stan fizyki teoretycznej jest dobry, ale na pewno nie zadawalający czy idealny. Dysponujemy już dwiema teoriami: elektroslabą i chromodynamiką kwantową, które zostały sformułowane przy pomocy tak zwanej kwantowej teorii pola, będącej rozszerzeniem fizyki kwantowej o szczególną teorię względności. Teoria elektroslaba dotyczy znanych już oddziaływań: elektromagnetycznego i słabego, a chromodynamika kwantowa - silnego. Obydwie te teorie noszą wspólną nazwę: Model Standardowy i na dzień dzisiejszy obowiązuje on w fizyce cząstek elementarnych (fizyce mikroświata). Oprócz niego obowiązuje też w fizyce ogólna teoria względności (OTW), będąca klasyczną teorią grawitacji. I tu wyłania się problem. Teorie: klasyczna i kwantowa tak właściwie nie powinny koegzystować. Skoro kwantowy program badawczy jest młodszy i wypiera ten klasyczny, to logicznym wnioskiem jest próbować zastąpić OTW kwantową teorią grawitacji. Problem polega na tym, że nikt nie wie jak to zrobić. Fiasko kwantowania grawitacji wiąże się z pojawiającymi się w takiej teorii nieskończonościami, których w żaden sposób nie da się wyrugować. Nieskończoności pojawiają się też w Modelu Standardowym, ale w jego przypadku istnieje matematyczna metoda, uważana jednak za kontrowersyjną, która pozwala na ich usuwanie. Jest to tzw. **renormalizacja**.

Wiąże się ona z koniecznością włączenia do teorii kluczowych parametrów, takich jak na przykład masy spoczynkowe cząstek elementarnych. Jest to duża wada. Znakomita teoria powinna być pozbawiona nieskończoności i nie powinna być "łatana" danymi doświadczalnymi. Marzeniem fizyków jest wyznaczenie ich z teorii. Poza tym, usuwanie wielkości nieskończenie dużych nie wydaje się być uprawnione, gdyż usunąć lub zaniedbać można coś, co jest nieskończenie małe (tak uważał słynny fizyk Paul Dirac).

Istnieją też próby lepszego scalenia Modelu Standardowego w jeden schemat. Są to tzw. **teorie GUT** (*Grand Unified Theories*). Niestety, na dzień dzisiejszy pozostają one konstrukcjami hipotetycznymi, gdyż ich przewidywania nie znalazły konkretnego potwierdzenia eksperymentalnego.

Na uwagę zasługuje modna swego czasu w fizyce teoretycznej **teoria superstrun**. Zakłada się w niej, że cząstki nie są punktami, lecz drgającymi

strunami (co trochę przypomina poznaną koncepcję Gryzińskiego). Struny te drgają jednak w dziesięciu wymiarach (3 przestrzenne, 1 czasowy i 6 zwiniętych mikrowymiarów). Teoria superstrun postuluje, że masy cząstek są związane z różnymi częstotliwościami drgań strun. Nie ma ona również problemów z nieskończonościami. Potrafi także ująć i włączyć grawitację w jeden schemat teoretyczny. Brzmi to zatem jak wielka, teoretyczna idylla. Dlaczego zatem nią nie jest?

Okazuje się, że nikt nie wie jak w przypadku naszego Wszechświata zwinięte jest owe sześć mikrowymiarów. A ta informacja jest kluczowa, by móc otrzymywać z tej teorii przewidywania. Mamy zatem ciekawy, ogólny schemat i całkowity brak konkretnych przewidywań, które pozwoliłyby uznać nową teorię za lepszą, pełniejszą od swoich poprzedniczek.

Tak więc, współcześnie obraz fizyki teoretycznej jest następujący: Model Standardowy i OTW to teorie, które na pewno mamy i są one dobrze potwierdzone, choć nie pasują do siebie. Jeśli nasze marzenia o idealnej fizyce byłyby "rybą", to rzeczywisty obraz nazwałbym "rakiem". A jak wiadomo, na bezrybiu i rak rybą...

Teoria superstrun rozwijana jest dalej, ale stan euforyczny z nią związany minął i pojawiają się już głosy, że może być ona tak zwaną **koincydencją matematyczną**, czyli wykazywać "styczności" do znanej fizycznej rzeczywistości i tego co już wiemy po prostu przez przypadek.

Tak zwana M-teoria, będąca wynikiem rozwoju teorii superstrun, traktująca cząstki jak membrany (brany) w 11 wymiarach też pozostaje imponującą ciekawostką matematyczną.

Istnieją także alternatywne, poboczne podejścia teoretyczne do tego strunowo-branowego, niewątpliwie "mainstreamowego". Są to: teoria pętlowej grawitacji kwantowej i teoria twistorów. Niestety, one również nie przyniosły przełomu.

Model fizyczny

Model fizyczny stanowi wyabstrahowany obraz ciała fizycznego lub zjawiska. Ujmuje on wszystkie części składowe, które dla modelowania są kluczowe i niepomijalne, a także włącza potrzebne prawo lub prawa fizyki jako integralną część. Najlepiej zrozumieć wprowadzone przed chwilą pojęcie na przykładach modelu atomu wodoru, gazu doskonałego lub poruszającego się wahadła.

W przypadku atomu wodoru kluczowymi obiektami są: jądro atomowe i pozostający poza nim elektron, które oddziałują elektrycznie (prawo Coulomba). Model pozwala nam wyznaczać poziomy energetyczne, na jakich może przebywać elektron.

W modelu gazu doskonałego mamy naczynie zawierające poruszające się cząsteczki gazu, które uważane są za punktowe, a więc ich struktura zostaje pominięta. Cząsteczki te zderzają się ze ściankami naczynia, zmieniając pęd. Zgodnie z jednym z praw fizyki, zmiana pędu wiąże się działaniem siły, w tym przypadku działaniem na ścianki naczynia. Model ten pozwala na wyznaczenie zależności między ciśnieniem, objętością, a temperaturą dla gazu doskonałego. Jest ona wyrażana przez poznane już równanie Clapeyrona.

Dla wahadła, model fizyczny jest w stanie pomóc w wyznaczeniu zależności kąta jego wychylenia od czasu. Częściami składowymi modelu tego zjawiska są: ciało o danej masie, zawieszona na lince o danej długości oraz drugie prawo dynamiki Newtona ($F = ma$), w którego konkretnym przypadku siła F jest jedną z dwóch składowych siły grawitacji działającej na wahadło.

Poruszyłem temat modelowania w fizyce dlatego, że jestem pewien, że problemy i niepełność zarówno mechaniki kwantowej jak i kwantowej teorii pola wynikają z tego, że teorie te nie zawierają ani jednego modelu ani jednej cząstki elementarnej. Funkcja falowa jest jedynie matematycznym bytem pozwalającym obliczać prawdopodobieństwa znalezienia punktowej, bezstrukturalnej cząstki w jakimś położeniu. A dobrym i prostym dowodem logicznym na to, że cząstki jednak struktury mają jest taki schemat wnioskowania: skoro są to punkty, to co jest przyczyną różnic między nimi w wartościach mas, ładunków, spinu? Ta przyczyna musi tkwić w różnych strukturach.

Ktoś mógłby zapytać: jeśli teorie kwantowe mają taką kluczową wadę, to dlaczego tak dobrze radzą sobie w obliczeniach? Jest tak dlatego, że w modelowaniu przez nie zjawisk przyczynki strukturalne są pomijalne lub kasują się. Tak jak w przypadku modelu gazu doskonałego. Można pominąć struktury cząsteczek gazu i otrzymać dobre, użyteczne równanie Clapeyrona. Jednak, gdybyśmy chcieli wyjaśnić dlaczego, na przykład, chlor jest żółtozielony, to nie możemy traktować cząsteczki Cl_2 jako punktu, gdyż to właśnie jej struktura odpowiada za kolor tego gazu. Takim doświadczeniem, w którym struktura np.

elektronu okazała się kluczowa jest doświadczenie z dwiema szczelinami, a także eksperyment Davissona-Germera. Poznaliśmy je już w rozdziale 5.

Obraz hipotetyczny

Z modelowaniem przestrzeni i cząstek elementarnych jest fundamentalny problem. Z czego składają się te podstawowe byty? Jak wyjaśnić ich cechy za pomocą czegoś jeszcze bardziej podstawowego?

Moim zdaniem, jedynym wyjściem i jedyną odpowiedzią na te pytanie jest postulowanie istnienia struktur geometrycznych. Sprowadzenie fizyki do geometrii. Tu, w przeciwieństwie do omówionych, przykładowych modeli, nie możemy bazować na konkretnych obiektach, takich jak cząstki materialne, cząsteczki, ściany naczyń i ciała materialne.

Struktury geometryczne będą jednak określane tylko przez nas. Skąd pewność, że istnieją? To skrajnie głębokie zagadnienie. Nie wiemy bowiem co stanowi podłoże materii i przestrzeni. Jeśli struktura myślowa, to na pewno nie nasza struktura. Tylko jakaś obiektywna, istniejąca poza naszymi myślami. Mająca się do naszych myśli, jak to mawia ksiądz Michał Heller - wybitny fizyk, tak jak muzyka do zapisu nutowego. Można więc tylko próbować kreślić takie struktury i wyciągać z nich wnioski oraz mieć nadzieję, że nasze twory umysłu są tutaj ładząco podobne do tworów obiektywnych, gdy nasze wnioski okażą się zgodne z tym, co o przestrzeni i cząstkach elementarnych wiemy.

Jeden z najwybitniejszych filozofów wszechczasów - Platon, którego dzieła czytane są nawet dzisiaj, mimo, że mają około 2400 lat, miał wizję tworzywa które pośredniczy między światem materialnym a odmiennym światem idei. Nazwał je z grecka "**chora**". Być może było to po prostu tworzywo geometryczne...

Przestrzeń - zawsze istniała w fizyce jako byt trójwymiarowy i ciągły, złożony z nieskończonej liczby pozbawionych objętości i struktury punktów.

Przyjmowano powszechnie również, że w każdym odcinku znajduje się nieskończona liczba punktów.

Na problem związany z ciągłością i nieskończonością zwracał uwagę już starożytny filozof - Zenon z Elei. Jeden z przytaczanych przez niego paradoksów nosi nazwę: *dychotomia* i brzmi następująco: biegacz ma do pokonania skończony dystans. Aby go pokonać, musi najpierw przebiec połowę. A potem ćwiartkę, a dalej - jedną ósmą. Dystans ten można dzielić na coraz

mniejsze połówki w nieskończoność. Wynika z tego, że biegacz nigdy nie przebiegnie tej odległości w całości, bo ma do pokonania nieskończoną liczbę odcinków, a każda z nich zajmuje skończony przyrost czasu. Nieskończona liczba skończonych wielkości daje nieskończony czas, czyli de facto niemożność ukończenia biegu.

Paradoks ten rozwiązuje się współcześnie dość prosto. Suma niekończenie wielu skończonych wielkości może być skończona, o czym Zenon z Elei nie wiedział. I tak właśnie jest w przypadku omawianego szeregu:

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \dots + \frac{1}{2^n} + \dots$$

Gdyby jednak dystans był złożony ze skończonej liczby "skoków", ziaren przestrzeni, to wtedy paradoksu nie byłoby i wszystko dałoby się zrozumieć w prosty sposób. Biegacz pokonuje dystans w czasie "x", dlatego, że każde z "y" ziaren przestrzeni przeskakuje w czasie "x/y".

Jest jednak inna przyczyna, dla której chciałbym postulować ziarnistość przestrzeni. Jest to problem jej rozszerzania się. Nie wiemy co stoi u podłoża tego zjawiska, omówionego już w rozdziale 1. Gdy założymy jej strukturę geometryczną, dużo łatwiej jest o odpowiedź. Ziarna przestrzeni stają się coraz większe, co skutkuje jej rozdęciem.

Konkretnie, zakładam, że ziarna to po prostu zachodzące na siebie sfery (każda sięga zawsze powierzchnią środka następnej), które zajmują wobec siebie takie położenie, jak wierzchołki czworościanu foremnego - bryły, która składa się z czterech ścian będących trójkątami równobocznymi. To najprostsza i zarazem - bardzo regularna struktura, którą miałyby przestrzeń pozbawiona materii. Owe elementarne sfery nazwałbym: **dyskretonami** (ang. *discrete* - nieciągły).

Przy takim założeniu Wszechświat o skończonych rozmiarach składałby się ze skończonej liczby dyskretonów, które z czasem stawałyby się coraz większe, być może nawet zwiększałyby swój promień skokowo, ale ich liczba pozostawałaby zawsze niezmienna. Swoją drogą, byłoby bardzo ciekawie znać tę liczbę. Skoro przyjmujemy, że dyskreton to najmniejszy składnik Wszechświata, liczba ta musiałaby być nadkosmiczna; na pewno większa niż liczba wszystkich cząstek elementarnych.

Masa - trudno zakładać, że cząstki elementarne są punktami w ziarnistej przestrzeni. Należy zatem przypuszczać, że stanowią pewne struktury, które są

zaburzeniem w gładkiej, regularnej strukturze samej przestrzeni i że te struktury budowane są w specyficzny sposób przez dyskretony.

Zakładam, że przy powstaniu Wszechświata, cząstki mogły wyłaniać się razem z powstawaniem dyslokacji i zawirowań w samej przestrzeni. Wielki Wybuch przecież nie był zjawiskiem gładkim i spokojnym, ale nagłym i burzliwym.

Na obrzeżach niektórych obszarów przestrzeni znajdowały się dyskretony, które wszystkie nachodziły na siebie bardziej niż w pustej przestrzeni, co powodowało skurczenie się obrzeża i przesunięcie w kierunku centrum obszaru. Przenosiło się to na dyskretony poza cząstką i powodowało, że przesuwały się one również bardziej w kierunku cząstki, z tym, że wraz z odległością od cząstki to zjawisko malało, aby zniknąć zupełnie w bardzo dalekiej odległości (teoretycznie: w nieskończonej odległości). Tak tworzyło się pole grawitacyjne, które objawia się tym, że cząstka przelatująca obok cząstki wyjściowej nie porusza się prosto (jak w wolnej przestrzeni), tylko jej tor jest zakrzywiany wskutek obecnych dyslokacji. Jest ona po prostu przyciągana grawitacyjnie.

Przy okazji warto tu nadmienić, że aby nastąpiło nieznane nam odpychanie grawitacyjne (*antygravitacja*) dyskretony na obrzeżach cząstek musiałyby nachodzić na siebie mniej niż w pustej przestrzeni. Nie jest znany sposób, aby tego dokonać. Być może umieszczenie cząstki elementarnej w środku dużej, sferycznej masy spowodowałoby odkształcenie obrzeża cząstki w kierunku zewnętrznym. Gdyby było ono trwałe, cząstka brałaby udział w odpychaniu grawitacyjnym. Jest to oczywiście hipoteza.

Najprostszą strukturą cząstki mogą być cztery dyskretony w wierzchołkach tetraedru, które nachodzą na siebie bardziej i formują cząstkę o niewielkiej masie. Może być nią ultralekkie neutrino, które w zależności od stopnia tego nachodzenia jest neutrinem elektronowym, mionowym lub taonowym. Objętości cząstek cięższych, np. elektronu, mionu, taonu i kwarków mogą być większe i opasane bardziej skomplikowanymi układami (z wieloma osiami symetrii) bardziej nachodzących na siebie dyskretonów. Różnice w masach między nimi mogą wynikać nie tylko i nie zawsze z różnych objętości, lecz z różnego stopnia nachodzenia się dyskretonów.

Trzeba zauważyć, że jeżeli dyskretony zwiększają swój promień w związku z ekspansją przestrzeni Wszechświata, a budują one obrzeża cząstek elementarnych, to może istnieć zależność rozmiarów Wszechświata od

własności tych cząstek. Idea nie jest nowa, ale jest bardzo ciekawa. Makroparametry mają związek z mikroparametrami.

Spin - w mechanice kwantowej spin uważany jest za wewnętrzną własność cząstek i nie próbuje się go w żaden sposób zobrazować. Myślę jednak, że skoro przedstawiamy cząstkę jako strukturę, uprawnione jest przypuszczenie, że struktura ta wiruje. Przedstawię teraz dlaczego tak uważam.

Wartości spinu wyrażane są za pomocą poznanej już stałej Plancka (h). Ma ona wymiar: dżul razy sekunda ($J \cdot s$). Dżul jest jednostką pracy i energii. Można go wyrazić za pomocą jednostki siły (niuton - N) i odległości (metr - m)

$$J = N \cdot m$$

Niuton można wyrazić za pomocą jednostki masy i przyspieszenia (co wynika z drugiego prawa dynamiki Newtona, $F = \text{masa} \cdot \text{przyspieszenie}$):

$$N = \text{kg} \cdot (\text{m/s}^2)$$

Zbierając wszystko w całość otrzymujemy:

$$\text{kg} \cdot (\text{m/s}^2) \cdot \text{m} \cdot \text{s} = \text{kg} \cdot (\text{m/s}) \cdot \text{m}$$

Jest to iloczyn jednostek trzech wielkości: masy (m - nie mylić z metrem), prędkości (v) i odległości (r). Wielkości te składają się w ten sposób na tak zwany **moment pędu** (L):

$$L = mvr$$

Moment pędu to wielkość cechująca każde ciało, które kręci się wokół jakiejś osi, także własnej. A więc wyraźnie obrót jest obecny.

W moim obrazie hipotetycznym cząstka-struktura kręci się wokół własnej osi i podczas ruchu jednostajnego, prostoliniowego dokonuje precesji, ale wszystkie te ruchy nie mają na siebie wpływu. Przestrzeń po prostu opływa cząstkę.

Ładunek - przedstawienie grawitacji nie jako siły, ale jako wyniku zmiany geometrii przestrzeni okazało się być sukcesem. Jako, że apetyt wzrasta w miarę jedzenia, kusząca jest wizja geometryzacji trzech pozostałych oddziaływań. Oddziaływanie słabe postrzegaliśmy jednak jako coś odrębnego, wynikającego z emisji ciężkich bozonów przez wysokoenergetyczne fermiony i pochłaniania ich przez inne. Zjawisko jest mało prawdopodobne, bo emisja ciężkiego bozonu jest

mało prawdopodobna, a poza tym jest on niestabilny, więc "żyje" tylko na krótkim dystansie i na tym dystansie musi spotkać lepton absorbujący go.

Sam ładunek elektryczny byłby związany z wirowaniem dyskretionów na obrzeżach cząstki (zgodnie lub niezgodnie z ruchem wskazówek zegara). Jeśli chodzi na przykład o cząstki: elektron i pozyton, to mogą one mieć takie same kierunki spinu i oddziałują identycznie grawitacyjnie. Różnica jest taka, że w przypadku elektronu dyskretiony na jego obrzeżach kręcą się "w prawo", a w przypadku pozytonu, kręcą się tak samo szybko, ale "w lewo" (ładunek dodatni). Dyskretiony obrzeża nie oddziałują na siebie nawzajem, ale oddziałują zawsze tylko całe cząstki (pogląd Richarda Feynmana) za pomocą pola, które tworzy się na tej samej zasadzie, co grawitacyjne. Różnica jest taka, że, przeciwnie niż w przypadku grawitacji, cząstki o takich samych ładunkach odpychają się, a nie przyciągają.

Kolor - próba geometryzacji oddziaływań silnych nie jest łatwym zadaniem. Hipotetyczne obrzeże kwarka składać się może z dyskretionów tworzących sieć trójkątów (nie zawsze równobocznych) w taki sposób, że każdy dyskretion sąsiaduje bezpośrednio z sześcioma innymi, tworzącymi sześciokąt. Element ten wywodzi się od trójkątów tetraedrów, które współtworzą coś podobnego do sfery geodezyjnej (trójkąty pokrywające jak dachówki powierzchnię sfery). Zatem każdy dyskretion ma sześć możliwości przesunięcia po powierzchni sfery (trzy dla trzech kolorów i trzy odpowiednio przeciwne dla antykolorów). Kierunki tych przesunięć są stałe względem wektora spinu.

Tak więc, przykładowy kwark o ładunku niebieskim ma jedną, ściśle ustaloną względem spinu dyslokację powierzchniową wszystkich dyskretionów swojego obrzeża. Struktura wnętrza cząstki pozostaje regularna, bez przesunięć.

Być może jest tak, że dyslokacje powierzchniowe, również przenoszące się na przestrzeń wokół cząstki, rosną z odległością, co jest przyczyną poznanej już asymptotycznej swobody.

Być może jest też tak, że ładunki kwarków są ułamkowe ($-1/3e$, $+2/3e$) dlatego, że generowanie dyslokacji powierzchniowych przy powstawaniu kwarków tuż po Wielkim Wybuchu pochłaniało część przypadającej energii i dlatego wirowanie odpowiedzialne za ładunek było już wolniejsze niż w przypadku elektronów i pozytonów.

Energia - energia związana z każdym przesuniętym dyskretonem jest skończona, a więc jeśli Wszechświat budowany jest przez skończoną ich liczbę, to jego całkowita energia też musi być skończona. Może być ona związana albo z polem, albo z samymi cząstkami elementarnymi.

Każda taka cząstka niesie energię, która zależy od jej masy. Jej wartość wyrażana jest słynnym wzorem Einsteina, który dla masy spoczynkowej (m_0) ma postać:

$$E_0 = m_0 c^2$$

a dla dowolnej masy (m):

$$E = m c^2$$

gdzie: c - prędkość światła

Mówimy, że energia jest użyteczna wtedy, gdy może ona posłużyć do wykonania pracy. Problem polega na tym, że energia masy nie jest użyteczna, gdyż nikt nie wie jak zamienić ją w pracę. Cząstka musiałaby zniknąć i zamienić się w foton, a takie zjawisko jest możliwe tylko podczas anihilacji materii i antymaterii. Przykładowo: elektron wolno poruszający się anihiluje z pozytonem wolno poruszającym się i powstają dwa fotony gamma (rzadziej trzy). Jako, że nasz świat zbudowany jest z materii, musielibyśmy produkować antymaterialne pozytony, a to pochłaniałoby tyle energii, że późniejsze otrzymywanie jej z anihilacji na nic by się zdało. Bilans byłby zerowy, a w praktyce - ujemny.

Pozostaje zatem problem teoretyczny "rozpakowania" cząstki materialnej. Na dzień dzisiejszy nikt nie wie jak to zrobić. Być może zjawiska tego typu zdarzają się w przyrodzie przypadkowo, na przykład wtedy, gdy elektron przypadkowo znajdzie się dokładnie pomiędzy sześcioma jądrami atomowymi (w pozycji: północ, południe, wschód, zachód, góra, dół) i wskutek ich przyciągania elektrycznego zostanie rozerwany. Tego typu zjawiska mogą zdarzać się w plazmie lub w metalach, gdzie elektrony mają dużą swobodę ruchu. Potrzebne są dokładne badania ukazujące czy plazma lub metale emitują nieco więcej fotonów o energii ($h\nu$) równej energii masy elektronu niż wynika ze zjawisk znanych i naturalnych:

$$h\nu = m_e c^2$$

gdzie: m_e - masa spoczynkowa elektronu

Energię taką mają fotony o częstotliwości drgań (ν) równej:

$$\nu = \frac{m_e c^2}{h}$$

Ta częstotliwość drgań odpowiada fotonom z zakresu promieniowania gamma.

Ciemna materia - wysuwam hipotezę, mówiącą, że ciemna materia składa się z cząstek, które mają nieregularne kształty (brak osi symetrii lub jest ich niewiele). Powstawały one tuż po Wielkim Wybuchu i ich produkcja wymagała większej energii niż wynikałoby to z ich masy, dlatego że w ich przypadku energia związana jest nie tylko z masą, ale i z odkształceniami. To wyjaśnia dlaczego na razie nie potrafimy ich wyprodukować. Zwyczajnie, nie dysponujemy wystarczającą mocą akceleratorów. Nasuwa mi się na myśl porównanie futbolowe. Kopnięcie piłki wymaga energii, ale takie kopnięcie, aby doznała ona trwałego odkształcenia wymaga energii dużo większej.

Zakończenie

Wszechświat powstał wraz ze swoimi uniwersalnymi prawami fizyki. Działają one zawsze i na wszystkich poziomach złożoności. Fizyka jest niezwykle piękną dziedziną, bo dzięki niej możemy te prawa poznawać. A dzięki nim mamy poczucie rozumienia przyrody, która mimo swej różnorodności ma podłoże cudownie spójne, logiczne i mało skomplikowane.

LITERATURA

- ADAMS S. *Relativity. An introduction to space-time physics*, Taylor & Francis, London 2000
- BOHM D. *Quantum theory*, Dover Publications, New York 1989
- CLOSE F. *Kosmiczna cebula*, PWN, Warszawa 1988
- DAVIES P. *Czas*, Prószyński i S-ka, Warszawa 2002
- DAVIES P. *Ostatnie trzy minuty*, Wydawnictwo CIS, Warszawa 1995
- DIU B. *Czy atomy naprawdę istnieją?*, PIW, Warszawa 2000
- EINSTEIN A. INFELD L. *Ewolucja fizyki*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1998
- FEYNMAN R. *Charakter praw fizycznych*, Prószyński i S-ka, Warszawa 2000
- FEYNMAN R. LEIGHTON R. SANDS M. *Feynmana wykłady z fizyki*, PWN, Warszawa 2001
- GRIFFITHS D. *Introduction to elementary particles*, WILEY-VCH, Weinheim 2004
- GRIFFITHS D. *Podstawy elektrodynamiki*, PWN, Warszawa 2009
- GRYZIŃSKI M. *Sprawa atomu*, Homo-Sapiens, Warszawa 2002
- GUTH A. *Wszechświat inflacyjny*, Prószyński i S-ka, Warszawa 2000
- HARTLE J.B. *Grawitacja*, WUW, Warszawa 2010
- HAWKING S. *Wszechświat w skorupce orzecha*, Zysk i S-ka, Poznań 2002
- HELLER M. *Filozofia przyrody*, Znak, Kraków 2005
- HELLER M. *Początek jest wszędzie*, Prószyński i S-ka, Warszawa 2003
- KAKU M. TRAINER J. *Dalej niż Einstein*, PIW, Warszawa 1993
- LIBOFF R. *Wstęp do mechaniki kwantowej*, PWN, Warszawa 1987
- LIDDLE A. *Wprowadzenie do kosmologii współczesnej*, Prószyński i S-ka, Warszawa 2000
- MATTHEWS P.T. *Wstęp do mechaniki kwantowej*, PWN, Warszawa 1967
- MORRIS R. *Krótką historia nieskończoności*, Wydawnictwo CIS, Warszawa 1999
- OSIŃSKI Z. *Mechanika ogólna*, PWN, Warszawa 2000
- PANCZYKOWSKI M. *Fizyka teoretyczna. Podstawy*, Dozazine, Maków Mazowiecki 2015
- PENROSE R. *Droga do rzeczywistości*, Prószyński i S-ka, Warszawa 2006
- PURCELL E.M. *Elektryczność i magnetyzm*, PWN, Warszawa 1974
- REES M. *Tylko sześć liczb*, Wydawnictwo CIS, Warszawa 2000

REIF F. *Fizyka statystyczna*, PWN, Warszawa 1963

SCHWARTZ M. *Principles of electrodynamics*, Dover Publications, New York 1987

SMOLIN L. *Kłopoty z fizyką*, Prószyński i S-ka, Warszawa 2008

STRZAŁKOWSKI A. *O siłach rządzących światem*, PWN, Warszawa 1996

SUSSKIND L. HRABOWSKI G. *Teoretyczne minimum*, Prószyński i S-ka, Warszawa 2015

SUSSKIND L. FRIEDEMANN A. *Mechanika kwantowa. Teoretyczne minimum*, Prószyński i S-ka, Warszawa 2016

TIPLER P. LEWELLYN R. *Fizyka współczesna*, PWN, Warszawa 2016

WEINBERG S. *Pierwsze trzy minuty*, Iskry, Warszawa 1980

WHITTAKER E.T. *Od Euklidesa do Einsteina*, PWN, Warszawa 1965