

Łukasz MŚCISŁAWSKI*

*Politechnika Wrocławska

Kilka słów o interpretacji teorii fizycznej — przyczynę do najnowszej dyskusji o pewnym nieustępliwym problemie

Streszczenie

Zagadnienie interpretacji mechaniki kwantowej jest mocno związane z ogólniejszym problemem, jakim jest interpretacja teorii fizycznej. W niniejszym artykule proponowany jest prosty środek uporządkowania dyskusji; przedstawione są również najnowsze trudności związane z interpretacją mechaniki kwantowej.

Słowa kluczowe: mechanika kwantowa – interpretacja – kontekstualność

Wstęp

Jak wiadomo, dyskusje nad interpretacjami mechaniki kwantowej toczą się nieprzerwanie niemal od samego momentu ukonstytuowania się jej jako teorii fizycznej. Bliższe spojrzenie na tę problematykę, zwłaszcza na dyskusje interpretacyjne toczone w okresie ostatnich kilku bądź kilkunastu lat, uświadamia, jak bardzo skomplikowa-

ne jest samo zagadnienie interpretacji teorii fizycznej¹. Wydaje się zatem, że kilka uwag, dotyczących tej właśnie kwestii, może przyczynić się do przybliżenia złożoności tej problematyki. W nawiązaniu do artykułu *Nieustępliwość problemu interpretacji mechaniki kwantowej* A. STARUSZKIEWICZA² można zaryzykować tezę, że sam problem *interpretacji teorii fizycznej* zasługuje na baczniejszą uwagę. Wypada się także zgodzić – na co wskazuje również krakowski fizyk – że kłopoty z rozumieniem znaczenia implikacji teorii fizycznej w sposób szczególny, od samego początku, związane są właśnie z mechaniką kwantową i teoriami pokrewnymi. Stało się tak, mimo że istniała już wówczas teoria względności EINSTEINA, której przewidywania doświadczalne są odległe od potocznego, zdroworozsądkowego doświadczenia.

Od opublikowania rozważań A. STARUSZKIEWICZA minęło kilka lat. W tym czasie w obszarze refleksji związanej z problematyką interpretacji mechaniki kwantowej można było zauważyć stosunkowo nowe zjawiska. Wydaje się, że można je podzielić na dwie grupy. Pierwszą z nich stanowią zjawiska o charakterze negatywnym, wprowadzające do całości dyskusji spore zamieszanie, zwłaszcza jeśli chodzi o płaszczyznę pojęciową i merytoryczną. W sposób szczególny, jak się zdaje, należałoby uwzględnić w tym nurcie pracę J. BARRETTA, M. F. PUSSEYA i T. RUDOLPHA zatytułowaną *On the reality of the quantum state*³, która wywołała szeroką dyskusję⁴. Drugą grupę stanowią zagadnienia, wprowadzające do interpretacyjnych dyskusji wątki nowe lub już znane, ale dzięki postępowi prac można je zobaczyć w no-

¹ Literatura dotycząca tematu, zwłaszcza w kontekście mechaniki kwantowej, jest wyjątkowo obszerna – por. np. AULETTA, *Foundations*; OMNÈS, *The Interpretation*; HUGHES, *The Structure*; BOHM & HILEY, *The Undivided Universe*; JAMMER, *The Philosophy*; VAN FRAASSEN, *Quantum Mechanics*. Odnośnie do samego rozumienia teorii fizycznych, por. np. PENROSE, *The Road*; HAWKING & PENROSE, *The Nature*.

² STARUSZKIEWICZ, *Nieustępliwość problemu*.

³ BARRETT, PUSSEY & RUDOLPH, *On the Reality*.

⁴ Por. np. artykuł REICH, *Quantum Theorem*. W związku ze stwierdzeniem o zamieszananiu w sferze pojęciowej wypada wspomnieć, że pierwotny tytuł pracy PUSSEYA i współpracowników był zupełnie inny: *The quantum state cannot be interpreted statistically*. Niektóre zagadnienia związane z tym artykułem zostaną poruszone w dalszej części niniejszego opracowania.

wym świetle. Takim zagadnieniem, zwłaszcza jeśli wziąć pod uwagę implikacje filozoficzne, jest niewątpliwie problem *kontekstualności*⁵.

Nieustępliwy problem teorii i jej interpretacji

Na uwagę zasługuje fakt, że o ile problematyka interpretacji mechaniki kwantowej doczekała się bardzo licznych opracowań, o tyle w przypadku samego zagadnienia interpretacji teorii fizycznej sytuacja przedstawia się znacznie skromniej. W ramach filozofii nauki zwykle tego rodzaju analiza może być traktowana jako część ogólniejszego zagadnienia, jakim jest problematyka teorii naukowych, lub ma postać luźnych spostrzeżeń, które pojawiają się w tekstach dotyczących filozoficznych implikacji teorii fizycznych. Trzeba w tym kontekście zwrócić uwagę, że na gruncie filozofii nauki próby analizy tego, czym jest teoria naukowa (zwłaszcza w odniesieniu do nauk matematyczno-przyrodniczych), nie jest zagadnieniem trywialnym⁶. W ramach niniejszego opracowania zostało wybrane ujęcie nieco prostsze. Określenie *teoria fizyczna* odnosić się będzie do pewnego konstruktu teoretycznego, w którym można wyodrębnić trzy powiązane ze sobą warstwy: matematyczny formalizm, dziedzinę teorii (część fizykalnej rzeczywistości, do której teoria się odnosi) oraz warstwy pośredniej pozwalającej powiązać obie wymienione. Dookreślenie warstwy pośredniczącej między formalizmem matematycznym a obszarem opisywanym przez daną teorię fizyczną może przybierać różne postaci: można mówić o regułach pomostowych, definicjach przyporządkowujących⁷. Pojawiają się także sugestie, aby mówić tutaj wprost o *pojęciach fizycznych*⁸. Ten właśnie wariant rozumienia teorii w fizyce, jako konstruktów łączącego strukturę matematyczną poprzez po-

⁵ Por. np. KARAKOSTAS, Realism. Zwięzłe omówienie problemu kontekstualności oraz jego związków z twierdzeniem KOCHENA–SPECKERA można znaleźć również w: HELD, The Kochen-Specker Theorem.

⁶ A. GROBLER zwraca uwagę, że najbardziej rozpowszechnionych rozwiązań, tzn. traktowania teorii w dyscyplinach matematyczno-empirycznych jako rodzin modeli lub dedukcyjnych systemów zdań, nie można uznać za dostatecznie uzasadnione. Por. GROBLER, *Metodologia nauk*, s. 138-207.

⁷ Por. HELLER, *Filozofia nauki*, s. 45-49.

⁸ Por. ISHAM, *Structural Issues*.

jęcia fizyczne z obszarem świata fizykalnego, będącego dziedziną teorii, jakkolwiek wyidealizowany, zostanie wykorzystany w dalszych rozważaniach. Takie ujęcie teorii fizycznej, mimo swej prostoty, pozwala wskazać następujące, istotne jej cechy. Po pierwsze, nie jest to struktura czysto matematyczna, co ma kluczowe znaczenie w próbach zmierzenia się z zagadnieniami interpretacyjnymi. Można spotkać opinie, w myśl których teoria fizyczna stanowi *konstrukt matematyczny*, o szczególnych właściwościach⁹. W takim przypadku powstaje jednak problem odróżnienia czysto matematycznego modelu od modelu dotyczącego jakiegoś aspektu świata fizycznego. Po drugie, wprowadzenie warstwy pośredniej między formalizmem a danymi eksperymentalnymi może zapobiec naiwnemu realizmowi, dążącemu do reifikacji obiektów matematycznych¹⁰. Istotna w tym kontekście wydaje się uwaga, że modele matematyczne rzeczywistości fizycznej nie są z tą rzeczywistością tożsame. Jakkolwiek zajmując się w ramach fizyki teoretycznej budową modeli matematycznych, które mają za zadanie opisywać działanie wybranego obszaru (dziedziny teorii), łatwo można przywyknąć do pewnego skrótu myślowego, to jednak przy dyskusjach interpretacyjnych należy zdawać sobie sprawę, że jest to po prostu wygodne uproszczenie¹¹. Po trzecie, zarysowane wyżej ujęcie nie przedstawia teorii fizycznej tylko jako katalogu poszczególnych wyników doświadczeń, lecz wskazuje na silne powiązanie sfery

⁹ Por. np. DARRIGOL, *For the Philosophy*, s. 31-32. DARRIGOL łączy swą deklarację z semantycznym ujęciem teorii, stwierdzając, iż zawartość empiryczna teorii jest zdefiniowana poprzez izomorfizm między uniwersum symboli i danymi doświadczalnymi. Zaznacza przy tym, że środki ustanawiania tego izomorfizmu są dość niejasne (por. dalsza część niniejszego artykułu). Trzeba jednak zastrzec, że semantyczne ujęcie teorii naukowych, mimo swej popularności, spotyka się także z krytyką. Por. np. HALVORSON, *What Scientific Theories*.

¹⁰ Wydaje się, że na skutek serii założeń o wątpliwym uzasadnieniu, tego rodzaju sytuacja miała miejsce w przypadku doniesień o bezpośrednich pomiarach funkcji falowej, por. LUNDEEN et al. *Direct Measurement*. Wypada zauważyć, że nawet w nieco mniej kontrowersyjnym przypadku mówi się, nieco upraszczając, o pomiarze pewnych wartości, przykładowo, pędu, a nie o pomiarze *operatora pędu*. To jedno z nieporozumień, jakie może mieć miejsce, jeśli nie uwzględnia się faktu, że wewnątrz teorii fizycznej wielkości fizyczne są reprezentowane przez struktury matematyczne, lecz sytuacja odwrotna jest już postulatem o wątpliwym uzasadnieniu.

¹¹ Por. uwagi w: KOPICZYŃSKI & TRAUTMAN, *Czasoprzestrzeń*, s. 20-29.

tych wyników, dotyczących dziedziny danej teorii, z elementem formalnym, który umożliwia analizę obszaru opisywanego przez teorię wychodzącą poza już zgromadzone dane. Ta własność ma także kluczowe znaczenie dla problematyki interpretacji teorii, umożliwiając dalsze predykcje doświadczalne, ale też stwarzając możliwości analizy na poziomie ogólniejszym. Ostatnią cechą takiego opisu jest bardzo prosta możliwość jego przeniesienia na grunt teorii kategorii, co w kontekście ostatnich prac z zakresu wykorzystania tej gałęzi matematyki w fizyce nie jest bez znaczenia. Teoria kategorii jest także na tyle uniwersalnym narzędziem matematycznym, iż rodzi się pytanie, czy nie mogłaby stanowić także narzędzia niezwykle użytecznego w metaanalizie problematyki filozoficznej, związanej z fizyką. Problematyka ta jednak wymaga oddzielnego opracowania¹².

Podkreślenia w tym miejscu wymagają następujące kwestie. Zarówno procedura łączenia pewnego zestawu danych eksperymentalnych z określonymi pojęciami fizycznymi, jak i połączenie tych pojęć z określonym elementem struktury matematycznej, wewnątrz której reprezentowana będzie dana teoria, dokonują się za pomocą pewnych reguł. Zazwyczaj na ich ustanawianie, jak i kontrolę ich zastosowania wpływa ogólniejsze tło, które może być uświadomione bądź nie¹³. Na ten element stosunkowo rzadko zwraca się uwagę, jakkolwiek może on odgrywać ważną rolę w dyskusjach interpretacyjnych. Kolejnym zagadnieniem jest to, że mówiąc o interpretacjach teorii fizycznej, często nie rozróżnia się między zestawem reguł pomostowych, które można, co zaznaczono wyżej, identyfikować z rozumieniem tego, czym są wielkości fizyczne, a samymi danymi będącymi wynikami doświadczeń, obserwacji itd., dotyczącymi danego obszaru rzeczywistości fizycznej. Tego rodzaju utożsamienie danych doświadczalnych i pojęć fizycznych może być potencjalnie niebezpieczne z dwóch po-

¹² Rodzi się tutaj pytanie, czy wykorzystując teorię kategorii do metaanalizy, nie nastąpi utożsamienie teorii fizycznej z konstruktem matematycznym. Wydaje się, że tak długo, jak będzie się pamiętać, że jest to narzędzie użyte do badania pewnej struktury, która ma charakter niezupełnie matematyczny, oraz że zasadniczo konstrukcja badana przy użyciu tego narzędzia jest tylko *reprezentacją* badanej struktury, niebezpieczeństwo takie nie zachodzi.

¹³ Por. ISHAM, *Lectures*, s. 1-2.

wodów. Po pierwsze, dane jako takie zwykle są reprezentowane w postaci liczb, które nie zawierają w sobie *fizycznego znaczenia*. Po drugie, z faktu nieposiadania danych doświadczalnych charakterystycznych dla danej teorii (lub problemów z ich identyfikacją) nie wynika, że nie istnieją pojęcia fizyczne, którymi wewnątrz tej teorii można się posługiwać¹⁴.

Jedną z prób rozjaśnienia problematyki interpretacji teorii fizycznej (w kontekście mechaniki kwantowej) jest uwaga M. REDHEADA, iż w przypadku interpretacji (teorii fizycznej) ma miejsce procedura korelacji elementów struktury matematycznej z wielkościami fizycznymi. Interpretacja teorii fizycznej (tu: mechaniki kwantowej), jak to ujmuje REDHEAD, jest pewnego rodzaju wyjaśnieniem natury świata zewnętrznego i naszej poznawczej do tego świata relacji. Wyjaśnienie to ma za zadanie ukazać, jak to się dzieje, że statystyczne regularności przewidywane przez formalizm teorii są takie, jakie są¹⁵.

Na nieco inne ujęcie interpretacji teorii fizycznej, o ogólniejszym charakterze, zwraca uwagę Laura RUETSCHKE (także w kontekście interpretacji mechaniki kwantowej). Określa je ona jako *ujęcie standardowe*, a jego istotą jest stwierdzenie, że zawartość (empiryczna) teorii jest dana przez zbiór światów, w których dana teoria jest prawdziwa. Jej zdaniem takie rozumienie interpretacji, z racji swego rozpowszechnienia i zakorzenienia, powoduje, iż w stosunkowo prosty sposób da się w jego ramach formułować zagadnienia centralne dla metafizyki i filozofii fizyki. W ramach ujęcia standardowego interpretacja teorii polega na opisie cech charakterystycznych światów możliwych, związanych z daną teorią. Przez światy możliwe rozumie się

¹⁴ W sposób szczególny, jak można się domyślać, tego rodzaju sytuacja może mieć miejsce w próbach konstrukcji kwantowej teorii grawitacji. Trzeba jednakże zaznaczyć, że nie chodzi tu o sytuację, w której występuje zupełny brak jakichkolwiek danych, ale o trudności z identyfikacją danych, które byłyby charakterystyczne dla opisu kwantowo-grawitacyjnego, a jednocześnie nie byłyby wytlumaczalne na podstawie już dostępnych teorii (np. modeli kosmologicznych budowanych w oparciu o ogólną teorię względności oraz standardowy model cząstek elementarnych).

¹⁵ REDHEAD, *Incompleteness*, s. 44. Podkreślenia wymaga, że określenie nautry zewnętrznego świata może mieć tutaj charakter bardzo ogólny, wprost przenosząc analizę zagadnienia na grunt filozoficzny.

tutaj modele teorii (w sensie zbliżonym do logicznego), które określa się mianem *fizycznych*. Co istotne, zwraca ona uwagę na fakt, że jeśli przyjrzeć się dokładniej, standardowe ujęcie interpretacji fizycznej jest stanowiskiem, w ramach którego większość teorii, co do których prowadzi się dyskusje interpretacyjne, *już została częściowo zinterpretowana*. Gdyby było inaczej, nie mogłyby być one teoriami fizycznymi¹⁶. Na pierwszy rzut oka wydaje się, że zaistniało tutaj swego rodzaju błędne koło: interpretacja teorii fizycznej jest opisem, w ramach którego stawia się tezy dotyczące konstruktów już zinterpretowanego. W tym miejscu wypada zwrócić uwagę na fakt, że kluczowe jest tutaj właśnie rozumienie *interpretacji teorii*, a dokładniej, jak się wydaje, jego zbyt szerokie rozumienie, pozbawione dodatkowych rozróżnień.

W związku z powyższym wydaje się, że można zaproponować środek, który pomoże – przynajmniej w minimalnym stopniu – uporządkować problematykę interpretacyjną. Jest to wprowadzenie dwóch dookreśleń rozumienia pojęcia interpretacji teorii fizycznej. Przez *interpretację wewnętrzną* teorii fizycznej będzie zatem rozumiana procedura interpretacji fizycznej struktur matematycznych, użytych w konstrukcji teorii. Jest to zatem połączenie za pomocą pojęć fizycznych elementu teoretycznego z danymi doświadczalnymi. Wewnątrz tej procedury istnieje pewne minimalne jądro, które nie budzi specjalnych kontrowersji interpretacyjnych. W przypadku mechaniki kwantowej mogą to być kanoniczne relacje komutacji, podstawowe postulaty teorii¹⁷ czy też minimalistyczne stanowisko w zakresie rozumienia przewidywań statystycznych teorii¹⁸.

Przez *interpretację zewnętrzną* natomiast rozumie się wszelkie inne tezy związane z zagadnieniami opisywanymi przez daną teorię. Przypadek ten będzie dotyczył zarówno spostrzeżeń na temat fenomenów fizycznych, bezpośrednio nieopisywanych przez teorię, jak

¹⁶ Por. RUETSCHÉ, *Interpreting*, s. 6-7.

¹⁷ Trzeba jednak zdawać sobie sprawę, że istnieje wielość sformułowań tej teorii.

¹⁸ Por. *Ibid.* s. 6-7, a także: ISHAM, *Lectures*, s. 79-80. Określenie stanowiska jako minimalistycznego w tym kontekście oznacza, że nie rości się w jego ramach pretensji do rozstrzygnięcia problematyki wykraczającej poza możliwość sformułowania teorii fizycznej, tzn. nie są w jego ramach podejmowane zagadnienia o charakterze epistemologicznym, ontologicznym etc.

i wszelkich spostrzeżeń natury ontologicznej, epistemologicznej itd. Za M. HELLEREM można zauważyć, że drugi rodzaj interpretacji może być zgodny ze strukturą matematyczną teorii, sprzeczny z nią albo wobec niej neutralny¹⁹. W pierwszym przypadku (zgodność ze strukturą matematyczną), o ile dałoby się wprowadzić ewentualną reprezentację matematyczną dla tez ontologicznych (epistemologicznych etc.), nie powodowałyby to niezgodności z predykcjami doświadczalnymi teorii oraz jej ogólnym aparatem matematycznym. Sytuacja sprzeczności miałyby miejsce wówczas, gdyby zachodziła tego rodzaju niezgodność. Natomiast neutralność różnego rodzaju wniosków wobec formalizmu teorii ma miejsce wówczas, gdy dana teoria wprost nie podejmuje opisu danego zagadnienia albo nie zajmuje się nim w ogóle.

Zaproponowane rozróżnienie nie ma charakteru normatywnego, stanowi raczej próbę uporządkowania płaszczyzny dyskusji. Przykładowe stwierdzenie, że nie należy szukać żadnych dodatkowych treści w odniesieniu do teorii fizycznej, poza predykcjami doświadczalnymi, jest pewnym postulatem, który w swej istocie mieści się już w sferze interpretacji zewnętrznej. Niewątpliwie, separacja obu warstw interpretacyjnych w przypadku poszczególnych badaczy może nie być zadaniem łatwym. Powstaje tutaj także interesujące zagadnienie dotyczące możliwości sprzężenia między obiema sferami interpretacyjnymi w pracy badawczej konkretnych osób.

Nieustępliwość kwantowa

Biorąc pod uwagę tytuły wielu prac dotyczących podstaw mechaniki kwantowej i jej interpretacji, można odnieść wrażenie, że większość z nich dotyczy właśnie interpretacji zewnętrznej. Jednakże ich zawartość niejednokrotnie zdradza, że w istocie dotyczą one prób rekonstrukcji przewidywań doświadczalnych teorii lub jej formalizmu matematycznego (bądź jego podstawowych własności). Taka sytuacja ma miejsce np. w pracy L. SKÁLI i V. KAPSY²⁰. Jakkolwiek sami auto-

¹⁹ Por. HELLER, O filozofujących fizykach.

²⁰ Por. KAPSA & SKÁLA, *Quantum Mechanics*.

rzy przyznają, że w zasadzie chodzi im właśnie o próbę rekonstrukcji pewnych kluczowych elementów formalizmu matematycznego mechaniki kwantowej. Nie można wykluczyć, że rekonstrukcja taka może rzucać nowe światło na pewne zagadnienia związane z własnościami aparatu formalnego teorii. Niemniej tytuł pracy sugeruje, że wyklucza się konieczność *interpretacji* teorii. Warto w tym miejscu zwrócić uwagę na następujący problem. Zwykle, kiedy jest mowa o interpretacji mechaniki kwantowej, może się zdarzyć (jak wcześniej zauważono), że pierwsze skojarzenia będą związane właśnie z interpretacją zewnętrzną. Potoczne rozumienie całości zagadnienia może prowadzić do sytuacji, w której interpretację wewnętrzną przyjmuje się za oczywistą. Tak jednak wcale być nie musi w przypadku mechaniki kwantowej i teorii pokrewnych, czego świadectwem są dyskusje dotyczące tego, jaki właściwie sens mają uzyskane przewidywania doświadczalne. Można uciąć tę dyskusję, stwierdzając, że całość problematyki związanej z teoriami fizycznymi powinna być zredukowana do przewidywań doświadczalnych, nad którymi nie ma sensu rozwodzić się dłużej. Jednak, co wydaje się bardziej interesujące, można także zadać kolejne pytanie: jakie są cechy świata, jeśli opisująca go teoria jest adekwatna empirycznie? Zadanie takiego pytania powoduje, że dyskusja zaczyna rozgrywać się w obszarze interpretacji zewnętrznej danej teorii. Jak słusznie zauważa STARUSZKIEWICZ, łatwo tutaj o tezy, których nie da się sprawdzić²¹. Oznacza to, przykładowo, że mogą być stawiane tezy ontologiczne, które nie mają swojej reprezentacji formalnej. Z tego zaś wynika brak możliwości ich konfrontacji z formalizmem teorii oraz, przy bardzo daleko posuniętej ostrożności, z wynikami doświadczeń. Prowadzone badania teoretyczne wskazują, że — jak się wydaje — istnieje jednak możliwość podania formalnych odpowiedników przynajmniej niektórych twierdzeń ontologicznych dla stanowisk zawierających pewien rys realistyczny. Nie chodzi tutaj o stanowiska oparte na koncepcjach wielu światów, gdyż tutaj — w rzeczy samej — brakuje możliwości takiej konfrontacji. Problemy konstrukcji teoretycznych, opartych na zmiennych ukrytych, także są doskonale znane, do czego — co może być zaskakujące — przyczyniła

²¹ STARUSZKIEWICZ, Nieuściępliwść problemu, s. 20.

się także praca BARRETTA, PUSSEYA i RUDOLPHA. Wbrew swemu tytułowi, jej centrum stanowi rozumowanie prowadzące do wykazania, że nie jest możliwy do utrzymania jeden z wariantów teorii zmiennych ukrytych²².

O wiele bardziej interesująca filozoficznie może być problematyka związana ze stanowiskami odnoszącymi się w pewnym stopniu do fizyki klasycznej²³, w ramach których przyjmuje się, że istniejące obiekty są nośnikami pewnych właściwości, co samo w sobie jest bardzo silnym założeniem. Dla stanowisk, które nawiązują do realizmu, charakterystyczne jest założenie, niekiedy przyjmowane niejawnie, że obiekty fizyczne *posiadają* jakąś właściwość, niezależnie od procesów pomiarowych. Oznacza to, że dla całej przestrzeni stanów danego układu powinno być możliwe wyznaczenie wartości badanych wielkości fizycznych. Tego rodzaju postulat może uzyskać precyzyjną formę matematyczną, jaką jest wprowadzenie *waluacji*²⁴. To zaś stwarza możliwość konfrontacji z przewidywaniami mechaniki kwantowej. Analogicznie do teorii opartych na zmiennych ukrytych, istnieje zasadnicza przeszkoda dla tego rodzaju modeli w postaci twierdzenia KOCHENA–SPECKERA. Niemniej, jeśli chcieć utrzymać nieco bardziej realistyczny obraz świata kwantowego, co jest wskazane przy poszukiwaniach kwantowej teorii grawitacji, okazuje się, że implikacje takiej sytuacji są zaskakujące. Jeśli założyć, że istnieje możliwość wprowadzenia waluacji, wówczas nie daje się utworzyć spójnego, zupełnego obrazu układu. Innymi słowy, dostęp do informacji o układzie jest uwikłany w *kontekst*. W tym sensie jest mowa o *kontekstualności* w odniesieniu do układów kwantowych. Jeśli zatem stanowisko in-

²² Ścisłej rzecz ujmując, dotyczy to teorii zmiennych ukrytych (w wersji lokalnej), związanych z epistemiczną interpretacją wektora stanu. Wykazano jednak, że twierdzenie PUSSEYA, BARRETTA i RUDOLPHA (PBR theorem) stanowi także zasadniczą przeszkodę (*no-go theorem*) w odniesieniu do wariantów ontycznych modeli opartych na teoriach zmiennych ukrytych. Por. FINE & SCHLOSSHAUER, *Is the Pusey*.

²³ Lecz nieidentyfikującymi się z nią.

²⁴ Przez *waluację* (ang. *valuation*) rozumie się tutaj funkcję o wartościach rzeczywistych, określoną na zbiorze wszystkich ograniczonych operatorów samosprzężonych, działających na przestrzeni HILBERTA. Por. ISHAM & BUTTERFIELD, *Topos Perspective*.

terpretacyjne ma mieć charakter realistyczny, nawet w bardzo ograniczonym zakresie²⁵, wówczas automatycznie należy porzucić „klasyczne” myślenie o realizmie niekontekstualnym. Istnieją próby rozwiązania tej trudności na gruncie teoretycznym, jednak zwykle sprowadza się to do porzucenia standardowych narzędzi fizycznych²⁶.

W pewnym szczególnym sensie trudno jest określić, czy w tym kontekście należy mówić o własnościach ontycznych czy epistemicznych²⁷. Ten stan rzeczy wynika z założeń teorii i właściwości procesu pomiaru układów kwantowych. Wymaga podkreślenia, że sam proces pomiaru w mechanice kwantowej jest, jak wiadomo, nieustannym przedmiotem dyskusji interpretacyjnych²⁸. Wypada zauważyć, że problematyka podstawowych zagadnień interpretacyjnych najczęściej jest omawiana w kontekście wykorzystania standardowego sformułowania mechaniki kwantowej, opartej na przestrzeniach HILBERTA. Można spotkać się z twierdzeniami, że podstawowe różnice między fizyką klasyczną a mechaniką kwantową wypływają z różnic podstawowych struktur matematycznych, które używane są do reprezentacji stanu układu²⁹, co w sposób nieunikniony rodzi pytanie

²⁵ Żąda się wówczas, by dla każdej chwili istniały określone wartości wielkości fizycznych.

²⁶ Por. np. DÖRING & ISHAM, *What Is a Thing?*

²⁷ Przykładowo wspomniana praca PUSSEYA, BARRETTA i RUDOLPHA zajmuje się obiema możliwościami w odniesieniu do własności wektora stanu.

²⁸ Silne związanie obu aspektów (ontycznego i epistemicznego) wynika z charakteru samej teorii i obiektów przez nią opisywanych. Nieco upraszczając, można powiedzieć, że jakkolwiek dostęp poznawczy do układu kwantowego w sposób nieunikniony powoduje ingerencję w jego właściwości ontyczne (problem redukcji wektora stanu). Nie jest więc charakterystyczne tylko dla stanowisk realistycznych. Niemniej w ramach tego rodzaju stanowisk implikacje tej sytuacji są zdecydowanie bardziej odczuwalne, o czym będzie mowa dalej. Dodatkowo swoistość mikroświata może objawiać się w problematyce związanej z fenomenem czasu. Realizowane doświadczenia z opóźnionym wyborem (*delayed choice experiments*) wskazują na bardzo osobliwe zachowanie się układów kwantowych, które – nieco upraszczając – można opisać jako *determinowanie przeszłości przez chwilę obecną*. W tym przypadku jednak należy zachować szczególną ostrożność, gdyż bardzo wiele stwierdzeń w tym zakresie jest uzależnionych od interpretacji tej teorii. Por. np. AULETTA, *Foundations*, s. 445-456, a także MA et al. *Quantum Erasure*.

²⁹ Por. np. ISHAM, *Lectures*, s. 17, a także: RAU, *Quantum Interpretations*.

o status pojęcia *stanu układu fizycznego* w kontekście problematyki interpretacji teorii fizycznej³⁰. Szczególnie wyraźnym sygnałem tej różnicy może być struktura logiczna obu teorii oraz twierdzenia nie do przejścia (*no-go theorems*), zwłaszcza nierówności BELLA i wspomniane już twierdzenie KOCHENA–SPECKERA.

Całość wymienionej problematyki może wydawać się czysto teoretyczną spekulacją. Udało się jednak zbudować układy fizyczne pozwalające na doświadczalne badanie konsekwencji twierdzenia KOCHENA–SPECKERA³¹. Są one zgodne z przewidywaniami mechaniki kwantowej. Powstaje zatem pytanie, czy układy kwantowe są silnie kontekstualne. Odpowiedź jednak, podobnie jak w przypadku wielu tego rodzaju pytań, jest silnie uzależniona od interpretacji formalizmu, zwłaszcza w tym zakresie, który określono jako interpretację wewnętrzną. Stąd przejście od interpretacji wewnętrznej, która niejednokrotnie bywa problematyczna, do interpretacji zewnętrznej, związanej bezpośrednio z głębokimi problemami ontologicznymi i epistemologicznymi, nie jest zadaniem prostym. W związku z tym, na podstawie osiągnięć w zakresie fizyki (ale nie tylko), bardzo trudno jest stawiać kategoryczne tezy w zakresie fundamentalnych zagadnień filozoficznych, na co także zwraca uwagę A. STARUSZKIEWICZ³². Należy także zwrócić uwagę na wspomniane już wcześniej ogólne tło, które wpływa na kontrolę interpretacji wewnętrznej teorii. Można się spodziewać, że niektóre zawarte w nim poglądy ontologiczne i epistemologiczne, przekonania czy uprzedzenia mogą znaleźć bezpośrednie odbicie we wnioskach, do których dany myśliciel lub uczony może dojść w kontekście rozważania danej teorii fizycznej³³. Jest to punkt,

³⁰ Ta interesująca tematyka zasługuje na odrębne opracowanie.

³¹ Por. D'AMBROSIO et al. *Experimental Implementation*.

³² Por. STARUSZKIEWICZ, *Nieustępliwość problemu*, s. 23. Przez analogię do znanego zagadnienia niedookreślenia teorii przez dane można zaryzykować tezę, że istnieje także problem *niedookreślenia ontologii przez teorie naukowe* (nawet wsparte danymi doświadczalnymi). Zagadnienie to, interesujące samo w sobie, zasługuje na oddzielne opracowanie.

³³ Obszerniej na ten temat: ISHAM, *Lectures*, s. 66. Interesującą sugestią jest także możliwość oddziaływania mniej lub bardziej uświadomionych założeń natury ontologicznej lub epistemologicznej w samym doborze struktur matematycznych, ma-

w którym bardzo uważnie trzeba przyjrzeć się wpływowi zewnętrznym w stosunku do samej zawartości teorii³⁴. Nie chodzi przy tym tutaj o rozróżnienie kontekstu odkrycia i uzasadniania, gdyż – jak można zauważyć – do dyspozycji jest już gotowa teoria. Można postawić tezę, że tego rodzaju sprzężenie między przedzałożeniami a interpretacją (obu rodzajów) teorii fizycznych będzie nieustannie rodzić coraz to nowe problemy i napięcia. Należy się spodziewać, że będą one tym większe, im bardziej odległe od potocznego doświadczenia obszary rzeczywistości mają być dziedziną danej teorii. Być może część z tych napięć i zagadnień zniknie przy przechodzeniu do teorii coraz bardziej fundamentalnych. Byłoby to bardzo pożądane, niemniej trzeba poważnie brać pod uwagę sytuację, w której trudności raczej będą się kumulować.

W kierunku większej nieustępliwości?

W powyższym kontekście warto zwrócić uwagę na rzecz następującą. A. STARUSZKIEWICZ sugeruje, że związek między strukturą matematyczną a przewidywaniami doświadczalnymi w mechanice kwantowej jest zupełnie nowego typu³⁵. Równocześnie zaznacza, że dobrym pomysłem byłaby zmiana interpretowanej teorii (zapewne w obu sen-

jących służyć do skonstruowania nowej teorii. Szerzej na ten temat w kontekście mechaniki kwantowej: MŚCISŁAWSKI, *Wyzwania realizmu*.

³⁴ Jej określenie, jak już wcześniej zauważono, może być kłopotliwe. Natomiast jednym z ciekawszych przykładów trudności, na jakie można natrafić w rozumieniu tego, „o czym mówi teoria”, są trudności pojęciowe towarzyszące twórcom teorii kwantów: M. PLANCKOWI, A. EINSTEINOWI czy N. BOHROWI. Por. JAMMER, *The Conceptual Development*, a także: LANDSMAN, *Between Classical and Quantum*.

³⁵ Por. STARUSZKIEWICZ, *Nieustępliwość problemu*, s. 19. Autor ma tu na myśli fakt, że przewidywania doświadczalne teorii (pojedynczy akt rozpraszania elektronu) sugerują możliwość pojawienia się fali odbitej, nieobserwowanej jednak w trakcie doświadczeń. Co więcej, całość opisu składa się z równania SCHRÖDINGERA i reguł interpretacyjnych BORNA. Problem tkwi jednak w tym, że reguły BORNA nie są w sposób konieczny związane z samym równaniem SCHRÖDINGERA. Odwołując się do postulatów metodologicznych EINSTEINA, STARUSZKIEWICZ zwraca uwagę, że całość sytuacji nie jest tak oczywista, jak mogłoby się wydawać, a między formalizmem matematycznym a opisywaną przez niego rzeczywistością fizyczną zachodzi związek typu jakościowo odmiennego od sytuacji w fizyce klasycznej.

sach rozważanych wyżej) na relatywistyczną kwantową teorię pola. Trzeba przyznać, że nie jest to głos odosobniony. Powstaje zatem pytanie, czy istnieje jakieś uzasadnienie, aby nadal tkwić przy problematyce interpretacji standardowej mechaniki kwantowej. Przeciw kontynuacji takich analiz można przytoczyć następujące argumenty:

- (1) Istnieją teorie ogólniejsze (teorie pól kwantowych).
- (2) Trwają prace nad kwantową teorią grawitacji – gdy tylko się ona pojawi, istnieje duża szansa, że większość standardowych problemów mechaniki kwantowej zostanie wyjaśniona.
- (3) Zasadnicza sztuczność problemu – teoria ma przewidywać wyniki doświadczeń i nic więcej. Jakikolwiek problemy interpretacyjne zostały już rozwiązane niemal sto lat temu przez ukonstytuowanie kopenhaskiej interpretacji mechaniki kwantowej.
- (4) Dyskusja (jak zauważono wcześniej) może być lub jest niekonkluzywna.

Z argumentami (1) i (2) wypada się zgodzić. Należałoby jednak także zaznaczyć, że teorie pól kwantowych nie tylko nie niwelują trudności interpretacyjnych standardowej teorii kwantów, lecz także dodają do nich zupełnie nowe, czego przykładem może być problem rozumienia pól kwantowych czy ich statusu. Zarówno w tym przypadku, jak i w przypadku poszukiwań kwantowej teorii grawitacji można spotkać się z uwagą, że zasadniczo to, czym w obecnej chwili dysponujemy przy opisie mikroświata, to mniej lub bardziej standardowa mechanika kwantowa³⁶. W związku z tym, także w kontekście swoistej inności relacji między aparatem formalnym a opisywaną w ramach teorii rzeczywistością, być może dobrym pomysłem byłoby dalsze zgłębianie tematu, który wydaje się co chwilę powracać. W odniesieniu do zastrzeżenia (2) wypada zauważyć, że nowej teorii jeszcze nie ma i obecnie nie jest też jasne, który z kierunków jej poszukiwania okaże się właściwy. Pozostaje pytanie, czy w tym kontekście dalsze badanie zarówno standardowej mechaniki kwantowej,

³⁶ Por. np. DÓRING & ISHAM, *What Is a Thing?*, s. 755.

jak i teorii pokrewnych, także z (bardzo ostrożnym) uwzględnieniem interpretacji typu zewnętrznego, nie wniesie jakiegось konstruktywnego wkładu w prowadzone badania.

Argument (3) jest jednym z możliwych (i skądinąd najczęściej spotykanych) sposobów ograniczenia lub wręcz ucięcia dyskusji. Wówczas nie ma także sensu zastanawianie się nad możliwościami interpretacji zewnętrznej w odniesieniu do mechaniki kwantowej. Wydaje się jednak, że tak samoograniczająca się wersja jest obecnie nie do utrzymania, zwłaszcza wobec badań nad kwantową teorią grawitacji³⁷.

Stwierdzenie (4), że dyskusja jest niekonkluzywna, ze względu – przykładowo – na uparcie powracające w niej motywy, bardzo przypomina odwieczne dyskusje filozoficzne, a dokładniej zadawanie dobrych pytań i szukanie na nie odpowiedzi, zwłaszcza jeśli chodzi o najbardziej doniosłe zagadnienia. Nieustępliwość problemu sugeruje, że być może kryzys, jakiego doświadcza obecna fizyka teoretyczna, ma zupełnie inne podłoże niż tylko czysto „techniczne”, związane z brakiem odpowiednich narzędzi matematycznych. Wydaje się, że silny wpływ na dyskusje dotyczące teorii mikroświata ma *cięcie poglądowości*, czyli sytuacja, w której występuje dotkliwy brak możliwości zinterpretowania tego, co opisuje aparat formalny teorii w kategoriach potocznego doświadczenia (np. ze względu na rozmiary rozważanych układów)³⁸. Tego rodzaju sytuacja w sposób nieunikniony prowadzi do tworzenia reguł, które nie wynikają bezpośrednio z matematycznych struktur teorii, a przyjmujących postać dodatkowych postulatów (np. BORNA interpretacja wektora stanu). Stąd zadawanie pytań, na które (jak się wydaje) nie można znaleźć satysfakcjonującej odpowiedzi, może (choć nie musi) spowodować spojrzenie na dobrze znane problemy w innym świetle. Dotyczy to nie tylko dyskusji nad interpretacją mechaniki kwantowej, lecz także każdej innej teorii fizycznej.

³⁷ Por. np. *Ibid.* s. 755.

³⁸ Por. KOPICZYŃSKI & TRAUTMAN, *Czasoprzestrzeń*, s. 24.

Summary

The issue of the interpretation of quantum mechanics is bound up with the more general problem of the interpretation of physical theory. In the present paper, a simple way to clarify the discussion is proposed, and some new difficulties connected with the interpretation of quantum mechanics are presented.

Key words: quantum mechanics – interpretation – contextuality

Literatura

- AULETTA, G., *Foundations and Interpretation of Quantum Mechanics: In the Light of a Critical-Historical Analysis of the Problems and of a Synthesis of the Results*, Singapore : World Scientific, 2001.
- BARRETT, J., M.F. PUSSEY & T. RUDOLPH, On the Reality of Quantum State, *Nature Physics* 8 (2012), s. 475–478.
- BOHM, D. & B.J. HILEY, *The Undivided Universe: An Ontological Interpretation of Quantum Theory*, London : Routledge, 1995.
- D'AMBROSIO, V., I. HERBAUTS, E. AMSELEM, E. NAGALI, M. BOURENNANE, F. SCIARRINO & A. CABELLO, Experimental Implementation of a Kochen-Specker Set of Quantum Tests, *Physical Review X* 3 (2013), URL : http://quantumoptics.phys.uniroma1.it/publications/PhysRevX_3_011012.pdf.
- DARRIGOL, O., For the Philosophy of Hydrodynamics, [w:] *The Oxford Handbook for Philosophy of Physics*, [red.] R. BATTERMAN, Oxford : Oxford Univeristy Press, 2013, s. 12–42.
- DÖRING, A. & C.J. ISHAM, What Is a Thing? Topos Theory in the Foundations of Physics, [w:] *New Structures for Physics*, [red.] B. COECKE, (Lecture Notes in Physics, 813), Berlin, Heidelberg : Springer, 2011, rozdz. 13, s. 753–937.
- FINE, A. & M. SCHLOSSHAUER, *Is the Pussey-Barrett–Rudolph Theorem Compatible with Quantum Nonseparability?*, 24 czerw. 2013, URL : <http://arxiv.org/abs/1306.5805v1>.
- GROBLER, A., *Metodologia nauk*, Kraków : Wydawnictwo Aureus, Społeczny Instytut Wydawniczy Znak, 2006.

- HALVORSON, H., What Scientific Theories Could Not Be, *Philosophy of Science* 79(2) (2012), s. 183–206.
- HAWKING, S. & R. PENROSE, *The Nature of Space and Time*, (The Isaac Newton Institute Series of Lectures), Princeton : Princeton University Press, 2010.
- HELD, C., The Kochen-Specker Theorem, [w:] *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, [red.] E.N. ZALTA, 2013, URL : <http://plato.stanford.edu/archives/spr2013/entries/kochen-specker>.
- HELLER, M., *Filozofia nauki. Wprowadzenie*, Kraków : Petrus, 2009.
- HELLER, M., O filozofujących fizykach i fizykującymi filozofach, *Zagadnienia Filozoficzne w Nauce* 13 (1991), s. 90–93, URL : <http://www.obi.opoka.org/zfn/013/zfn01311Heller.pdf>.
- HUGHES, R.I.G., *The Structure and Interpretation of Quantum Mechanics*, Cambridge, Mass. : Harvard University Press, 1992.
- ISHAM, C.J., *Lectures on Quantum Theory. Mathematical and Structural Foundations*, London : Imperial College Press, 1995.
- ISHAM, C.J., Structural Issues in Quantum Gravity, [w:] *Florence 1995, General Relativity and Gravitation*, [red.] M. FRANCAVIGLIA, G. LONGHI, L. LUSANNA & E. SORACE, Singapore : World Scientific, 1997, s. 167–209, URL : <http://arxiv.org/abs/gr-qc/9510063v1>.
- ISHAM, C.J. & J. BUTTERFIELD, Topos Perspective on the Kochen-Specker Theorem: I. Quantum States as Generalized Valuations, *International Journal of Theoretical Physics* 37(11) (1998), s. 2669–2733.
- JAMMER, M., *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*, New York : McGraw-Hill, 1966.
- JAMMER, M., *The Philosophy of Quantum Mechanics: The Interpretations of Quantum Mechanics in Historical Perspective*, New York : Wiley-Interscience, 1974.
- KAPSA, V. & L. SKÁLA, *Quantum Mechanics Needs No Interpretation*, 22 grud. 2004, URL : <http://arxiv.org/abs/quant-ph/0412175v1>.
- KARAKOSTAS, V., Realism and Objectivism in Quantum Mechanics, *Journal of General Philosophy of Science* 43(1) (2012), s. 45–65.

- KOPICZYŃSKI, W. & A. TRAUTMAN, *Czasoprzestrzeń i grawitacja*, Warszawa : Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1984.
- LANDSMAN, N.P., Between Classical and Quantum, [w:] *Philosophy of Physics*, [red.] J. BUTTERFIELD & J. EARMAN, Amsterdam : North Holland, 2006, s. 417–553.
- LUNDEEN, J.S., B. SUTHERLAND, A. PATEL, C. STEWART & C. BAMBER, Direct Measurement of Quantum Wavefunction, *Nature* 474 (2011), s. 188–191.
- MA, X.-S., J. KOFLER, A. QARRY, N. TETIK, T. SCHEIDL, R. URSIN, S. RAMELOW, T. HERBST, L. RATSCHBACHER, A. FEDRIZZI, T. JENNEWEIN & A. ZEILINGER, Quantum Erasure with Causally Disconnected Choice, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 110(4) (2013), s. 1221–1226, URL :
<http://www.pnas.org/content/110/4/1221.full.pdf>.
- MŚCISŁAWSKI, Ł., *Wyzwania realizmu: Konceptualne i strukturalne zagadnienia teorii kwantów w świetle badań nad kwantową grawitacją Chrisa Ishama*, Kraków : Copernicus Center Press, (w druku).
- OMNÈS, R., *The Interpretation of Quantum Mechanics*, (Princeton Series in Physics), Princeton : Princeton University Press, 1994.
- PENROSE, R., *The Road to Reality: A Complete Guide to the Laws of the Universe*, New York : Alfred A. Knopf, 2005.
- RAU, A.R.P., Quantum Interpretations, *Physics Essays* 19(3) (2006), s. 414–421.
- REDHEAD, M., *Incompleteness, Nonlocality and Realism: A Prologomenon to the Philosophy of Quantum Mechanics*, New York : Clarendon Paperbacks, Oxford University Press, 2002.
- REICH, E.S., *Quantum Theorem Shakes Foundations, The wave function is a real physics object after all, say researchers*, 17 list. 2011, URL :
<http://www.nature.com/news/quantum-theorem-shakes-foundations-1.9392>.
- RUETSCHÉ, L., *Interpreting Quantum Theories*, Oxford : Oxford University Press, 2013.

STARUSZKIEWICZ, A., Nieustępliwość problemu interpretacji mechaniki kwantowej, *Foton* 100 (2008), s. 18–23.

VAN FRAASSEN, B.C., *Quantum Mechanics: An Empiricist View*, Oxford : Oxford University Press, 1991.