

Tadeusz Pabjan

David Bohma teoria zmiennych ukrytych

Zagadnienia Filozoficzne w Nauce nr 44, 25-29

2009

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

Tadeusz PABJAN

Centrum Kopernika Badań Interdyscyplinarnych
Kraków

DAVIDA BOHMA TEORIA ZMIENNYCH UKRYTYCH

W niektórych publikacjach, dotyczących twierdzenia Bella, można spotkać się z opinią, że twierdzenie to pozwala w sposób ostateczny rozstrzygnąć spór pomiędzy standardowym sformułowaniem mechaniki kwantowej i teorią zmiennych ukrytych. Łamanie nierówności Bella potwierdza — zgodnie z tym poglądem — poprawność standardowej mechaniki kwantowej i dyskwalifikuje każdą teorię, która postuluje uzupełnienie tej teorii o zmienne ukryte. Taka interpretacja twierdzenia Bella nie jest jednakże ścisła: łamanie nierówności Bella dowodzi jedynie, że niepoprawne są lokalne teorie zmiennych ukrytych; wynik ten nie falsyfikuje jednakże teorii nielokalnych. Przykładem tego typu teorii jest mechanika kwantowa w interpretacji Davida Bohma. Fizyk ten przez wiele lat rozwijał i uzupełniał swoją oryginalną teorię z roku 1952, chociaż zasadnicze elementy jego interpretacji nigdy nie uległy istotnej zmianie. W niniejszym artykule przedstawiona zostanie ogólna charakterystyka tej koncepcji i sformułowane zostaną argumenty za tym, że teoria ta stanowi poważną i atrakcyjną alternatywę dla standardowego sformułowania mechaniki kwantowej.

1. KULISY SFORMUŁOWANIA TEORII

Dosyć często zdarza się, że światopogląd naukowca lub wyznawana przez niego filozofia w istotny sposób wpływają na ostateczny kształt teorii naukowej, nad którą pracuje. Prawdopodobnie tę potwierdza historia Davida Bohma (1917–1992). Gdy po II wojnie światowej rozpoczął swoją karierę naukową, był przekonany marksistą i jak każdy wyznawca tego typu filozofii, głęboko wierzył, że świat przyrody jest deterministyczny¹. Nic dziwnego, że standardowe sformułowanie mechaniki kwantowej, w którym indeterminizm jest podstawową i nieusuwalną własnością fizycznej rzeczywistości, wydawało się mu rozwiązaniem niesatysfakcjonującym. Sukcesy mechaniki kwantowej stanowiły jednakże istotny argument za tym, że teoria ta jest poprawna. Próbując przekonać siebie samego do tego, że jest to teoria „filozoficznie akceptowalna”², Bohm w roku 1951 opublikował podręcznik do mechaniki kwantowej³, podkreślając w nim szczególnie problem interpretacji tej teorii. Podręcznik został bardzo dobrze oceniony przez środowisko naukowe. Wiele wskazywało na to, że próba przekonania samego siebie zakończyła się sukcesem. Okazało się jednakże, iż książkę Bohma i jego zainteresowanie problemem interpretacji mechaniki kwantowej zauważył również Einstein, który postanowił podzielić się z Bohmem własnymi wątpliwościami co do zupełności tej teorii. Po spotkaniu z Einsteinem Bohm na nowo nabrał przekonania, że standardowe sformułowanie mechaniki kwantowej nie jest słuszne⁴, i rozpoczął poszukiwania nowej interpretacji teorii kwantów, która umożliwiłaby realistyczny opis zjawisk kwantowych.

¹Por. M. Gell-Mann, *Kwark i jaguar*, Wydawnictwo CIS, Warszawa 1996, s. 235.

²Tamże.

³D. Bohm, *Quantum Theory*, Prentice Hall, New York 1951.

⁴Einstein był pod wrażeniem książki Bohma; po jej przeczytaniu sam zaproponował spotkanie jej autorowi. Kilka dni później przebieg spotkania Bohm w następujący sposób zrelacjonował Gell-Mannowi: „Przekonał mnie. Jestem znów w tym samym miejscu, co przed napisaniem książki”; M. Gell-Mann, dz. cyt., s. 235.

Owoce tych poszukiwań stał się artykuł z roku 1952⁵, w którym Bohm — wbrew twierdzeniu von Neumanna, głoszącemu, że formalizmu mechaniki kwantowej nie można uzupełnić o ukryte parametry — przedstawił własną teorię zmiennych ukrytych, w której występują oddziaływania nielokalne. Teoria ta nie była oryginalnym pomysłem Bohma, ale opracowaną na nowo koncepcją Luisa de Broglie'a⁶ (z tej racji nazywa się ją również teorią de Broglie'a-Bohma), który przedstawił ją interesować po tym, jak w roku 1927 spotkała się ona z ostrą krytyką obozu kopenhaskiego⁷. Chociaż z eksperymentalnego punktu widzenia teoria Bohma była równoważna standardowemu sformułowaniu mechaniki kwantowej, została ona zignorowana przez świat naukowy. Sytuacja ta nie zmieniła się nawet wtedy, gdy w roku 1966 John Bell wykazał, że twierdzenie von Neumanna, chociaż poprawne pod względem formalnym, oparte jest na nieuzasadnionych fizycznie założeniach, dotyczących ukrytych parametrów — co oznaczało, że nie jest słuszny jeden z podstawowych argumentów, formułowanych przeciwko teorii zmiennych ukrytych.

W roku 1964 pojawiło się twierdzenie Bella, a kilkanaście lat później przeprowadzono pierwsze doświadczenia typu EPR, potwierdzające łamanie nierówności Bella. Co istotne, w eksperymentach wykorzystano oryginalny pomysł Bohma, by w przypadku cząstek, pozostających w stanie splątanych, badać korelacje ich spinów, a nie położenia i pędów. Wyniki, otrzymane przez grupę Aspecta, falsyfikowały jedynie lokalne teorie zmiennych ukrytych, a zatem nielokalna teoria Bohma nie została w tym przypadku przekreślona; co więcej, nielokalność tej interpretacji stała się — w świetle twierdzenia Bella —

⁵D. Bohm, „A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of ‘Hidden’ Variables”, *Physical Review* 85 (1952), s. 166–193.

⁶L. de Broglie, *Tentative d'interprétation causale et non-linéaire de la mécanique ondulatoire*, Gauthier-Villars, Paris 1956.

⁷John Bell wypowiada na ten temat następującą uwagę: „De Broglie przedstawił taką teorię w 1927 roku, ale został wyśmiany. Wydaje mi się to dość haniebne, bo nikt nie obalił jego argumentów, po prostu go zakrzyczeli”; *Duch w atomie*, P.C.W. Davies, J.R. Brown (red.), Wydawnictwo CIS, Warszawa 1996, s. 75.

istotnym argumentem przemawiającym na jej korzyść. Nie zmieniło to jednak prawie wcale nastawienia fizyków do interpretacji Bohma.

Przez kilka ostatnich lat swego życia Bohm współpracował z Basilem Hiley'em, a ich wspólne poszukiwania alternatywnej interpretacji mechaniki kwantowej zaowocowały wydaną już po śmierci Bohma książką *The Undivided Universe: An Ontological Interpretation of Quantum Theory*⁸. Mechanika kwantowa w tej interpretacji jest teorią nielokalną, deterministyczną i realistyczną, a jej zasadniczym elementem jest „potencjał kwantowy”.

2. KWANTOWY POTENCJAŁ I JEGO WŁASNOŚCI

Jednym z bardziej kontrowersyjnych aspektów kopenhaskiej interpretacji mechaniki kwantowej jest to, że interpretacja ta odrzuca koncepcję wyjaśniania świata przyrody. Pojęcie naukowego wyjaśniania jest pojęciem wieloznacznym i mało precyzyjnym. Niezależnie jednak od przyjmowanej koncepcji wyjaśniania można się zgodzić z tym, że wyjaśnianie nie jest jedynie prostym opisem danego zjawiska, ale sprowadza się do zidentyfikowania procesów, które za tym zjawiskiem się kryją. Jeśli chodzi o przedstawicieli szkoły kopenhaskiej, to głosili oni, że w świecie kwantowym tego typu identyfikacja nie jest możliwa. Według Bohra, matematyczny formalizm mechaniki kwantowej ma służyć jedynie jako narzędzie, umożliwiające opis zjawisk świata kwantowego, które nie dają żadnych podstaw do dywagacji na temat tego, co się za tymi zjawiskami kryje. Tego typu podejście jest konsekwencją założenia, zgodnie z którym rzeczywistość sama w sobie nie tylko jest niepoznawalna, ale wręcz jest całkowicie nieokreślona. Podstawowy zarzut, jaki Bohm kierował pod adresem kopenhaskiej interpretacji, dotyczył właśnie tego zagadnienia. Zdaniem Bohma, interpretacja ta w rzeczywistości „niczego nie wyjaśnia, a tylko dostarcza wzorów, pozwalających przewidzieć pewne wyniki. Ja — deklarował

⁸D. Bohm, B. Hiley, *The Undivided Universe: An Ontological Interpretation of Quantum Theory*, Routledge, London 1993.

Bohm — próbuję podać wyjaśnienie”⁹. Wydaje się, że Bohm rozumie wyjaśnienie w zasugerowany powyżej sposób: jako coś, co różni się zasadniczo od samego opisu określonego zjawiska¹⁰. Co istotne, wyjaśnienie nie oznacza tu jedynie prostej zgodności z klasyczną intuicją, ponieważ rozwiązanie zaproponowane przez Bohma zakłada obecność nielokalnych korelacji pomiędzy obiektami kwantowymi.

„Wyjaśnienie” Bohma przedstawia się następująco: z każdą cząstką kwantową, opisywaną równaniem Schrödingera, cały czas pozostaje stowarzyszona fala pilotująca, która nie jest jedynie — jak było w przypadku funkcji falowej w interpretacji Bohra — obiektem czysto matematycznym, ale polem fizycznym, istniejącym tak samo realnie, jak cząstka, z którą fala jest stowarzyszona¹¹. Fala pilotująca jest wypadkową klasycznych potencjałów cząstki i tak zwanego potencjału kwantowego, a jej podstawowe zadanie polega na tym, że decyduje ona o ruchu cząstki — „popycha” ją do tych obszarów przestrzeni, w których prawdopodobieństwo znalezienia cząstki, określone przez kwadrat modułu funkcji falowej, jest największe.

Interpretacja Bohma jest realistyczna, ponieważ w teorii tej cząstka kwantowa posiada cały czas — to znaczy również przed momentem pomiaru — dokładnie określone położenie i prędkość, co pozwala mówić już nie o gęstości prawdopodobieństwa położenia cząstki, ale o trajektorii jej ruchu. Co prawda, zasada nieoznaczoności uniemoż-

⁹D. Bohm, *Duch w atomie*; dz. cyt., s. 151. „Mechanika kwantowa powiada [...], że natura jest niepoznawalna, że można tylko rozwiązywać równania, wykonywać pomiary i porównywać wyniki”; tamże, s. 155.

¹⁰Bohm zapytany o to, czy doświadczenie z dwoma szczelinami można *wyjaśnić* jako skutek interferencji pomiędzy falami, odpowiedział: „To nie jest wyjaśnienie, a tylko opis. Gdyby powiedział pan, że w tym doświadczeniu mamy do czynienia z falą, wówczas byłoby to jakieś wyjaśnienie. Ponieważ jednak elektrony nadlatują jako cząstki, to nie jest to żadne wyjaśnienie. To tylko metaforyczny sposób mówienia”; tamże, s. 151.

¹¹“We have effectively been led to the to regard the wave function of an individual electron as a mathematical representation of an objectively real field. This field exerts a force on the particle in a way that is analogous to, but not identical with, the way in which an electromagnetic field exerts a force on a charge, and a meson field exerts a force on a nucleon”; D. Bohm, “A Suggested Interpretation...”, art. cyt., s. 170.