

Marek SZYDŁOWSKI

WIELOŚWIATOWA INTERPRETACJA MECHANIKI
KWANTOWEJ

- *The Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics*, ed. Bryce S. De Viti, Neill Graham. Princeton University Press 1973.

Upływa już 56 lat od czasów kiedy Werner Heisenberg dał podstawy nowoczesnej teorii kwantowej i wciąż trwają dyskusje, co właściwie z tej teorii wynika. Przejście od teorii klasycznej do kwantowej zostało osiągnięte za ceną utraty naoczności. Dyskusja koncentruje się głównie wokół problemu opisu obserwacji, interpretacji funkcji falowej przedstawiającej kwantowo–mechaniczny stan układu. Historycznie matematyczny formalizm teorii kwantowej powstał przed zrozumieniem jego interpretacji. Wczesna historia mechaniki kwantowej nie jest tego odosobnionym przykładem. Podobnych przykładów może dostarczyć historia elektrodynamiki, równania falowego Diracka, czy też kwantowej geometrodynamiki. Problem interpretacji mechaniki kwantowej jest nie tyle ważny dla samej mechaniki kwantowej, jak z filozoficznego punktu widzenia. M. Heller powiedziałby, że leży w zakresie wewnętrznej metodologii fizyki.

Kwantowo–mechaniczne układy są opisywane przez operatory i wektory w przestrzeniach Hilberta H . Każdemu wektorowi o jednostkowej długości odpowiada pewien stan fizyczny układu. Wielkości fizycznej można przyporządkować pewien operator A z H . Wynikiem pomiaru danej fizycznej A może być tylko i wyłącznie jedna z wartości własnych operatora. Istnieją dwie zasadnicze interpretacje zmiany funkcji stanu ψ : 1 — układ zmienia się w sposób kauzalny i deterministyczny zgodnie z równaniem Schrödingera tak długo jak długo pozostaje izolowany, 2 — pomiar układu kwantowego jest wzajemnym oddziaływaniem pomiędzy obiektem i przyrządem pomiarowym, w rezultacie tego oddziaływania następuje nieciągła zmiana stanu.

*UWAGA: Tekst został zrekonstruowany przy pomocy środków automatycznych; możliwe są więc pewne błędy, których sygnalizacja jest mile widziana (obi@opoka.org). Tekst elektroniczny posiada odrębną numerację stron.

Nasuwa się następujące pytanie: Czy z punktu widzenia teorii kwantowej statystyczny charakter naszych odkryć eksperymentalnych stanowi wyłącznie rezultat oddziaływania na system z zewnątrz, podczas gdy systemy same w sobie opisywane są za pomocą funkcji ψ w sposób deterministyczny? Albo inaczej: czy funkcję ψ winniśmy traktować jako całkowity opis rzeczywistości, a tylko oddziaływanie na system z zewnątrz przez obserwację winniśmy obarczać odpowiedzialnością za to, iż nasze przewidywania mają charakter tylko statystyczny? W kontekście odpowiedzi na te pytania pojawiają się różne interpretacje mechaniki kwantowej. Spróbujmy je usystematyzować:

1. Interpretacja popularna:

ψ — jest traktowana jako obiektywna charakterystyka pojedynczego obiektu. Układ sam w sobie jest zmienny statystycznie, nieciągłości powstają w wyniku obserwacji. Taki punkt widzenia prowadzi do licznych paradoksów np. Einsteina–Rosena–Podolskiego.

2. Interpretacja kopenhaska:

Została ona rozwinięta przez Bohra. Funkcja ψ jest tutaj traktowana nie jako umożliwiająca całościowy, obiektywny opis stanu, ale jako pewne narzędzie umożliwiający statystyczne predykcje. Nie ma nic takiego jak całkowity opis, a możliwy jest jedynie statystyczny opis układów. Zrozumienie rzeczywistości uzyskujemy przez stosowanie różnych komplementarnych modeli.

3. Interpretacja zmiennych ukrytych:

Interpretacja ta była prezentowana w różnych odmianach przez Einsteina, Bohra, Wienera i Siegała. Według tej interpretacji całkowity opis układu zawiera pewne parametry ukryte, których uwzględnienie prowadzi do teorii deterministycznej. Z nieznaności tych *extra*-parametrów wynika statystyczny charakter teorii kwantowej. Funkcja falowa ψ nie opisuje pojedynczego układu, ale pewien ensemble stanów.

4. Interpretacja stochastyczna:

Według tej interpretacji fundamentalne procesy fizyczne mają naturę procesów stochastycznych (losowych). Układy fizyczne w dowolnej chwili znajdują się w pewnym stanie który w sposób ciągły i losowy przechodzi w inny stan. Nieciągła zmiana ψ nie wynika z zaburzenia wywołanego obserwacją, lecz z zachowania się samego układu. Taka interpretacja była reprezentowana przez Boppa, który analizował probabilistyczne prawo ruchu cząstki kwantowej.

5. Interpretacja falowa:

Funkcja falowa ψ umożliwia obiektywny, jednoznaczny opis układu, spełnia deterministyczne równania falowe. Probabilistyczna interpretacja wynika z tej teorii jako subiektywne zjawisko dla obserwatorów (podobnie jak w klasycznej mechanice statystycznej), którzy są traktowani jako podmioty układów fizycznych stosujących taki sam opis i nie posiadający uprzywilejowanej pozycji.

Ta ostatnia interpretacja jest chyba najbardziej nieznaną chociaż została sformułowana już w 1957 roku przez Everetta. Prezentowana tutaj książka stanowi wykład tej niesłusznie zapomnianej wieloświatowej interpretacji mechaniki kwantowej. H. Everett sformułował ją w oparciu o tzw. teorię uniwersalnej funkcji falowej w pracy: *“Relative State” Formulation of Quantum Mechanics* (Revs. Modern. Phys. 29, 454 (1957)). Na treść omawianej książki składają się prace Everetta oraz znanych fizyków: J. A. Whellera, B. S. De Vitta, L. N. Coopera i van Vechtena, znacznie uzupełniające doktrynę Everetta.

Spróbuję bliżej scharakteryzować koncepcję Everetta. To, co jest chyba najbardziej interesujące w tej doktrynie, to fakt że wynika ona z samego formalizmu mechaniki kwantowej. W tej interpretacji jest sens mówić o wektorze stanu dla całego wszechświata. Wektor stanu nigdy nie zapada się (*Is never recollapsing*) skutkiem czego rzeczywistość jest ściśle deterministyczna. Nie jest to rzeczywistość, o której zwykle myślimy, ale kompozycja wielu światów. Wektor stanu rozkłada się na mnóstwo stanów reprezentujących wzajemnie nieobserwowalne wszechświaty, przy czym w każdym z tych światów jest dobrze określony pomiar i prawa statystyczne. Korespondencja pomiędzy formalizmem a rzeczywistością pozostaje ściśle jednoznaczna. Teoria obserwacji jest szczególnym przypadkiem korelacji pomiędzy podukładami. Podstawowe założenia w punkcie wyjścia tej interpretacji są następujące:

1. Postulat matematyczności świata. Świat rzeczywisty albo każda jego izolowana część, może być reprezentowany przez zbiór matematycznych obiektów: wektory w przestrzeni Hilberta oraz zbiór dynamicznych równań dla operatorów działających w tej przestrzeni, wyrowadzalnych z zasady wariacyjnej.

2. Postulat dekompozycji świata. Świat daje się traktować jako system plus aparatura.

Postulat 1. jest założeniem, w którym przyjmujemy jednojednoznaczność świata i mechaniki kwantowej. Dzięki temu wyniki mechaniki kwantowej mają znaczenie nie tyle epistemologiczne

(jak w interpretacji kopenhaskiej) co ontologiczne. Z *postulatu 2.* wynika, że matematyczny formalizm jest w stanie dostarczyć nam własnej interpretacji bez przyjmowania w punkcie wyjścia niestandardowej logiki.

Heisenberg podchodził do problemu fizycznej interpretacji przez przeprowadzanie eksperymentów myślowych. Znany jest tzw. eksperyment myślowy typu „kot Schrödingera”. Pozwoli on zrozumieć różnice pomiędzy różnymi interpretacjami. Kot jest zamknięty w pomieszczeniu wraz z licznikiem Geigera i młotkiem, który w momencie uruchomienia licznika rozbija butelkę z kwasem pruskim o właściwościach mocno trujących. Licznik kontroluje ilość materii radioaktywnej wystarczającej, aby w jednej godzinie istniało 50% szansy, że jedno z jąder promieniotwórczych rozpadnie się. Istnieje taka sama szansa że kot zostanie otruty. Pod koniec godziny całkowita funkcja falowa przyjmuje taką postać, że koty żywy i zdechły są „wymieszane w identycznych porcjach”. Paradoxy tego typu nie występują w interpretacji Everetta, ponieważ kot żywy i kot martwy zamieszkują odrębne, w równym stopniu realne, światy. Dla ortodoksyjnych fizyków interpretacja Everetta może wydawać się dziwaczna. Rzeczywistość sugerowana w tej interpretacji jest niewątpliwie inna od konwencjonalnej, ale nawiązuje ona do staromodnych idei jednojednoznacznej odpowiedzialności formalizmu i rzeczywistości. Jest także teorią deterministyczną i najprawdopodobniej nawet Einstein mógłby ją zaakceptować. Stanowi ona ważny przyczynek do filozofii nauki. Warto jednak zauważyć, że w konkretnym świecie redukuje się ona do zwykłej interpretacji statystycznej, dzieląc z nią w praktyce te same trudności.

Filozoficznie pasjonujące jest nowe rozwiązanie dylematu determinizm–indeterminizm: istnieje świat światów, w którym wszystkie możliwe wyniki pomiarów aktualnie się realizują.

Marek Szydłowski