

1. Struktura matematyczna teorii naukowych

W nauce znajdujemy różne modele zjawisk: modele fizyczne, imitujące określone procesy w sposób analogowy, modele dynamiczne, opisujące zmiany w czasie za pomocą układów równań różniczkowych, czy też modele statystyczne, symulujące zjawiska za pomocą programów komputerowych. Modele dynamiczne i statystyczne mają wiele zastosowań w psychologii, na przykład przy próbie zrozumienia sposobu działania pamięci, jednakże trudno je zastosować do bardziej subtelnych zagadnień, takich jak struktura wierzeń czy przekonań lub struktura osobowości. Spróbuję tu przedstawić bardzo ogólny schemat teorii naukowych, który powinien być przydatny do tworzenia teorii fenomenologicznych. Jest on oparty na strukturze wzorcowej teorii fizycznej, jaką jest mechanika kwantowa, przedstawionej poniżej. Próbuję tu pokazać, że podobną strukturę wprowadzić można również w teoriach fenomenologicznych. Z tego powodu analogie pomiędzy pomiarami w fizyce i psychologii sięgają głębiej, niż można by się sądzić.

Struktury matematyczne, które znajdujemy u podstaw fizyki, są proste i piękne. Trudno się spodziewać, że tak będzie również dla teorii fenomenologicznych, można mieć jednak nadzieję, że będą przynajmniej użyteczne.

1.1. Fizyka klasyczna

To samo podejście można zastosować do fizyki klasycznej.

Obiekt elementarny ma położenie i zmienia się ono w czasie, a więc $x=x(t)$. Wygodnie jest umieścić wszystkie własności takiego obiektu w jakichś nawiasach, np. $|x(t)\rangle$. Jeśli chcemy określić prędkość takiego obiektu musimy zmierzyć zmianę jego położenia w czasie, a więc zastosować operator $d/dt|x(t)\rangle$. Oprócz prędkości mamy też pęd, wielkość która decyduje o sposobie zderzeń obiektów. Małe lekkie obiekty odbijają się od dużych, ciężkich. Pęd powinien być proporcjonalny do prędkości i do masy, skoro masa jest miarą bezwładności ciała. Operator pędu ma więc postać $p = m d/dt|x(t)\rangle$. Aby nadać ciału pewien pęd, a więc zwiększyć jego prędkość, trzeba na niego działać siłą. Efektem tego działania jest zwiększenie prędkości. Wygodną miarą siły będzie więc zmiana pędu w jednostce czasu, czyli $F = dp/dt = m d^2/dt^2|x(t)\rangle$. Obiekt jest więc scharakteryzowany przez wektor $|x(t); p(t), m\rangle$.

Jest to w istocie definicja siły i jednocześnie drugie prawo Newtona.

Jak to wygląda dla bardziej złożonych obiektów? Mają one znacznie więcej własności niż tylko położenie i pęd. W każdym przypadku struktura jest taka sama.

1.2. Mechanika kwantowa

Mechanika kwantowa może się wydawać nawet fizykom teorią dziwną i niezrozumiałą. Zagadnienia filozoficzne omówiłem pobieżnie w rozdziale o manowcach umysłu. Większość podręczników zaczyna od postulatów mechaniki kwantowej podkreślając, że nie można ich wyprowadzić z prostszych rozważań. W znanym podręczniku Landaua i Lifszycy (1979) znajdujemy stwierdzenie, iż stan układu kwantowego opisany jest przez zespoloną funkcję

falową, zależną od współrzędnych cząstek, a kwadrat modułu tej funkcji, pomnożony przez element objętości, daje prawdopodobieństwo zmierzenia wartości współrzędnych w tym elemencie. Dalej pojawia się informacja o wartościach własnych operatorów, którym odpowiadają możliwe wyniki pomiarów wielkości fizycznych, co prowadzi do ładnego formalizmu matematycznego. W podręczniku Schiffa (1977) poszukuje się liniowego równania falowego dla cząstki swobodnej i zgaduje jego postać zakładając zespolony opis fal, po czym wprowadza się interpretację statystyczną, prawdopodobieństwa rozkładu położeń i wartości oczekiwane, po czym następują postulaty dotyczące zastępowania zmiennych dynamicznych przez operatory a wyników pomiarów przez ich wartości własne. Davydov (1967) rozpoczyna od paczek falowych, wprowadza interpretację statystyczną funkcji falowej i wzory na obliczanie wartości średnich, wyprowadzając w dość złożony sposób wzór na średnią wartość pędu. Pozostałe wielkości fizyczne traktuje się jako funkcje położenia i pędu. Większość pozostałych podręczników a nawet książek filozoficznych (por. Heller 1996) na temat mechaniki kwantowej zmierza szybkimi krokami do badania struktur matematycznych.

Dlaczego mamy taką strukturę teorii? Dlaczego funkcje zespolone? Dlaczego operatory a nie zwykłe funkcje, tak jak w mechanice klasycznej? Czemu nie wystarczy funkcja w trzech wymiarach, tylko potrzebna jest funkcja wszystkich zmiennych? Dlaczego nie można zmierzyć jednocześnie wszystkich własności? Podręczniki mechaniki kwantowej niewiele na ten temat mówią, unikając również kontrowersji związanych z procesem pomiaru.

Wszystkie koncepcje, za pomocą których tworzymy modele rzeczywistości, są jedynie konstrukcjami umysłu. Dotyczy to nie tylko sposobu kategoryzacji wrażeń zmysłowych lecz również tak podstawowych pojęć jak położenie obiektu, pęd cząstki czy jej ładunek. Nasze koncepcje nie są elementami rzeczywistości, lecz jedynie odpowiedziami na konkretne pytania, jakie zadajemy przyrodzie (cf. Primas 1981), a więc wynikają z konkretnego sposobu zadawania pytań.

1.2.1. Struktura matematyczna mechaniki kwantowej

Obserwując jakikolwiek przedmiot: atom, drzewo czy człowieka, zakładamy, że da się on opisać przy pomocy zbioru własności, takich jak kształt, kolor, położenie czy masa. Zamiast rozpatrywać dany obiekt w jego nieskończonej różnorodności – nawet w ziarnku piasku dostrzec można nieskończoność, jak powiada William Blake – rozpatrujemy niejako jego cień, rzut pełnego opisu stanu, w jakim znajduje się ów obiekt na niskowymiarową przestrzeń zdefiniowaną dla kilku wybranych własności. Te własności nie wyczerpują oczywiście w pełni opisu danego obiektu. Należy raczej założyć, że każdy obiekt jest nieskończenie złożony i odpowiednią reprezentacją tego obiektu jest wektor w nieskończenie wymiarowej przestrzeni. Oznaczmy taki wektor symbolem $|O\rangle$ i nazwijmy go wektorem opisującym stan obiektu O lub po prostu wektorem stanu tego obiektu. Naszym celem będzie sformułowanie matematycznego opisu stanów obiektu i wyciągnięcie wniosków na temat możliwych pomiarów różnych wielkości charakteryzujących ten obiekt.

Pojęcie reprezentacji znane jest nie tylko w fizyce kwantowej, lecz również w psychologii i kognitywistyce. Każdy obiekt opisać możemy na wiele równoważnych sposobów. Reprezentacje możemy dobierać z punktu wygody opisu, a więc zależnie od pytań, na jakie szukamy odpowiedzi. Dowolność wyboru reprezentacji wiąże się z możliwością przekształcania opisu tej samej informacji do różnych postaci, w praktyce mamy jednak nawet większą swobodę, zachowując tylko te cechy, które są przydatne by znaleźć odpowiedź na konkretne pytania. Słońce i układ Słoneczny jest z punktu widzenia teorii galaktyk cząstką gazu obdarzoną tylko

własnościami grawitacyjnymi, podczas gdy dla opisu własności atmosfer gwiazdowych liczą się przede wszystkim własności chemiczne pierwiastków w nich występujących a dla zrozumienia cyklu życia Słońca własności jąder tych pierwiastków.

Jak mamy rozumieć obiekty, które chcemy opisać? Pozornie jest to oczywiste – widzimy odrębne przedmioty, takie jak jabłka czy drzewa. Dopóki myślimy o niezależnych kulkach, punktach materialnych działających na siebie siłami na odległość, możemy rzeczywiście z dobrym przybliżeniem tak je traktować. Jeśli obiekt da się odizolować a jego oddziaływanie z otoczeniem jest słabe mamy pozorną niezależność i możliwość dobrego zdefiniowania tego obiektu. Można to jednak zrobić tylko w przybliżeniu i tylko dla całkiem prostych obiektów. Odpowiedź na pytanie „dlaczego jest tak, jak jest” wymaga odwołania się do przeszłości. Obiekty rzeczywiste trudno jest więc traktować jako punkty w czasoprzestrzeni. Pełny opis obiektu powinien uwzględniać jego wzajemne oddziaływanie ze środowiskiem. Jeśli na przykład interesuje nas położenie samochodu w mieście mamy tendencje traktowania samochodu jako odrębnego obiektu, którego własności określone są lokalnie, jednakże jest rzeczą jasną, że jego położenie zależy od ruchu innych samochodów i wpływa na nie. Zrozumienie stanu obecnego może wymagać znajomości historii, która doprowadziła do takiego stanu. Obliczenie położenia samochodu wymaga więc zbadania zmian w czasie funkcji zawierającej położenia wielu innych samochodów. Podobnie jest w przypadku zbioru N oddziaływujących cząstek – nie wystarczy podanie rozkładu gęstości tych cząstek w trzech wymiarach, konieczny jest opis za pomocą funkcji zależnej od położen r_i wszystkich N cząstek.

Oznaczmy tę funkcję symbolem $R(r_1, r_2 \dots r_N, t)$.

Możemy obrazowo powiedzieć, że

$\Psi(r_1, r_2 \dots r_N, t)$.

Świat bardziej przypomina interferencję fal niż zbiór cząstek.

Drzewo, jabłka i nowe drzewa – widziane jako fale rzeczywistości.

Gdzie kończy się dany obiekt?

Aby określić jakąś własność P danego obiektu musimy dokonać pomiaru: zmierzyć jego długość, kolor, prędkość ruchu czy położenie. W matematycznym modelu tego procesu oznacza to konieczność zastosowania operacji odpowiadającej procedurze pomiaru własności P do wektora opisującego stan tego obiektu. Jeśli będziemy ostrożni i nie zmienimy w czasie pomiaru naszego obiektu w wyniku operacji dostaniemy jakąś liczbę w określającą mierzoną własność i niezmienny wektor stanu. Symbolicznie zapiszemy to jako:

$$\hat{P} |O\rangle = \lambda |O\rangle$$

gdzie \hat{P} oznacza operację, jakiej poddany jest obiekt w stanie $|O\rangle$ w czasie procedury pomiarowej a w jest w najprostszym przypadku liczbą, jaką otrzymujemy w wyniku pomiaru. Zamiast liczby możemy otrzymać bardziej złożone obiekty, takie jak zbiory liczb, sygnały elektryczne czy wrażenia zmysłowe. Warunkiem wykonania pomiaru jest przygotowanie układu w takim stanie $|O\rangle$, by pomiar miał sens. Okazuje się, że nie jest to wcale łatwe i narzuca silne warunki ograniczające na możliwe sposoby opisu obiektu. Napisane powyżej równanie nazywa się zagadnieniem własnym, gdyż wektor stanu dla pomiaru \hat{P} nie ulega w nim zmianie, czyli jest „wektorem własnym” tego konkretnego pomiaru. Ogólnie rzecz biorąc proce-

dura pomiaru może zmienić wektor stanu na jakiś inny $|O'\rangle$. Jeśli badany obiekt jest cząstką elementarną to nie ma sposobu, by wykonać pomiar bez zaburzenia jej stanu.

W fizyce mierzymy takie wielkości jak masa, położenie, pęd, energię czy upływ czasu (wiąże się on ze zmianą energii).

Z tego powodu jednoczesny pomiar niektórych wielkości, takich jak położenie i pęd, nie jest możliwy. Pozostaje jedynie kwestia techniczna: w jaki sposób dobrać matematyczną reprezentację wektora stanu, jakie własności musi mieć nieskończenie wymiarowa przestrzeń, w której ten wektor będzie określony i jak dobrać operatory reprezentujące procedury pomiaru. Układy zupełne wielkości to takie, które da się jednocześnie w danym stanie zmierzyć.

Jeden z możliwych sposobów polega na reprezentacji wektora stanu danego układu przy pomocy pewnej funkcji, zwanej funkcją falową układu.

Z matematycznego punktu widzenia jest to zespolona, antysymetryczna funkcja zależna od położen wszystkich cząstek układu (oraz od spinów cząstek, ale dla zagadnień interpretacyjnych nie wydaje się to tak istotne).

Funkcja falowa powinna zawierać wszystkie informacje, jakie w danej chwili można o danym układzie fizycznym mieć, czyli być jego pełnym opisem. Jeśli potraktować ją jako opis pewnej fali

Wyjaśnić dokładniej: kwadrat modułu tej funkcji utożsamiany jest z gęstością prawdopodobieństwa znalezienia cząstek w danym momencie czasu w określonym położeniu:

$$P(x_1, x_2, \dots, x_N, t) = |\Psi(x_1, x_2, \dots, x_N, t)|^2$$

Dlaczego mamy do czynienia z funkcją zespoloną? Niektórzy fizycy doszukują się tu jakichś głębszych przyczyn, być może jednak jest to tylko kwestia wygody opisu. Mechanika kwantowa jest teorią ujmującą w matematyczny sposób wyniki doświadczeń dowodzących, że na każdą cząstkę patrzeć można z dwóch punktów widzenia: falowego i cząstkowego. Jeśli opisywać obiekt kwantowy jako falę wygodnie jest ze względów matematycznych zapisać ją w postaci zespolonej, np. dla fali płaskiej opisującej swobodny ruch cząstek w jednym wymiarze w kierunku osi x :

$$\Psi(x, t) = e^{i(kx - \omega t)}$$

gdzie k jest wektorem falowym, proporcjonalnym do pędu, a ω częstością fali. Dlaczego $p = \hbar k$? Dla fal o tej samej prędkości bezwładność fali zależy od odwrotności długości fali, czyli liczbie fal na jednostkę odległości. Intuicyjnie jest to jasne, gdyż ... jak to jest z gęstością? całkowanie $\sin^2(kx)$?

Jeśli przyjmiemy taką funkcję za jedną z możliwych reprezentacji abstrakcyjnego wektora opisującego cząstkę to musimy przyjąć odpowiednią formę operatorów, których działanie opisywać ma wyniki pomiarów pewnych własności. Pęd jest związany z prędkością, czyli szybkością zmian naszego obiektu w przestrzeni, musi więc być proporcjonalny do pochodnej

$$\hat{p}\Psi(x, t) = c \frac{\partial}{\partial x} \Psi(x, t) = \hbar k \Psi(x, t) = p\Psi(x, t)$$

Wynika stąd, że stała $c = -i\hbar$ gdzie \hbar jest stałą fizyczną, wówczas mierzona wartość pędu jest liczbą rzeczywistą o odpowiednim wymiarze [kg m/sek]. Operator pędu przyjmuje więc postać:

$$\hat{p} = -i\hbar \frac{\partial}{\partial x}$$

Możemy jednak wybrać inną reprezentację wektora opisującego obiekt kwantowy i wówczas operator pędu będzie miał inną postać. Fala płaska ma tę własność, że kwadrat jej modułu jest stały, niezależnie od punktu w przestrzeni.

W szczególności w fizyce molekularnej wygodnie jest używać rzeczywistych funkcji falowych i dlatego operator pędu nie zawiera czynnika urojonego ale jest rzeczywisty. Moduł funkcji falowej sprowadza się wówczas do zwykłego kwadratu, i jak dla każdej fali kwadrat jej amplitudy proporcjonalny jest do energii, a więc i masy. Prowadzi to do probabilistycznej interpretacji, w której kwadrat modułu funkcji falowej związany jest z gęstością chmury cząstek w danym punkcie przestrzeni. Często spotykane powiedzenie, że funkcja falowa jest zespolona można więc traktować jako wygodną formę opisu matematycznego (wygodną zresztą tylko dla opisu swobodnego ruchu cząstek) bardziej abstrakcyjnego - a zarazem prostszego i ogólniejszego - ujęcia przedstawionego powyżej.

Nie w każdym stanie można określić taką wielkość jak pęd, np. jeśli zamiast fali płaskiej w postaci zespolonej napisać $\cos(kx - \omega t + \theta)$ to pęd nie będzie określony.

Wielkości komplementarne.

Wiele cząstek – funkcja falowa nie opisuje położenia, chociaż jest w reprezentacji położeniowej, a jedynie rozkład fali gęstości materii \leftrightarrow gęstości prawdopodobieństwa lub rozkładowi elektronów. Krowy można opisać w pełni w trzech wymiarach, ale jeśli uwzględnić efekty falowe (zjadanie trawy) to nie da się przewidzieć ruchu krowy bez uwzględnienia pozostałych. Tak samo z samochodami: aby przewidzieć ruch samochodu S trzeba mieć informację o wszystkich innych na drodze. Podobnie z człowiekiem – efekty nielokalne powodują sprzężenia nielocalne, fale rozchodzą się coraz dalej. Każda cząstka, chociaż nie ma tożsamości, traktowana jest jako źródło fal, więc muszą być jej współrzędne.

Opis falowy pokazuje niemożliwość opisanie świata w postaci niezależnych fragmentów, niepodzielność świata (C.F. Weizsacker, Jedność przyrody, 1978).

Zjawiska kwantowe są tak dziwne, odmienne od tego, co znamy z codziennego doświadczenia, że trudno nam sobie wyobrazić, w jaki sposób zachodzą. Przestaliśmy się tym przejmować, bo mamy dobry opis matematyczny, dzięki czemu umiemy przewidywać. Brak zrozumiałego opisu świata martwił jednak bardzo samych twórców teorii kwantów i to do tego stopnia, że odkrywca podstawowego równania mechaniki kwantowej, Erwin Schrödinger, do końca życia powtarzał: „Gdybym wiedział, co z tego wyniknie, nigdy bym się w to nie wdał!” Louis de Broglie, któremu szkolne podręczniki przypisują odkrycie dualizmu cząstkowo-falowego, wcale w żaden dualizm nie wierzył: jak coś może być raz falą a raz cząstką, zależnie od punktu widzenia? Dla niego, podobnie jak i dla Einsteina, fale i cząstki były ze sobą stowarzyszone, fale „wskazywały cząstkom drogę”, ale nigdy nie były tym samym obiektem. Albert Einstein napisał w jednym z listów: „Myślałem sto razy więcej o problemach kwantowych niż o problemach ogólnej teorii względności.” Przez całe swoje życie Einstein kroczył samotną drogą: najpierw jako rewolucjonista, później outsider.

Układy atomowe przyjmują stany dyskretne. Dla uproszczenia załóżmy, że mamy do czynienia z atomem, który może być tylko w dwóch stanach, A lub B. Ewolucja układu prowadzi do funkcji falowej, będącej liniową kombinacją funkcji dla obu tych stanów:

$$\Psi(x_1, x_2, \dots, x_N, t) = C_A(t)\Psi_A(x_1, x_2, \dots, x_N, t) + C_B(t)\Psi_B(x_1, x_2, \dots, x_N, t)$$

Funkcja falowa jest więc superpozycją dwóch stanów. Jak należy to rozumieć? W wyniku pomiaru stwierdzamy zawsze, iż układ jest w stanie A lub w stanie B. Współczynniki stojące przed funkcjami opisującymi oba te stany określają prawdopodobieństwo tego, że znajdziemy układ w określonym stanie. Nie mamy wątpliwości co do istnienia takich stanów, które są superpozycją kilku możliwości, chociaż nie można ich bezpośrednio obserwować - układ w wyniku obserwacji znajduje się zawsze w jednym z określonych stanów. Dzięki superpozycji powstają zjawiska interferencyjne i dyfrakcyjne, np. działa mikroskop elektronowy. Co się jednak dzieje z samym układem przed momentem pomiaru? Czy jest w jednym z tych stanów, czy też gwałtownie zmienia swój stan, od jednego do drugiego?

Aby unaocnić dramatyzm sytuacji Schrödinger przedstawił eksperyment myślowy, znany powszechnie jako „eksperyment z kotem Schrödingera”. Jak mamy rozumieć taką funkcję falową?

Opisane zagadnienie nazywa się „problemem pomiaru” w mechanice kwantowej a sam moment pomiaru określa się z technicznego punktu widzenia jako „redukcję funkcji falowej”, czyli wybór jednej z możliwości. Doświadczenia, prowadzone z pojedynczymi atomami lub pojedynczymi cząstkami elementarnymi potwierdzają w pełni przewidywania mechaniki kwantowej: do momentu pomiaru układ znajduje się w stanie opisywanym przez superpozycję funkcji falowych. Doświadczenia z większą liczbą cząstek są technicznie bardzo trudne (nie mamy wówczas dwóch stanów lecz bardzo wiele), ale w ostatnich latach udało się je przeprowadzić - rezultaty są również zgodne z mechaniką kwantową. Kilku fizyków (wśród nich Eugene Wigner, jeden z pierwszych twórców mechaniki kwantowej) wysunęło hipotezę, iż nie da się rozwiązać problemu kota Schrödingera bez wprowadzenia czynnika pozafizycznego, który prowadzi do redukcji funkcji falowej. Wigner uważa, iż jedynym takim czynnikiem jest świadomość: dopiero gdy obserwator popatrzy na układ, funkcja falowa ulega redukcji, znika superpozycja stanów.

Nie jest to jedyne rozwiązanie zagadnienia redukcji funkcji falowej. Jest rzeczą wątpliwą, czy taka redukcja ma naprawdę miejsce. Jest to w istocie przejście od falowego do cząstkowego obrazu materii. Ponieważ długość fali materii dla elektronów jest bardzo mała trudno jest zaobserwować efekty falowe dla obiektów makroskopowych. Jedynie w niskich temperaturach pojawiają się makroskopowe efekty kwantowe. Bardzo trudno jest tak przygotować eksperyment, by efekty falowe miały szansę się ujawnić, gdyż wymaga to usunięcia wszelkich zaburzeń, które rozmywają obraz interferencyjny. Mechanika kwantowa w ciągu swoich 70 lat istnienia ani razu nie zawiodła i ile razy udało się stworzyć odpowiednie warunki eksperymentalne tyle razy efekty kwantowe, takie jak superpozycja stanów kwantowych, ujawniały się zgodnie z przewidywaniami. Dodanie makroskopowego przyrządu pomiarowego, np. kota, który pełni rolę takiego przyrządu w eksperymencie myślowym Schrödingera, uniemożliwia obserwację takich efektów gdyż szczegółowy opis tej sytuacji fizycznej nie pozwala na dodawanie wektora opisującego rozpad jednej cząstki kwantowej do wektora opisującego całego kota, ale wymaga opisu tego kota na podobnym poziomie szczegółowości, tj. jako wektor opisujący wchodzące w jego skład kwantowe obiekty. Taka superpozycja opisuje jednoznacznie sytuację, w której kot jest albo żywy, albo martwy, gdyż efekty interferencyjne zanikają.

Ze względu na brak miejsca nie mogę się tu wdawać w szczegółowe omówienie alternatywnych interpretacji ani też przedyskutować zalet najprostszego (przynajmniej dla mnie) rozwiązania problemu. Rozwiązanie to wiąże się ze sposobem opisu układów makroskopowych,

zawierających bardzo dużo cząstek, przez mechanikę kwantową. Jeśli mamy bardzo dużo podobnych stanów układu – a tak dzieje się dla układów makroskopowych – znikają wszelkie efekty interferencyjne, a układ zachowuje się tak, jak obiekt klasyczny. W rzeczywistości bardzo trudno jest wykryć efekty specyficznie kwantowe badając zachowanie złożonych układów, udaje się to jedynie w bardzo niskich temperaturach.

W ostatnich latach pisano dużo o innych efektach kwantowych, w jeszcze wyraźniejszy sposób demonstrującymi niezwykle charakter mechaniki kwantowej. Zarzuty Einsteina wobec teorii kwantów sformułowane zostały najdobitniej w pracy napisanej w 1935 roku wspólnie z Rosenem i Podolskim. Od pierwszych liter nazwisk autorów zarzuty te znane są pod nazwą paradoksu EPR. Wydaje się rzeczą zupełnie oczywistą, że jeśli mamy dwie cząstki, oddalone od siebie na dużą odległość i nie działające na siebie żadnymi siłami, to powinny one być całkowicie niezależne. Zgodnie z mechaniką kwantową stanowią one jednak w subtelny sposób jedną całość i to, co zrobimy z jedną z nich, nie pozostaje bez wpływu na drugą. Dwie cząstki, chociaż od siebie oddalone, stanowić mogą pewną jedność. „Telepatia” - brzmiał werdykt Einsteina jeszcze na kilka lat przed śmiercią. Taka możliwość wydawała mu się nie do przyjęcia. Jednak liczne doświadczenia potwierdziły w ostatnich latach te zdumiewające przewidywania mechaniki kwantowej. Badając związki pomiędzy wynikami jednoczesnych pomiarów na dwóch, oddalonych od siebie o wiele metrów cząstkach (pochodzących jednak ze wspólnego źródła), czyli badając korelacje pomiarów, udało się udowodnić, że cząstek tych nie można uważać za niezależne. Co więcej, eksperymenty grupy francuskiej pod kierownictwem Alaina Aspect'a pokazały, że jeśli cząstki wywierają na siebie jakiś wpływ, to robią to z prędkością większą niż prędkość światła! W takich badaniach nie obserwujemy jednakże żadnego wpływu, a jedynie korelacje pomiędzy wynikami pomiarów.

Dyskusje nad interpretacją tych doświadczeń nadal trwają. Ukazuje się w nich subtelna i zdumiewająca współzależność wyników pomiarów, daleko jednak od tych wyników do spekulacji dotyczących alternatywnych modeli czasoprzestrzeni czy związku z synchronizacją zdarzeń w sensie Junga. Eksperymenty dotyczą pojedynczych cząstek elementarnych i są bardzo trudne technicznie. Wnioskiem z tych badań powinno być raczej jeszcze raz uświadomienie sobie, iż koncepcji umysłu przydatnych do opisu świata, chociaż wydają się nam bardzo naturalne i prawdziwe nie należy mylić z rzeczywistością, która jest poza wszelkimi koncepcjami. W każdym razie jest jeszcze dużo za wcześnie by rozszerzać dyskusje dotyczące podstaw rozumienia teorii kwantów na tak odległe kwestie jak umysł czy świadomość. Niestety, jest to dość powszechny błąd wśród fizyków zajmujących się elementarnymi procesami (cf. Penrose 1995).

Literatura

- Davydov A.S, *Mechanika kwantowa*. (PWN Warszawa 1967)
 Heller M, *Mechanika kwantowa dla filozofów*. (Biblos, Tarnów 1996)
 Landau L.D, Lifszyc EM, *Mechanika kwantowa*. (PWN Warszawa 1979)
 Penrose R, *Cienie umysłu. Poszukiwanie naukowej teorii świadomości*, Zysk i S-ka, Poznań 2000
 Primas H, *Chemistry, quantum mechanics and reductionism*, Lecture Notes in Chemistry 24 (Springer Verlag, Berlin 1981).
 Schiff L.I, *Mechanika kwantowa*. (PWN Warszawa 1977)

W Duch, notatki do wykładu „Wstęp do kognitywistyki”.
 Google: W. Duch => wykłady.