

Leptony, Hadrony, Kwarki

Autor tekstu: Jerzy Sikorski

Czym są najbardziej fundamentalne składniki materii — ten problem zaprzętał uwagę ludzi już od czasów starożytnych. Ponieważ fizyka — w dzisiejszym jej rozumieniu — liczy sobie zaledwie ok. 500 lat, więc wcześniej rozważania takie były głównie domeną filozofów. Nasz europejski krąg cywilizacyjny ma swe kulturowe korzenie w starożytnej Grecji. Tam więc, w greckiej myśli filozoficznej poszukiwać można pierwszych systematycznych rozważań na temat podstawowych własności materii. Największy i najbardziej trwały wpływ na poglądy ludzi dotyczące budowy materii wywarła myśl Demokryta (460 — 370 p.n.e.) i jego koncepcja atomistyczna — czyli koncepcja dyskretnej struktury materii. Atomizm, jako pewien program i sposób myślenia o materii, przetrwał do czasów współczesnych i jest dość silnie zakorzeniony w potocznym myśleniu.

W dziejach myśli europejskiej różnie odnoszono się do realności istnienia atomów. W XVIII i XIX wieku istniały już silne wskazówki, dostarczane np. przez chemię, na rzecz atomów jako najmniejszych cegiełek materii (np. prace Daltona z przełomu XVIII i XIX w.). Nie przesądzało to jednak sprawy ich realnego istnienia. Np. jeszcze Max Planck przed 1900 rokiem nie wykluczał myśli, że atomizm to pewna wygodna i użyteczna konstrukcja modelowa, która wcale nie musi oznaczać, że atomy dadzą się wyodrębnić jako realne, indywidualne byty.

W pierwszych dekadach XX w. istnienie atomów przestało być spekulatywną koncepcją. Badania nad promieniotwórczością wykazały złożoność atomu zaś dalsze prace ukazały także złożoność jądra atomowego i wprowadziły pojęcie cząstek elementarnych. Nazwa „atom” utraciła więc swe pierwotne etymologiczne znaczenie (od 'atomos' - niepodzielny) jednak atomizm jako szerzej rozumiany sposób patrzenia na dyskretną strukturę materii pozostał bardzo silnie zakorzeniony w umysłowości ludzi. Własności atomów wyjaśniało się poprzez własności jego składników i oddziaływań między nimi. Jedynie poziom elementarności przesunął się ze szczebla atomowego na głębsze, bardziej fundamentalne piętro. Pozostał jednak ów redukcjonistyczny sposób podejścia polegający na wyprowadzaniu własności obiektu złożonego z własności jego elementarnych składników i związków między nimi.

Wiemy jednak, że opis struktury atomu w języku i w ramach formalizmu fizyki klasycznej okazał się całkowicie niemożliwy. Półklasyczny „planetarny” model atomu stworzony przez Bohra miał bardzo ograniczone zastosowanie. Do opisu świata na tym poziomie niezbędne okazało się całkiem nowe podejście sformułowane m.in. przez Schrödingera, Heisenberga, Pauliego, Diraca i innych wielkich tej epoki, podejście zwane mechaniką kwantową. Jej konsekwencje (w tym m.in. zasada nieoznaczoności) okazały się dramatycznie różne od tego wszystkiego do czego przyzwyczała nas fizyka klasyczna.. Nasz codzienny potoczny język, którym całkiem dobrze mogliśmy wypowiadać treść i interpretacje zawarte w równaniach fizyki klasycznej, teraz całkowicie załamywał się przy próbach wyartykułowania wniosków wynikających z formalizmu matematycznego mechaniki kwantowej. Wszystko to rzutować musiało także na sytuację filozofii nauki, której aparat pojęciowy tkwił wówczas jeszcze głęboko w XIX wiecznym języku klasycznym. Próby wyrażenia w tym języku wszelkich filozoficznych uogólnień prowadziły bardzo często do licznych nieporozumień. Cóż się jednak dziwić, skoro sami fizycy zajmujący się podstawami mechaniki kwantowej spierali się (i do dziś spierają) o różne interpretacyjne problemy tej teorii. Znamienne może tu być powiedzenie Penrose'a: *"jeśli ktoś wierzy w mechanikę kwantową to nie może jej traktować poważnie"*.

Nasze potoczne myślenie o budowie materii jest niejako genetycznie obciążone atomizmem. Wynika to zarówno z zaszczepionego nam tzw. „zdrowego chłopskiego rozumu” jak i ze szkolnego poziomu edukacji oraz popularyzacji. Wszyscy niemal mamy zakodowane w wyobraźni owe atomy-kuleczki a na jeszcze głębszym poziomie strukturalnym mniejsze kuleczki lub kropeczki odpowiadające cząstkom subatomowym. Wszystkie te twory widzimy jako pewne rzeczy, obiekty, które powinno się dać dobrze zlokalizować w przestrzeni i czasie. Tymczasem mechanika kwantowa poucza nas, wręcz krzyczy, że to wszystko jest nie tak. Te wszystkie punkciki, kropeczki, kuleczki to tylko pewne protezy intelektualne, które tak się mają do rzeczywistości jak proteza nogi do rzeczywistej zdrowej nogi albo i jeszcze gorzej. Owszem, składniki mikroświata zachowują się w niektórych eksperymentach tak jak klasyczne cząstki punkciki lecz w innych sytuacjach tak jak fale. Jednak nazwy „cząstka” i „fala” trzeba tu

traktować raczej jako pewne metafory zaczerpnięte z potocznego języka i z języka fizyki klasycznej. W tych językach brakuje bowiem odpowiedniego słowa na wyrażenie czym to właściwie jest. Natrafiamy tu więc na wyraźną barierę językową. Język potoczny najwyraźniej nie nadąża za rozwojem sytuacji. Chcąc nim mówić o własnościach mikroświata często stwierdzamy, że — jak pisał nasz wieszcz — *"język kłamie głosowi a głos myślom kłamie"*. W najlepszym razie skazani jesteśmy na używanie starych, klasycznych, słów i pojęć w formie metafor. Pamiętać jednak trzeba, aby tych metafor nie traktować całkiem dosłownie. Ścisły w modelowaniu świata jest tylko język równań matematycznych. Język potoczny nie ma już tej ścisłości i jednoznaczności. Jest bardziej znaczeniowo rozmyty i nieostry [nawiasem mówiąc, gdy określamy język jako rozmyty i nieostry to też używamy określeń metaforycznych]. Widać więc, że każdy problem wymaga dobrania odpowiedniego doń języka. Nie da się pisać wierszy w języku C++ a programów komputerowych trzynastozgłoskowcem.

Stwierdziliśmy już poprzednio, że zakodowany w nas głęboko atomizm każe nam traktować składniki mikroświata jako obiekty, jako pewne rzeczy, które dają się wyraźnie wydzielić z otoczenia a także dobrze zlokalizować w przestrzeni i czasie. Całe nasze makroskopowe doświadczenie życiowe przemawia za takim podejściem. Gdy jednak próbujemy myśleć i mówić np. o świetle, o fotonach, to natrafiamy na wyraźną barierę językowo pojęciową. Foton swobodny nie ma bowiem w ogóle określonej lokalizacji przestrzennej. Gdy zaś mowa o fali monochromatycznej to również — poprzez zasadę nieoznaczoności — jego umiejscowienie w czasie jest właściwie żadne. Czy coś takiego zasługuje na określenie „obiekt”? Na poziomie klasycznym mówi się o świetle jako o fali elektromagnetycznej. O fali jednak (każdej, nie tylko elektromagnetycznej) skuteczniej jest mówić (i myśleć) jako o pewnym procesie niż jako o obiekcie. Fala nie tyle istnieje (tak jak rzecz) co dzieje się jako proces. Przykład ten podsuwa myśl — coraz częściej wyrażaną przez niektórych fizyków — że zwłaszcza składniki mikroświata zasługują na miano procesów raczej niż obiektów. W przypadku procesów (nie tylko falowych ale jak najogólniej rozumianych) nie jest niczym szokującym niemożność ich lokalizacji przestrzennej czy czasowej z dowolną dokładnością.

Wiele zjawisk procesowych znamy z naszego makroskopowego doświadczenia codziennego. Odwołajmy się więc do nich jako do pewnych porównań i metafor. Czymże jak nie procesem bardziej niż obiektem jest np. trąba powietrzna lub wir na wodzie. One też nie tyle są co dzieją się. One bez tej dynamiki po prostu nie istnieją. Oczywiście nie chcę tu twierdzić, że elektrony czy inne składniki mikroświata to jakieś mini wiry. Porównanie oznacza tylko tyle, że one też mogą mieć raczej cechy procesów niż obiektów. Słowo proces może być dla nich właściwsze niż słowo obiekt. Pragnę jednak wyraźnie podkreślić, że nie chodzi tu o koncepcję procesów lansowaną np. przez Whiteheada (1861 — 1947), który ujmował świat i zjawiska w nim jako procesy, dziejące się jednak w świecie rzeczy. U niego rzeczy — czyli wyraźne i w miarę trwałe byty jednostkowe — są podstawowym tworzywem otaczającego nas świata. Procesom zmian podlegać zaś mogą ciała złożone z fundamentalnych składników. W lansowanej tutaj koncepcji procesami miałyby być najbardziej fundamentalne składniki.

Odwołam się do jeszcze jednej metafory — pamiętając cały czas o pewnej kulawości i ograniczonej stosowalności każdej z metafor. Rozważmy więc przykładowo obraz na ekranie telewizora lub monitora. Obraz nieruchomy, stop klatkę, gdzie właściwie nic się nie dzieje. Czy taki obraz to jest obiekt? Wiemy przecież z grubsza jak taki obraz powstaje. Wiemy, że po luminoforze biega tam bardzo szybko plamka świetlna generowana przez odpowiednio sterowaną wiązkę elektronów i tylko dzięki pewnej bezwładności naszego procesu widzenia odbieramy ten efekt jako zintegrowany obraz. Jest to w sumie pewne złudzenie wynikające z dość marnej rozdzielczości czasowej naszego narządu wzroku. Gdybyśmy na ten sam obraz mogli patrzeć z rozdzielczością milisekundową lub jeszcze lepszą to obraz ten rozpadłby się na świecące kropki i smugi latające po ekranie. Taki obraz też jest więc raczej procesem niż rzeczą. On musi ciągle działać się bo inaczej go nie będzie. Ponadto, gdy obraz ten zaczynamy oglądać z bliska przez lupę to widzimy, że rozpada się on na pojedyncze świecące piksele. Ginie więc w jakimś sensie jego zintegrowanie przestrzenne.

Ciekawe jak by się nam przedstawiał świat - zwłaszcza mikroświat — gdybyśmy byli w stanie badać go z rozdzielczością czasową rzędu skali planckowskiej, 10⁻⁴⁴ s. Czy wówczas to co rejestrujemy jako elektrony, czy inne cząstki też by się rozpląnęło jak ten obraz telewizyjny oglądany w skali mikrosekundowej? Na obecnym etapie najszybsze zjawiska jakie rejestrujemy w świecie cząstek elementarnych mają skalę czasową rzędu 10⁻²⁴ sekundy. To o 20 rzędów wielkości więcej niż skala plancka. Otrzymujemy więc obraz zintegrowany i jakby uśredniony po niesłychanie długim czasie. Czy kiedyś uda nam się zbliżyć rozdzielczością do

skali planckowskiej? Mechanika kwantowa nakazuje tu spory pesymizm. Zasada nieoznaczoności — ten okrutny cenzor w mikroświecie — mówi nam, że im większa czasowa zdolność rozdzielcza tym większy nakład energetyczny trzeba zaangażować. Rozdzielczość w skali planckowskiej wymaga planckowskich gęstości energii odpowiadających temperaturze rzędu 10³² K. A to już są warunki zbliżone do kosmologicznego Wielkiego Wybuchu.

Mówienie o składnikach mikroświata jako o procesach jest również nawiązaniem (choć w nowym kontekście) do starożytnej koncepcji Heraklita (550 - 480 pne.) mówiącej, że fundamentalną zasadą otaczającej nas rzeczywistości jest ciągła zmienność i ruch. Jego sławetne Pantharei należałoby dziś tłumaczyć jako „wszystko jest procesem”. Jest to stanowisko przeciwstawne temu jakie głosił współczesny Heraklitowi inny grecki filozof Parmenides. W jego koncepcji ruch i zmiany były czymś powierzchownym i drugorzędym. Uważał on, że na najgłębszym poziomie rzeczywistości nie ma zmian. Atomizm Demokryta traktujący niepodzielne atomy jako wieczne i trwałe nawiązywał właśnie do idei Parmenidesa. Współczesna fizyka podsuwa nam obraz świata — zwłaszcza na poziomie mikro — lepiej zakorzeniony w idei Heraklita. Czy oznacza to, że koncepcja Parmenidesa przegrała na całej linii? Czy nie ma nic trwałego w naszym Wszechświecie, który też jako całość ewoluuje? Może jedynie czymś trwałym i niezmiennym są fundamentalne prawa i zasady rządzące w świecie.

Fizyka jest tym obszarem działalności człowieka, na którym próbuje on dociec i sformułować najbardziej fundamentalne prawa natury. Marzy się o jakiejś wszechogarniającej teorii, która za pomocą właściwego formalizmu matematycznego dobierze się do samego sedna sprawy i ogarnie wszystkie podstawowe własności materii. Czy to jest możliwe i czy kiedyś się spełni ?

Fizyka opisuje świat tworząc odpowiednie modele. Model taki to pewna konstrukcja matematyczna i zakotwiczone w niej równania. Pozwalają one ilościowo przewidywać wyniki naszych poczynań empirycznych. Jeśli zgodność przewidywań z otrzymanymi rezultatami jest wystarczająca w granicach dostępnej dokładności to model możemy uważać za satysfakcjonujący. Mechanika kwantowa uznawana jest obecnie za wysoce zadawalający model zjawisk na poziomie mikro. Również bazujący na niej tzw. standardowy model budowy materii i oddziaływań (model kwarkowo leptonowy wraz z opisem oddziaływań w języku odpowiednich grup symetrii) wprowadza sporo ładu w mrowie cząstek elementarnych. Nie brak w tym modelu pewnych luk i słabych punktów, z których fizycy doskonale zdają sobie sprawę i dążą do zbudowania jeszcze doskonalszego modelu.

Model kwarkowy zakwestionował elementarność hadronów. Cała bardzo liczna klasa cząstek straciła właściwie prawo do przymiotnika „elementarne” (tak jak wcześniej atom przestał oznaczać niepodzielność). Jednocześnie model kwarkowy postawił fizyków wobec nowej zaskakującej sytuacji. Nie możliwe okazało się wyodrębnienie pojedynczych kwarków z hadronów. Po raz pierwszy zetknięto się z sytuacją, kiedy złożony twór jakim wydaje się być hadron nie daje się rozłożyć na swoje prostsze (elementarniejsze) składniki. Postawiło to w nowym świetle problem realności istnienia kwarków. Problem ten jeszcze trudniejszy był chyba do przyswojenia przez filozofów fizyki niż przez samych fizyków, którzy w ramach matematycznego formalizmu znaleźli uzasadnienie dla tej nowej sytuacji. Istnieją wprawdzie dość mocne poszlaki sugerujące, że w pewnych ekstremalnych sytuacjach zdarzających się być może we wnętrzach gwiazd neutronowych oraz w pierwszych chwilach kosmologicznego Wielkiego Wybuchu, przy ogromnych gęstościach energii mógłby istnieć stan materii nazywany roboczo „zupą kwarkowo gluonową”, jednak w skali naszych badań laboratoryjnych kwarki i gluony pozostają uwięzione w obrębie hadronu przez tzw. oddziaływania supersilne „kolorowe”. Drugą grupę elementarnych składników materii tworzą leptoni, które dla odmiany bardzo dobrze „czują się” jako byty indywidualne. W modelu standardowym mamy także kwanty pól przenoszących oddziaływania pomiędzy kwarkami i/lub leptonami — a więc fotony, bozony W i Z oraz gluony. Otwartym pozostaje problem wbudowania w to wszystko kwantowej grawitacji.

Czy można, patrząc na cały ten kompleks zjawisk zachodzących na poziomie modelu kwarkowo leptonowego (wraz z podstawowymi oddziaływaniami) opisywać go w terminach wspomianej tu koncepcji procesów? Wydaje się to całkiem możliwe i dość pożyteczne. Nie mam tu na myśli formalizmu matematycznego, który jest taki jaki jest niezależnie od tego co i jak mówimy słowami. Chodzi o próbę w miarę trafnego mówienia o tym co z tego formalizmu wynika i to mówienia językiem zbliżonym do potocznego. Określając leptoni i kwarki (a także wymienione nośniki oddziaływań) mianem PROCESÓW (a nie obiektów) łatwiej zaakceptuje się sytuację częstych przemian jednych cząstek w drugie a także pojawianie się i znikanie cząstek.

Nie jest to wyłącznie moja osobista opinia. Powtarzam tu raczej pojawiające się coraz częściej opinie innych fizyków oraz filozofów i metodologów fizyki. Hadron — według takiego obrazu — to pewien kompleks procesów, które mogą działać się tylko w zespole (a nie oddzielnie) i które my nazwaliśmy kwarkami oraz gluonami. Leptony to procesy mogące działać się indywidualnie ale także mogące wpływać na siebie wzajemnie generując inne procesy.

Zdaję sobie w pełni sprawę z tego, że to „procesowe” spojrzenie na składniki mikroświata to trochę objaśnianie nieznanego przy pomocy niewiadomego. Nie potrafimy odpowiedzieć na pytanie — jak i w czym taki proces się dzieje lub jaka jest właściwie jego natura. Wartość „procesowego” spojrzenia upatruje się głównie w tym, że jest ono obiecującą alternatywą dla spojrzenia atomistycznego, które stosowane na poziomie kwantowym prowadzi do różnych paradoksów i nieporozumień oraz przyprawia o dyskomfort psychiczny.

Fizyka tworzy i chyba będzie nadal tworzyć coraz oryginalniejsze modele matematyczne penetrujące coraz głębiej strukturę rzeczywistości. Odślaniają one coraz bardziej osobliwe własności, o których coraz trudniej jest mówić potocznym językiem. Nie wiemy co ukaże się nam gdy zaczniemy ocierać się o tzw. próg skali planckowskiej. Czy będzie to proces nazywany dziś roboczo superstruną, czy też jakiś inny kompleks procesów, które na poziomie odległym od planckowskiego odbieramy jako przestrzeń i czas. Pamiętać jednak trzeba, że znakomity nawet model świata fizycznego jest tylko modelem a nie samą rzeczywistością. To trochę tak (tu znowu pewna metafora) jak manekin udający człowieka jest jakimś tam modelem, sporo bowiem mówi o tym jak zewnątrz wygląda człowiek. Jeśli nawet wypełnimy tego manekina superelektroniką i automatyką tak, że będzie chodził, mówił i symulował wiele innych ludzkich zachowań to jednak samym człowiekiem on nie będzie. Będzie tylko jego modelem oddającym pewne aspekty człowieka. Modele fizyczne też są po trochu takimi manekinami. Coraz doskonalszymi i oddającymi coraz szerszy zakres zjawisk, ale jednak bliżej im do tego manekina. Już staruszek Kant z Królewca uświadamiał nam, że poznawać świat możemy jedynie poprzez modele zaś tzw. przez niego „rzecz sama w sobie” nie jest w tym procesie poznawana (i być może nie jest poznawalna). Wydaje się, że rezultaty współczesnej fizyki coraz bardziej przyznają mu rację w tym zakresie.

Cóż to bowiem znaczy, że tworzymy modele. To nasz mózg, otrzymując mnóstwo rozmaitych informacji o zjawiskach jakoś to porządkuje i przetwarza. Nie wiemy zbyt dobrze jak to się dzieje. To także jakiś niezwykle złożony kompleks procesów. Jeśli kiedyś uda nam się je poznać i zrozumieć (zamodelować) to być może lepiej wówczas zrozumiemy, jak mają się tworzone przez nas modele do rzeczywistości — do owej „rzeczy samej w sobie”. Jednak my sami wraz ze swoimi mózgami jesteśmy częścią całej tej rzeczywistości rozpiętej pomiędzy skalą planckowską a skalą Wszechświata. Jesteśmy częścią usiłującą ogarnąć całość. Nie wiem czy i na ile taki ambitny program najgłębszego poznania ma szansę powodzenia. Być może chociaż w pewnym zakresie da się go kiedyś zrealizować. W końcu nauka i jej rozwój to także ciągły proces.

Bibliografia:

- M. Heller — Filozofia świata; wyd. Znak, 1992.
- M. Heller — Wszechświat u schyłku stulecia; wyd. Znak, 1994.
- M. Heller — Mechanika kwantowa dla filozofów; wyd. Biblos, 1996.
- R. Penrose — Makroświat, mikroświat i ludzki umysł; wyd. Prószyński & S-ka, 1997.
- L. Smolin — Trzy drogi do kwantowej grawitacji; wyd. CiS, 2001.
- M. Tempczyk — Fizyka a świat realny; PWN, 1986.

Jerzy Sikorski

Profesor Uniwersytetu Gdańskiego, wydział fizyki; kosmolog

[Strona www autora](#)

[Pokaż inne teksty autora](#)

(Publikacja: 03-06-2002 Ostatnia zmiana: 07-09-2003)

[Oryginał.](http://www.racjonalista.pl/kk.php/s,380) (<http://www.racjonalista.pl/kk.php/s,380>)

Contents Copyright © 2000-2008 by Mariusz Agnosiewicz
Programming Copyright © 2001-2008 Michał Przech

Autorem tej witryny jest Michał Przech, zwany niżej Autorem.
Właścicielem witryny są Mariusz Agnosiewicz oraz Autor.

Żadna część niniejszych opracowań nie może być wykorzystywana w celach komercyjnych, bez uprzedniej pisemnej zgody Właściciela, który zastrzega sobie niniejszym wszelkie prawa, przewidziane w przepisach szczególnych, oraz zgodnie z prawem cywilnym i handlowym, w szczególności z tytułu praw autorskich, wynalazczych, znaków towarowych do tej witryny i jakiegokolwiek ich części.

Wszystkie strony tego serwisu, wliczając w to strukturę podkatalogów, skrypty JavaScript oraz inne programy komputerowe, zostały wytworzone i są administrowane przez Autora. Stanowią one wyłączną własność Właściciela. Właściciel zastrzega sobie prawo do okresowych modyfikacji zawartości tej witryny oraz opisu niniejszych Praw Autorskich bez uprzedniego powiadomienia. Jeżeli nie akceptujesz tej polityki możesz nie odwiedzać tej witryny i nie korzystać z jej zasobów.

Informacje zawarte na tej witrynie przeznaczone są do użytku prywatnego osób odwiedzających te strony. Można je pobierać, drukować i przeglądać jedynie w celach informacyjnych, bez czerpania z tego tytułu korzyści finansowych lub pobierania wynagrodzenia w dowolnej formie. Modyfikacja zawartości stron oraz skryptów jest zabroniona. Niniejszym udziela się zgody na swobodne kopiowanie dokumentów serwisu Racjonalista.pl tak w formie elektronicznej, jak i drukowanej, w celach innych niż handlowe, z zachowaniem tej informacji.

Plik PDF, który czytasz, może być rozpowszechniany jedynie w formie oryginalnej, w jakiej występuje na witrynie. **Plik ten nie może być traktowany jako oficjalna lub oryginalna wersja tekstu, jaki zawiera.**

Treść tego zapisu stosuje się do wersji zarówno polsko jak i angielskojęzycznych serwisu pod domenami Racjonalista.pl, TheRationalist.eu.org oraz Neutrum.eu.org.

Wszelkie pytania prosimy kierować do redakcja@racjonalista.pl