

Tomasz Bigaj

Świat kwantowy w ujęciu kontrfaktycznym: odpowiedź Witoldowi Strawińskiemu

Filozofia Nauki 16/1, 101-115

2008

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.

Tomasz Bigaj

Świat kwantowy w ujęciu kontrfaktycznym: odpowiedź Witoldowi Strawińskiemu

1. Witold Strawiński w swojej polemice wysuwa szereg istotnych zarzutów pod adresem proponowanych przeze mnie rozwiązań. Zarzuty te mają różny ciężar gatunkowy i różny stopień ogólności — od szczegółowych uwag krytycznych ujawniających nieścisłości pewnych moich sformułowań po zasadnicze obiekcje dotyczące przyjmowanych w książce założeń metodologicznych. Wszystkie one zasługują na wnikliwą analizę oraz — jeśli to możliwe — na wyczerpującą odpowiedź. Przyśpieszając do próby odpowiedzi na podniesione przez Recenzenta kwestie, chciałbym jednak uprzedzić, że być może nie będę w stanie w każdym wypadku wywiązać się należycie ze stojącego przede mną zadania. Wynika to z faktu, że część uwag polemicznych Recenzenta porusza kwestie wykraczające poza wąską dziedzinę filozofii mechaniki kwantowej, które dotyczą kontrowersyjnych i jak dotąd nierozstrzygniętych zagadnień z filozofii nauki i filozofii języka, takich jak np. spór o status praw nauki czy analiza modalności języka naturalnego. Nie podejmuję się w tak krótkim opracowaniu dokonać zadowalającego rozbioru tych istotnych kwestii, poprzestaną więc na zasygnalizowaniu moich preferencji teoretycznych oraz pewnych (niekonkluzywnych) powodów dokonania takich a nie innych wyborów.

Moją odpowiedź zacznę od fundamentalnej dla całej książki kwestii kontrfaktycznej interpretacji praw mechaniki kwantowej. Witold Strawiński trafnie zauważa, że u podstaw moich (i nie tylko moich — por. internetową recenzję M. Dicksona¹) analiz leży przekonanie, iż opis zależności kwantowo-mechanicznych powinien uwzględniać fakty wyrażane w zdaniach warunkowych zwanych kontrfaktycznymi (*counterfactual conditionals*), które w języku polskim konstruowane są za pomocą

¹ W: *Notre Dame Philosophical Reviews*, 19.07.2007, <http://ndpr.nd.edu/review.cfm?id=10503>.

spójnika „gdyby, to”. Takie podejście Recenzent wiąże ze szczególną interpretacją praw przyrody zwaną przez niego „necesytyzmem”, zgodnie z którą prawa wyrażają „konieczność” zachodzenia zależności odpowiedniego rodzaju. Temu podejściu Strawiński przeciwstawia preferowaną przez siebie koncepcję „regularystyczną”, która interpretuje prawa przyrody jako zdania ogólne „otwarte na przyszłość” (jak rozumiem są to zdania, co do których przyjmuje się, że pozostaną spełnione przez wszystkie pojedyncze przypadki zjawisk zachodzących w przyszłości), o których jednakże nie zakłada się, że stwierdzają zachodzenie konieczności. Recenzent sugeruje, że interpretacja regularnościowa wystarcza do opisu zjawisk kwantowych, z którymi mamy do czynienia np. w układach splątanych, gdyż występujące w nich zależności można z powodzeniem ująć w zwykłe, niemodalne okresy warunkowe o postaci „Jeśli P , to Q ”.

Moje stanowisko w kwestii statusu praw przyrody jest takie, iż dostrzegam ograniczenia koncepcji regularystycznej, które mogą skłaniać do poszukiwania koncepcji alternatywnych. Zasadniczym problemem podejścia regularystycznego jest trudność w efektywnym odróżnieniu rzetelnych praw przyrody od uogólnień przypadkowych (*accidental generalizations*). W literaturze przedmiotu podaje się szereg przykładów ogólnych zdań prawdziwych (lub przynajmniej dobrze potwierdzonych indukcyjnie), które jednakże w powszechnej opinii nie pełnią roli praw przyrody. Jeden z możliwych testów pozwalających na odróżnienie prawa przyrody od przypadkowych uogólnień odwołuje się do pojęcia okresów kontrfaktycznych w następujący sposób: jeśli zdanie „Każde A jest B ” jest prawem przyrody, to okres kontrfaktyczny o postaci „Gdyby przedmiot x był A , to byłby również B ” musi być prawdziwy dla dowolnego przedmiotu x (powiemy, że prawo przyrody „wspiera” dany okres kontrfaktyczny). Natomiast generalizacje przypadkowe nie spełniają warunku wspierania okresów kontrfaktycznych: z tego, że prawdziwe jest zdanie „Każda osoba, która siedziała na określonej ławce w parku była płci męskiej” nie wynika, że gdyby na tej ławce usiadła kobieta, zmieniłaby płeć. Sądzę, że własność wspierania okresów kontrfaktycznych jest niezmiernie ważną cechą praw przyrody, pozwalającą na zastosowanie ich do opisu nie tylko rzeczywistych, ale także możliwych sytuacji.²

W przeciwieństwie do Recenzenta uważam, że okresy kontrfaktyczne, których prawdziwość zagwarantowana jest odpowiednimi prawami przyrody, są niezbędne do wyrażenia pewnych prawidłowości w kontekście mechaniki kwantowej. Fakt ten związany jest z powszechnie znaną cechą opisu kwantowego, jaką jest jego komplementarność. Ujmując sprawę skrótowo, komplementarność polega na wzajemnym wykluczaniu się opisów dokonanych przy pomocy pewnych powiązanych ze sobą wielkości mierzalnych, takich jak pęd i położenie czy różne składowe spinu. Mówiąc nieco precyzyjniej, w mechanice kwantowej twierdzi się, że pewne wielkości mie-

² Takiego stanowiska bronią m.in. K. Lambert i G. Britten w rozdziale „Laws and Conditional Statements” książki *An Introduction to the Philosophy of Science*, Englewood Cliffs 1970, Prentice Hall, s. 37-45.

rzalne („observable”) nie mogą być określone jednocześnie z dowolną dokładnością. W konsekwencji, dokonując np. pomiaru jednej składowej spinu pozbawiamy się możliwości przypisania badanej cząstce wartości spinu w kierunku prostopadłym do wybranej składowej. Nie znaczy to jednak, że mechanika kwantowa nie pozwala nam w ogóle na mówienie o hipotetycznej wartości takiej składowej; problem w tym, że możemy to zrobić tylko w trybie przypuszczającym (kontrfaktycznym). Posłużmy się może przykładem będącym modyfikacją przykładu zależności wyrażalnej przy pomocy implikacji materialnej użytego przez Recenzenta. Niech dane będą elektrony 1 i 2 przygotowane w stanie singletowym, tj. takim, w którym sumaryczny spin w dowolnym kierunku wynosi zero. Ze względu na przyjęte założenie oraz prawo zachowania spinu możemy wnioskować, że jeśli zmierzmy składową x spinu elektronu 1 i otrzymamy w wyniku pomiaru wartość $+a$, to jeśli następnie zmierzmy składową x spinu elektronu 2, to otrzymamy wartość $-a$. Przypuśćmy jednak, że w rzeczywistości dokonano innych wyborów eksperymentalnych: na elektronie 2 zmierzono składową y spinu, natomiast pomiar elektronu 1 pozostał niezmienny. Możemy teraz zapytać, jaką wartość spinu w kierunku x dla elektronu 2 przewiduje nasza teoria. Odpowiedzi na takie pytanie jednak nie sposób poprawnie sformułować w języku zwykłych okresów warunkowych (obojętnie: materialnych czy ścisłych). Musielibyśmy bowiem zapisać następującą implikację: Jeśli pomiar składowej x spinu elektronu 1 dał wynik $+a$, a pomiar składowej y spinu elektronu 2 dał wynik $-a$, to jeśli zmierzono składową x spinu elektronu 2, to wynik był $-a$. Lecz zdania „Pomiar składowej y spinu elektronu 2 dał wynik $-a$ ” i „Zmierzono składową x spinu elektronu 2” wzajemnie się wykluczają na mocy komplementarności, a zatem całe zdanie jako sprowadzalne do implikacji z fałszywym poprzednikiem będzie banalnie prawdziwe niezależnie od treści następnika. Sytuację można uratować, odwołując się do okresu kontrfaktycznego: jeśli pomiar składowej x spinu elektronu 1 dał wynik $+a$, a pomiar składowej y spinu elektronu 2 dał wynik $-a$, to *gdybyśmy* zmierzili składową x spinu elektronu 2 *zamiast* y , to wynik *byłby* $-a$. Ponieważ w logice okresów kontrfaktycznych nie obowiązuje prawo importacji-eksportacji³, unikamy wspomnianej trudności logicznej.

Inną niezmiernie cenną własnością okresów kontrfaktycznych jest możliwość wyrażenia przy ich pomocy warunku lokalności oddziaływań fizycznych. Posłużmy się jeszcze raz powyższym przykładem dwóch elektronów w stanie singletowym, na których dokonano pomiaru tej samej składowej spinu i otrzymano wynik $+a$ dla elektronu 1 oraz przeciwny wynik $-a$ dla elektronu 2. Załóżmy, że oba pomiary spinu zostały wykonane w tak dużej odległości od siebie, że żaden sygnał rozchodzący

³ Prawo importacji-eksportacji dane jest w postaci tautologii rachunku zdań $[P \Rightarrow (Q \Rightarrow R)] \Leftrightarrow [(P \wedge Q) \Rightarrow R]$. Jednakże ani formuła $[P \Box \Rightarrow (Q \Box \Rightarrow R)] \Leftrightarrow [(P \wedge Q) \Box \Rightarrow R]$, ani $[P \Rightarrow (Q \Box \Rightarrow R)] \Leftrightarrow [(P \wedge Q) \Box \Rightarrow R]$ nie są prawami logiki okresów kontrfaktycznych Lewisa. Dzięki temu np. zdanie „Jeśli elektron ma ładunek ujemny, to gdyby miał ładunek dodatni, to odpychałby się z protonem” nie jest równoważne pusto spełnionemu okresowi „Gdyby elektron miał ładunek ujemny i dodatni, to odpychałby się z protonem”.

się z prędkością mniejszą lub równą prędkości światła nie może dotrzeć z miejsca jednego pomiaru do pomiaru drugiego (zdarzenia takie nazywamy „rozdzielonymi przestrzennopodobnie”). W takiej sytuacji możemy, idąc za A. Einsteinem, chcieć wyrazić myśl, że wybór składowej spinu przeznaczonej do pomiaru dla elektronu 1 nie powinien mieć żadnego wpływu na ujawnioną w pomiarze wartość spinu elektronu 2. Myśl tę można ująć w następującym okresie kontrfaktycznym: gdyby wybrano inną składową spinu do pomiaru na elektronie 1, wartość spinu zmierzona na elektronie 2 pozostałaby bez zmian, tj. $-a$. Zauważmy, że użycie implikacji materialnej bądź ścisłej skazane jest w takiej sytuacji na niepowodzenie. Ponieważ implikacja materialna z fałszywym poprzednikiem jest zawsze prawdziwa, zdanie powyższe pozostałoby prawdziwe bez względu na wartość logiczną następnika, co jest oczywiście niedopuszczalne. Z kolei użycie implikacji ścisłej także nie prowadzi do pożądanых rezultatów. Zdanie „Jeśli na elektronie 1 została zmierzona składowa spinu y , to z konieczności rezultat pomiaru spinu x elektronu 2 równa się $-a$ ” nie ma uzasadnienia w żadnej regule mechaniki kwantowej. Z kolei jeśli spróbujemy wprowadzić zdanie stwierdzające *faktycznie uzyskaną* wartość spinu elektronu 2 do poprzednika ścisłej implikacji, otrzymamy logiczną oczywistość „Jeśli na elektronie 1 została zmierzona składowa spinu y , a dla spinu x elektronu 2 uzyskano wynik $-a$, to z konieczności rezultat pomiarowy spinu x elektronu 2 wynosi $-a$ ”. A przecież zasada lokalności nie może mieć statusu banalnego prawa logiki „Jeżeli P i Q , to Q ”!

2. Mam nadzieję, że powyższe dwa argumenty dostarczają wystarczającego uzasadnienia dla podjęcia próby zastosowania logiki okresów kontrfaktycznych do zbadania problemu nielokalności zjawisk kwantowych. Jednakże w tym celu konieczne jest wyprecyzowanie, w jakich okolicznościach mamy prawo uznać zdanie „Gdyby P , to Q ” za prawdziwe. We współczesnej logice jako standard przyjmuje się warunki prawdziwości dla okresów kontrfaktycznych sformułowane przez R. Stalnackera i ulepszone przez D. Lewisa.⁴ Warunki te przedstawia się przy pomocy semantyki światów możliwych, w której na zbiorze światów możliwych określony jest pewien porządek (w formie dwuargumentowej relacji), nieformalnie określanej jako „bliskość” lub też „podobieństwo” do świata rzeczywistego. Okres warunkowy „Gdyby P , to Q ” uznaje się za prawdziwy, gdy zdanie Q jest prawdziwe we wszystkich światach możliwych, w których prawdziwe jest zdanie P i które znajdują się „najbliżej” świata rzeczywistego zgodnie z ustaloną wcześniej relacją porządku. Jak wiadać, kluczową sprawą dla określenia prawdziwości kontrfaktycznych okresów warunkowych jest zdefiniowanie relacji podobieństwa między światami możliwymi w stosunku do świata rzeczywistego. Jedną z proponowanych przez mnie w książce metod porównywania światów możliwych pod względem ich podobieństwa ze

⁴ R. Stalnaker, „A theory of conditionals”, w: N. Rescher (red.), *Studies in Logical Theory*, Oxford 1968, Blackwell; D. Lewis, *Counterfactuals*, Cambridge (Mass.) 1973, Harvard University Press.

światem rzeczywistym opiera się na następującej intuicji. Zakładamy, że dla każdego świata możliwego istnieje pewien najwcześniejszy moment, w którym ów świat zaczyna się różnić od świata rzeczywistego (taki moment nazywam „pierwotnym punktem rozbieżności” — *primary point of divergence*). Intuicyjnie wydaje się uzasadnione, aby za świat bliższy w stosunku do świata rzeczywistego uznać ten z dwóch światów możliwych, którego pierwotny punkt rozbieżności jest zlokalizowany później — taki świat bowiem ma dłuższą historię wspólną ze światem rzeczywistym. Intuicję tę należy jednak zmodyfikować, aby uwzględnić fakt, że zgodnie ze szczególną teorią względności nie istnieje absolutne pojęcie równoczesności. W konsekwencji, możliwe jest istnienie większej liczby pierwotnych punktów rozbieżności, odseparowanych od siebie „przestrzennopodobnie”. W takiej sytuacji z dwóch światów możliwych ten będzie uznany za bliższy w stosunku do świata rzeczywistego, którego suma absolutnych przyszłości (definiowanych jako przyszłe stożki świetlne) dla wszystkich pierwotnych punktów rozbieżności będzie zawarta w sumie absolutnych przyszłości pierwotnych punktów rozbieżności świata drugiego.

Witold Strawiński w swojej recenzji cytuje z aprobatą krytykę powyższej definicji relacji podobieństwa sformułowaną przez Dicksona. Dickson formułuje prosty kontrprzykład, mający ujawnić nieintuicyjność przyjętej przeze mnie precyzacji relacji podobieństwa.⁵ Przykład ten oparty jest na rozróżnieniu między „niewielkimi” (*minuscule*) i „znacznymi” (*vast*) odstępstwami od sytuacji, jaka zachodzi w świecie rzeczywistym. Moja definicja podobieństwa jest niewrażliwa na to, co zachodzi w stożku świetlnym danego punktu rozbieżności — liczy się tylko rozmiar łącznego obszaru absolutnej przyszłości pierwotnych punktów rozbieżności. Intuicyjnie jednak chcielibyśmy móc porównać światy możliwe także pod względem „jakościowego” podobieństwa wewnątrz stożków świetlnych pierwotnych punktów rozbieżności. Światy z identycznie zlokalizowanymi pierwotnymi punktami rozbieżności mogą się bardzo różnić od siebie w kwestii „podobieństwa” do świata rzeczywistego — w jednym świecie odstępstwa mogą być minimalne, niezauważalne gołym okiem, podczas gdy w innych przyszłość może wyglądać zupełnie inaczej („efekt kuli śnieżnej” w terminologii Dicksona). Strawiński uogólnia krytykę Dicksona, twierdząc, że „relacje podobieństwa [...] mają całkowicie nieempiryczny charakter i mogą być dosyć arbitralnie konstruowane w rozmaity sposób, prowadząc do rozbieżnych ocen wartości logicznej zdań modalnych”. I dodaje, że „nie wiadomo, na jakiej podstawie mielibyśmy dokonać [...] wyboru [między alternatywnymi podejściami do relacji podobieństwa]”.

Należy zgodzić się z Recenzentem, że fakt nieempiryczności relacji podobieństwa nie ulega wątpliwości, podobnie jak kwestia niejednoznaczności wyboru właściwej relacji podobieństwa. Jednakże nie można zaakceptować sugestii, iż wybór odpowiedniej relacji jest sprawą arbitralną, niepoddającą się racjonalnej ocenie. Pozwolę sobie w tym miejscu zacytować Lewisa, który przestrzega przed bezkrytycz-

⁵ M. Dickson, *op. cit.*

nym stosowaniem intuicyjnego pojmowania „podobieństwa” przy definiowaniu odpowiedniej relacji między światami możliwymi. Lewis pisze: „musimy wykorzystać to, co wiemy na temat prawdziwości i fałszywości okresów kontrfaktycznych, by stwierdzić, czy można znaleźć pewnego rodzaju relację podobieństwa — niekoniecznie pierwszą, która przychodzi na myśl — która [...] daje właściwe warunki prawdziwości. [...] Poszukując kombinacji, która przejdzie pomyślnie test, musimy wykorzystać to, co wiemy na temat okresów kontrfaktycznych w celu znalezienia odpowiedniej relacji podobieństwa — a nie na odwrót”.⁶ Jak widać z powyższych fragmentów, Lewis uważa, że możliwe jest dokonanie racjonalnego wyboru odpowiedniej relacji porównującej światy możliwe, ale zasadniczym kryterium takiego wyboru powinna być nie zgodność owej relacji z abstrakcyjną ideą podobieństwa, a raczej to, czy zinterpretowane przy pomocy tej relacji okresy kontrfaktyczne będą miały oczekiwaną przez nas wartość logiczną. Chodzi tu oczywiście o przypadki niebudzące wątpliwości. W sytuacji, kiedy intuicja językowa nie pozwala nam na jednoznaczną ocenę wartości danego okresu kontrfaktycznego, nasza teoria logiczna może (choć nie musi — por. moje uwagi poniżej) dokonać arbitralnego wyboru jednej z dwóch wartości.

Wróćmy jeszcze na moment do kontrprzykładu sformułowanego przez Dicksona. Dickson odwołuje się w nim do intuicyjnego rozumienia relacji podobieństwa „jakościowego”: jeżeli pewien świat w „ogólnych zarysach” nie odbiega od świata rzeczywistego, a inny świat zawiera radykalnie odmienne zdarzenia, jesteśmy skłonni uznać ten pierwszy za bliższy rzeczywistości. Jednakże takie rozumienie relacji podobieństwa prowadzi do wartościowań jawnie niezgodnych z naszymi intuicjami. Można to zilustrować znanym z literatury przykładem „nuklearnej zagłady”.⁷ Rozważmy hipotetyczną sytuację, w której prezydent Nixon zdecydował się na rozpoczęcie konfliktu nuklearnego ze Związkiem Radzieckim i w tym celu postanowił przycisnąć guzik uruchamiający wyrzutnie międzykontynentalnych rakiet balistycznych. W ostatniej chwili Nixon został powstrzymany przez swoich doradców; gdyby jednak przycisnął guzik, nastąpiłaby nuklearna zagłada całego świata. Kwestia prawdziwości powyższego okresu warunkowego wydaje się bezdyskusyjna — jeśli jakaś teoria okresów kontrfaktycznych twierdzi inaczej, należy ją odrzucić. Porównajmy jednak ze sobą dwa następujące światy możliwe, w których Nixon przycisnął guzik. W jednym z nich system inicjujący wystrzelenie rakiet zadziałał bez zarzutu, w konsekwencji nastąpił atak nuklearny oraz następujące po nim uderzenie odwetowe. Świat w postaci, w jakiej go znamy, przestał istnieć. W drugim natomiast świecie urządzenie odpalające rakiety nie zadziałało właściwie (nastąpiła chwilowa awaria).

⁶ D. Lewis, „Counterfactual dependence and time’s arrow”, w: tegoż, *Philosophical Papers, Vol. II*, Oxford 1986, Oxford University Press, s. 43.

⁷ Przykład ten został sformułowany przez K. Fine’a w jego recenzji książki Lewisa *Counterfactuals* zamieszczonej w *Mind* 84 (1975), s. 451-458. Obszerna analiza tego przykładu podana jest w D. Lewis, „Counterfactual dependence and time’s arrow”, *op. cit.*, s. 43-48. Por. także moją książkę, s. 86.

W rezultacie nie doszło do konfliktu nuklearnego, a historia świata potoczyła się w przybliżeniu tak, jak w świecie rzeczywistym. Gdybyśmy opierali nasz sąd na temat podobieństwa na intuicyjnym kryterium sugerowanym przez Dicksona, należałoby uznać, że drugi świat jest dużo bliższy światu rzeczywistemu niż pierwszy. Zauważmy jednak, że znaczy to, iż rozważany powyżej okres kontrfaktyczny jest fałszywy, a za prawdę należy uznać zdanie „Gdyby Nixon przycisnął guzik, nastąpiłaby awaria wyrzutni rakiet”. Takie rozwiązanie jawnie nie spełnia warunku zachowywania niebudzących wątpliwości intuicji dotyczących wartości logicznych wybranych okresów warunkowych.

Aby uniknąć podobnych kłopotów z oceną niektórych okresów kontrfaktycznych, Lewis zaproponował własne złożone kryterium oceny relatywnego podobieństwa światów możliwych, oparte na porównywaniu obszarów idealnej zgodności jednostkowych faktów oraz na porównywaniu zgodności ze względu na obowiązujące prawa przyrody. Nie będę obecnie omawiał szczegółowo Lewisowskiego kryterium, odsyłając czytelnika do mojej książki, gdzie poddaję je krytycznej analizie, pokazując, że prowadzi ono do niewłaściwych wartościowań dla okresów kontrfaktycznych opisujących korelacje między przestrzenno-podobnie odseparowanymi od siebie rezultatami pomiarów w układach splątanych.⁸ (*Nota bene* — po raz kolejny widzimy, że decyzja dotycząca akceptacji lub odrzucenia odpowiedniej relacji podobieństwa może być jednak oparta na całkiem solidnych podstawach, wbrew obawom Recenzenta.) Chciałbym jedynie zwrócić uwagę na fakt, że Lewis podkreśla, iż przybliżone podobieństwo (*approximate similarity*) między jednostkowymi faktami nie ma zasadniczo żadnego znaczenia dla oceny podobieństwa między światami możliwymi; liczy się tylko wielkość obszaru, na którym zachodzi idealna zgodność (*perfect match*). Ta intuicja została zachowana w moim podejściu — obszar czasoprzestrzeni poza przyszłymi stożkami świetlnymi pierwotnych punktów rozbieżności to właśnie obszar idealnej zgodności danego świata możliwego ze światem rzeczywistym, a więc — jak łatwo zauważyć — moje kryterium oparte jest na zasadzie maksymalizacji owego obszaru idealnej zgodności.

Podkreślmy jednakże jeszcze raz, że kryterium zgodności z intuicyjnymi ocenami okresów kontrfaktycznych nie zawsze wystarcza do jednoznacznego ustalenia relacji podobieństwa. Z taką właśnie sytuacją mamy do czynienia w kontekście mechaniki kwantowej. W mojej książce pokazuję, że istnieje ujęcie semantyki kwantowych okresów kontrfaktycznych alternatywne w stosunku do podejścia danego wyżej scharakteryzowaną relacją podobieństwa. To ujęcie alternatywne opiera się na zasadzie, iż przy ocenie prawdziwości zdania kontrfaktycznego „Gdyby zaszło zdarzenie punktowe E , to by...” należy wziąć pod uwagę wszystkie światy możliwe, dla których obszar idealnej zgodności ze światem rzeczywistym ograniczony jest do wnętrza *przeszłego* stożka świetlnego zdarzenia E . Zasadnicza różnica między tym podejściem (określanym przeze mnie jako C2) a podejściem poprzednim (C1) polega

⁸ Paragraf 2.3.2 „Similarity ranking and the EPR correlations”, s. 93-96.

na odmiennym traktowaniu zdarzeń odseparowanych przestrzenno-podobnie od kontrfaktycznego zdarzenia E . Weźmy bowiem pod uwagę takie właśnie *rzeczywiste* zdarzenie F , o którym dodatkowo zakładamy, że jest całkowicie indeterministyczne, tj. niezwiązane kauzalnie lub nomologicznie ze zdarzeniami ze swojej absolutnej przeszłości. Jeśli teraz rozpatrzmy okres warunkowy „Gdyby zaszło E , to nadal zaszłoby F ”, to widzimy, że jego ocena wypadnie odmiennie w obu podejściach. Zgodnie z (C1) zdanie to należy uznać za prawdziwe, gdyż wartość następnika oceniamy we wszystkich światach możliwych, których obszar idealnej zgodności obejmuje całą czasoprzestrzeń poza przyszłym stożkiem świetlnym zdarzenia E , a zatem w tych światach zachodzenie F jest zagwarantowane. Jednakże zastosowanie semantyki (C2) daje odmienny rezultat. Ponieważ mamy teraz rozpatrzeć szerszą kategorię światów możliwych, których obszar idealnej zgodności ograniczony jest do wnętrza przeszłego stożka świetlnego zdarzenia E , niektóre z nich nie będą zawierać zdarzenia F (założenie indeterminizmu!), a zatem nie jest prawdą, że następnik „nadal zaszłoby F ” jest prawdziwy we *wszystkich* najbliższych światach możliwych. Zatem okres warunkowy należy uznać za fałszywy.

Mimo tej rozbieżności trudno wskazać, który z dwóch warunków prawdziwości (C1) i (C2) powinien być preferowany. Jest tak dlatego, że nasze intuicje w kwestii oceny wartości rozważanego okresu kontrfaktycznego nie są jednoznaczne. Niektórzy (np. H. Stapp) twierdzą, że sprawa jego prawdziwości jest rzeczą oczywistą. Inni (M. Redhead) utrzymują, że ta ocena jest mylna. Uważam, że dopóki nie zostaną wskazane mocne argumenty na rzecz jednego z dwóch rozstrzygnięć, należy rozwijać oba alternatywne podejścia do kwantowych okresów kontrfaktycznych. Nie zgadzam się przy tym z Recenzentem, że niemożność dokonania „prawomocnego” rozstrzygnięcia między (C1) a (C2) należy w perspektywie „zewnętrznej” oceniać jednoznacznie negatywnie. Przeciwnie — sądzę, że byłoby niewskazane podejmowanie próby rozstrzygnięcia, które arbitralnie ustalałoby wartości logiczne zdań, co do których istnieje zasadnicza rozbieżność intuicji językowych. W tym miejscu chciałbym ujawnić jedną z moich metafizycznych preferencji, której niestety nie potrafię głębiej uzasadnić. Jestem mianowicie głęboko sceptyczny co do wartości tzw. analiz logicznych, których głównym celem jest usunięcie nieostrości czy też wieloznaczności wyrażen języka naturalnego „za wszelką cenę”. Klasycznym przykładem takich analiz jest interpretacja okresów warunkowych języka naturalnego za pomocą spójnika implikacji materialnej definiowanego metodą zerowo-jedynkową. Podzielałam zdanie wielu krytyków, że interpretacja ta ujmowana jako semantyczna analiza wyrażenia „jeżeli, to” języka naturalnego jest bezwartościowa, wobec jej jaskrawej niezgodności z ocenami kompetentnych użytkowników języka (oczywiście w pewnych szczególnych kontekstach, takich jak ocena poprawności formalnej argumentów, analiza ta oddaje niewątpliwe usługi).⁹ Ujmując sprawę szerzej, sądzę że jest do-

⁹ Jedną z najnowszych godnych polecenia pozycji omawiających to zagadnienie to książka J. Bennetta *A Philosophical Guide to Conditionals*, Oxford 2003, Clarendon Press.

puszczalne, a nawet wskazane, aby logiczne interpretacje języka naturalnego zachowywały jego nieostrość, nawet kosztem pozostawienia pewnych kwestii zasadniczo nierozstrzygniętych.

Oczywiście należy zgodzić się, że wieloznaczność może prowadzić do niepożądanych konsekwencji, takich jak np. ekwiwokacja. Przykładem niezauważonego błędu ekwiwokacji jest polemika między filozofami stosującymi *implicite* odmienne semantyki (C1) i (C2), dotycząca właściwego sformułowania kontrfaktycznego warunku lokalności. Jak pokazuję w swojej książce, warunek lokalności sformułowany przy pomocy okresów kontrfaktycznych, których prawdziwość dana jest przez semantykę (C1), przestaje być poprawny, gdy przyjmiemy interpretację (C2). W takiej sytuacji należy zmodyfikować warunek lokalności, aby uwzględnić „przesunięcie semantyczne” od (C1) do (C2). Aby uniknąć podobnych nieporozumień, sformułowałem prosty, lecz zarazem uniwersalny warunek lokalności (SLOC), który jest niezależny od przyjętej metody ewaluacji okresów kontrfaktycznych, gdyż nie zawiera zdań warunkowych „Gdyby P , to Q ”, lecz dany jest w języku światów możliwych. Recenzent jednakże wytyka mi, że w różnych miejscach książki posługuję się nieco odmiennymi sformułowaniami tego warunku. Pomijając różnice stylistyczne, które — mam nadzieję — nie wpływają znacząco na sens formułowanego kryterium lokalności (mam tu na myśli przede wszystkim zamienne użycie wyrażen „*is identical with*” i „*is exactly the same as*”), różnice, które ma na myśli Recenzent, dotyczą zapewne użycia w jednym sformułowaniu ogólnego terminu „zdarzenie”, a w drugim szczegółowszego „zdarzenie punktowe” oraz wykorzystania w jednym ze sformułowań zmiennej P przebiegającej zbiór zdarzeń, podczas gdy w całej książce litery P , Q są traktowane jako zmienne zdaniowe. Ta ostatnia kwestia wiąże się zresztą luźno z innym zarzutem Recenzenta o niefrasobliwe traktowanie przeze mnie relacji między zdaniem i ich odpowiednikami semantycznymi, do którego chciałbym wrócić pod koniec niniejszego szkicu. W każdym razie przyznaję, że powinienem stosować konsekwentną symbolikę umożliwiającą szybkie odróżnienie, czy w danym kontekście mówię o zdarzeniach, czy o zdaniach. Jeśli chodzi o założenie punktowości zdażeń, o których mowa w sformułowaniu (SLOC), to ograniczenie to wynika z faktu, że trudno jest zdefiniować stożki świetlne dla zdarzeń o lokalizacji rozciągłej (stąd też w jednym ze sformułowań punktowość była założona *implicite*, jako że w przeciwnym razie warunek nie miałby jasno określonego sensu). Oczywiście zdają sobie sprawę z idealizacyjnego charakteru owego założenia — w rzeczywistości zarówno pomiary, jak i uzyskane rezultaty pomiarowe (rozumiane zwykle jako zmiana położenia wskaźników makroskopowych urządzeń rejestrujących) są rozciągle w czasie i przestrzeni. Zwykle jednak rozmiary tych zdarzeń są niewielkie w porównaniu z odległościami pomiędzy poszczególnymi zdarzeniami, zatem taka idealizacja wydaje się uzasadniona.

Warunek lokalności (SLOC) narażony jest na jeszcze inny zarzut, o którym wspomina Dickson w swojej internetowej recenzji. Chodzi o to, że możliwe jest istnienie sytuacji, w których (SLOC) jest spełniony, a jednak mamy do czynienia

z pewnego rodzaju oddziaływaniem nielokalnym. Jest tak wtedy, gdy pojawienie się zdarzenia E wpływa na prawdopodobieństwo zajścia pewnego zdarzenia odseparowanego od E przestrzenno-podobnie. W takiej sytuacji może być prawdą, że istnieje możliwy świat, w którym zachodzi E i który zawiera wszystkie i tylko rzeczywiste zdarzenia w obszarze poza przyszłym stożkiem świetlnym E , a zatem warunek (SLOC) nie jest naruszony, mimo istnienia nielokalnych korelacji probabilistycznych. Ujmując sprawę krótko, można powiedzieć, że spełnienie warunku (SLOC) gwarantuje, iż nie będą zachodzić *deterministyczne* oddziaływania nielokalne, natomiast nie wyklucza ono istnienia oddziaływań *probabilistycznych*. Jedno z możliwych rozwiązań tego problemu zostało zasygnalizowane przeze mnie skrótowo na s. 270 w przypisie 2. Polega ono na włączeniu do opisu światów możliwych „faktów probabilistycznych”, tj. faktów posiadania przez poszczególne zdarzenia odpowiedniej wartości prawdopodobieństwa. Rozwiązanie to ma pewne wady, takie jak np. konieczność przyjęcia obiektywnej interpretacji funkcji prawdopodobieństwa. Między innymi z tego powodu nie jestem z niego całkowicie zadowolony i obecnie poszukuję innych metod uwzględnienia oddziaływań probabilistycznych w sformułowaniu warunku lokalności. W każdym razie spełnienie warunku (SLOC) jest nadal warunkiem koniecznym, choć niewystarczającym, do uznania lokalności danej zależności fizycznej. Zatem można wykorzystywać argumenty za naruszeniem (SLOC) w celu pokazania — jak czyni to Stapp — że zjawiska kwantowe są zasadniczo nielokalne.

3. Obecnie przejdę do szczegółowego zarzutu dotyczącego proponowanej przeze mnie definicji zdarzeń „swobodnych” (*free-choice events*) oraz związanych z nim dwóch kwestii ogólnych: relacji między zdaniem i zdarzeniami oraz problemu wartości logicznej poprzedników kontrfaktycznych okresów warunkowych. Dickson wysuwa następującą obiekcję: sformułowana na s. 188 definicja zdarzenia swobodnego spełniona jest przez wszystkie zdarzenia zachodzące w świecie rzeczywistym. Jest bowiem oczywiste, że dla każdego zdarzenia rzeczywistego istnieje świat możliwy, w którym to zdarzenie zachodzi, i który jest identyczny ze światem rzeczywistym wszędzie poza przyszłym stożkiem świetlnym owego zdarzenia — jest to po prostu sam świat rzeczywisty. Jednakże intencją wprowadzenia omawianej definicji było wyróżnienie pewnej szczególnej klasy zdarzeń — mianowicie takich, które nie są nomologicznie ani w inny konieczny sposób związane z obszarem poza ich absolutną przyszłością. Innymi słowy, chodzi tu o zdarzenia, które ani nie są zdeterminowane przez swoją absolutną przeszłość (zdarzenia indeterministyczne), ani też nie wchodzą w żadne nielocalne oddziaływania przyczynowe. Zatem, jeśli krytyka Dicksona jest trafna, wspomniana definicja jawnie nie spełnia swojego zadania.

Mój krytyk oczywiście ma rację — w podanej postaci moja definicja jest spełniona przez wszystkie zdarzenia rzeczywiste. Jednakże sądzę, że wadę tę można stonkowo łatwo usunąć. Należy w tym celu dokonać rozróżnienia na zdarzenia rzeczywiste i zdarzenia *tylko* możliwe (tj. takie, które nie zachodzą w świecie rzeczywistym).

stym). W wypadku zdarzeń tylko możliwych definicja zdarzenia swobodnego pozostaje bez zmian, natomiast dla zdarzeń rzeczywistych należy zaznaczyć, iż chodzi nam o światy możliwe, w których owo zdarzenie *nie zachodzi*. Łącznie, poprawiona definicja zdarzeń swobodnych powinna przyjąć postać następujących dwóch definicji cząstkowych:

- (1) Jeżeli E jest zdarzeniem tylko możliwym, to E jest swobodne ztw, gdy istnieje możliwy świat, w którym zachodzi E i który jest identyczny ze światem rzeczywistym wszędzie poza przyszłym stożkiem świetlnym zdarzenia E
- (2) Jeżeli E jest zdarzeniem rzeczywistym, to E jest swobodne ztw, gdy istnieje możliwy świat, w którym E nie zachodzi i który jest identyczny ze światem rzeczywistym wszędzie poza przyszłym stożkiem świetlnym zdarzenia E

Ponieważ podział na zdarzenia rzeczywiste i tylko możliwe jest rozłączny i wyczerpujący¹⁰, powyższe dwie definicje określają sens terminu „zdarzenie swobodne” w sposób kompletny. Mój błąd, za który oczywiście biorę pełną odpowiedzialność, wziął się z milczącego założenia, że rozpatrujemy wyłącznie zdarzenia, które nie zachodzą w świecie rzeczywistym.

Powyższy problem wiąże się z kwestią o charakterze bardziej ogólnym: czy wypowiadając hipotetyczne zdanie „Gdyby P , to Q ”, zawsze zakładamy, iż P jest zdaniem fałszywym w świecie rzeczywistym? Pytanie to można przeformułować w postaci semantycznej: czy warunki prawdziwości okresu warunkowego „Gdyby P , to Q ” powinny zawierać warunek fałszywości P w świecie rzeczywistym? Lewis odpowiada na to pytanie negatywnie: jego warunek prawdziwości dla kontrfaktycznych okresów warunkowych dopuszcza sytuację, w której poprzednik prawdziwego okresu jest prawdziwy. Jak pamiętamy, prawdziwość okresu kontrfaktycznego jest zależna od sytuacji w najbliższym świecie możliwym, w którym prawdziwy jest poprzednik, a to nie wyklucza, że tym światem będzie sam świat rzeczywisty. Takie rozwiązanie, jak przyznaje sam Lewis, może być z różnych powodów kwestionowane. Obecnie jednak nie będę omawiał tego złożonego problemu, tym bardziej że Strawiński — jak się wydaje — akceptuje przejęte od Lewisa rozstrzygnięcie. Jednakże Recenzent czyni mi zarzut, że nie dość starannie określam w danym kontekście, czy poprzednik rozważanego okresu kontrfaktycznego interpretuję jako prawdziwy czy fałszywy w świecie rzeczywistym. Recenzent sugeruje, abym za każdym razem, kiedy rozważam dany okres kontrfaktyczny $P \square \rightarrow Q$, poprzedzał go jawnym założeniem dotyczącym wartości logicznej zdań P i Q . Recenzent chyba nie zauważył, że w kontekstach, w których takie założenie jest istotne, postępuję właśnie zgodnie z przedstawioną sugestią. Na przykład formułując warunek lokalności (L2), na s. 230

¹⁰ Ktoś może zapytać: a co ze zdarzeniami niemożliwymi, tj. takimi, które nie zachodzą w żadnym świecie możliwym? Moja odpowiedź jest krótka: takie zdarzenia po prostu nie istnieją.

stwierdzam wyraźnie, że jeśli zdanie P jest fałszywe w świecie rzeczywistym, a Q jest prawdziwe, to przy założeniu, że oba zdania stwierdzają zachodzenie zdarzeń odseparowanych przestrzenno-podobnie, okres kontrfaktyczny „Gdyby P , to Q ” nie jest prawdziwy (symbolicznie: $(\sim P \wedge Q) \Rightarrow \sim(P \Box \rightarrow Q)$). W tej sytuacji nie ma wątpliwości, że poprzednik okresu $P \Box \rightarrow Q$ jest z założenia fałszywy.

W innych miejscach jednakże takiego założenia *explicite* nie czynię. Są to sytuacje, w których założenie dotyczące wartości logicznej poprzednika nie powinno mieć wpływu na rozważany okres warunkowy. Na przykład w sformułowaniu warunku lokalności (L1) na s. 226 stwierdzam jedynie, że jeśli zdanie Q jest prawdziwe, to okres kontrfaktyczny „Gdyby P , to Q ” jest prawdziwy dla dowolnego P , oczywiście nadal przy założeniu, że P i Q odnoszą się do przestrzenno-podobnie odseparowanych zdarzeń. (Symbolicznie wyrażamy to przez formułę $Q \Rightarrow (P \Box \rightarrow Q)$.) Powód takiego postępowania jest prozaiczny: niezależnie od tego, czy P jest prawdziwe czy fałszywe w świecie rzeczywistym, okres kontrfaktyczny $P \Box \rightarrow Q$ pozostaje prawdziwy, jeśli tylko lokalność jest zachowana. W sytuacji, gdy P jest prawdziwe, prawdziwość zdania $P \Box \rightarrow Q$ wynika wprost z faktu, że Q jest prawdziwe w świecie rzeczywistym. Gdy natomiast P jest fałszywe, zdanie $P \Box \rightarrow Q$ wynika z tego, że lokalne oddziaływania nie mogą zmienić wartości logicznej prawdziwego zdania Q opisującego zdarzenie odseparowane przestrzenno-podobnie. Mógłbym oczywiście moją formułę zastąpić logicznie równoważną koniunkcją: $[(P \wedge Q) \Rightarrow (P \Box \rightarrow Q)] \wedge [(\sim P \wedge Q) \Rightarrow (P \Box \rightarrow Q)]$, ale wtedy cały warunek stałby się mniej czytelny. Wydaje mi się, że mój błąd w definicji zdarzeń swobodnych jest jedynym wypadkiem, w którym — mówiąc swobodnie — niesformułowanie *explicite* warunku dotyczącego prawdziwości bądź fałszywości „poprzednika” w świecie rzeczywistym doprowadziło do niefortunnych konsekwencji. W każdym razie Recenzent nie wskazuje *expressis verbis* innych takich wypadków, zatem korzystając z — by tak rzec — domniemania niewinności, zakładam, że moje „pójście na skróty” nie miało dalszych negatywnych następstw.

Język teorii logicznej, którym posługuję się w książce, jako jedyne zmienne stosuje zmienne zdaniowe. Natomiast fizyczna teoria, jaką jest mechanika kwantowa, wygłasza twierdzenia m.in. o zdarzeniach, takich jak pomiary czy uzyskane rezultaty pomiarowe. Stąd też należy podjąć decyzję, jak skorelować ze sobą te dwa sposoby opisu. Zdecydowałem się odwołać do pewnej relacji semantycznej, którą określam w tekście przy użyciu terminów „denotowanie” (*denoting*) lub też „opisywanie” (*describing*), zakładając, że zachodzi ona między niektórymi zdaniami a „odpowiadającymi” im zdarzeniami. Ta decyzja nie spotkała się z uznaniem Recenzenta. Píše on: „wymienne traktowanie przez Bigaję w różnych miejscach książki zdań i odpowiadających im (w jaki sposób?) zdarzeń budzi pod względem formalnym dość daleko idące wątpliwości”. Recenzent zadaje również pytanie, czy nie „przemycam” ontologiczno-semantycznej tezy o korelatach semantycznych zdań i niefregeowskim charakterze logiki. Z krytyką spotkała się także moja praktyka mówienia o E -światach, gdzie zmienna E przebiega zbiór zdarzeń, a nie zdań, jak to jest zwykle czynione.

Zasygnalizowany problem zapewne by nie powstał, gdybym zdecydował się na następujące rozwiązanie. Zamiast mówić o zdaniach „denotujących” („opisujących”) określone zdarzenia (np. w sformułowaniu warunków lokalności — por. wyżej), powinienem był ograniczyć się do zdań stwierdzających *explicite* zachodzenie owych zdarzeń. Na przykład poprawiony warunek lokalności (L1) miałby w takim ujęciu następującą postać: Dla każdych dwóch przestrzenno-podobnie odseparowanych zdarzeń E, F , prawdziwe jest zdanie $Z(E) \Rightarrow [Z(F) \square \rightarrow Z(E)]$, gdzie „ $Z(X)$ ” znaczy „Zachodzi X ”. Nie zdecydowałem się na takie ujęcie (teraz jestem skłonny uznać to za błąd), gdyż uznałem, że zawęzałoby ono moją analizę do zdań szczególnego typu. A przecież w języku naturalnym istnieje wiele sposobów na wyrażenie tego samego faktu: możemy powiedzieć, że zaszło zdarzenie pomiaru spinu, ale równie dobrze możemy stwierdzić, że spin został zmierzony. Oba zdania można traktować jako w pewnym sensie równoważne, choć tylko jedno z nich jawnie czyni odniesienie do pewnego zdarzenia. W takim wypadku nieformalnie powiedziałbym, że to drugie zdanie („Spin został zmierzony”) również „opisuje” pewne zdarzenie, choć się do niego jawnie nie odnosi. Zatem — naciskany przez Recenzenta — podałbym następującą charakterystykę mojej relacji „opisywania”: zdanie P opisuje (*resp.* denotuje) zdarzenie E , gdy P jest synonimem (lub zdaniem bliskoznacznym w stosunku do) zdania „ E zachodzi”.

W każdym razie pragnę podkreślić, że nie było moją intencją przyjęcie ani tym bardziej obrona jakiegokolwiek ogólnej tezy semantycznej dotyczącej korelatów zdań. Nie twierdzą, że każde zdanie opisuje jakiś stan rzeczy ani tym bardziej jakiegoś *zdarzenie* (to ostatnie jest zresztą w oczywisty sposób fałszywe: np. zdanie „Każdy pojazd benzynowy użytkowany w Polsce musi zostać zarejestrowany” nie wyróżnia żadnego jednostkowego zdarzenia, a co najwyżej stwierdza pewien ogólny fakt). Nie widzę dlaczego moje oryginalne sformułowania, jakkolwiek niefortunnie brzmiące, miałyby wymagać przyjęcia takiego założenia. Mam wrażenie, że moja analiza problemu nielokalności jest neutralna względem takich rozstrzygnięć i taka powinna pozostać. Jeśli natomiast chodzi o problem E -światów, to można w podobny jak powyżej sposób potraktować taki zapis jako skrót dla wyrażenia „ $Z(E)$ -świat”, które oczywiście odnosi się do wszystkich światów, w których prawdziwe jest zdanie „Zachodzi E ”.

4. W podsumowaniu swojej recenzji Strawiński zauważa, że w książce brak jest jednej, centralnej tezy, której uzasadnienie byłoby głównym wynikiem moich badań. Recenzent sugeruje nawet, że teza taka mogłaby przyjąć postać rozstrzygnięcia, czy spór o nielokalność mechaniki kwantowej to sprawa faktów, czy problem pojęciowy. Niestety nie podejmuję się udzielić odpowiedzi na tak postawione pytanie. Mam bowiem zasadnicze wątpliwości, czy w nauce istnieje ostra granica między problemami pojęciowymi (analitycznymi?) a faktualnymi (syntetycznymi?). W świetle argumentów sformułowanych już przez W. V. Quine’a i rozwiniętych przez późniejszych badaczy, założenie to wydaje się nieuprawnione. Natomiast zgadzam się, że książka

zyskałaby znacznie, gdyby broniona w niej była jakaś jedna kluczowa teza, np. stwierdzająca kategorycznie, że możliwy jest opis zjawisk kwantowych nieodwołujący się do oddziaływań nielokalnych. W kwestii nielokalności zjawisk kwantowych moja książka w zasadzie potwierdza to, na co zgadza się większość komentatorów: w świecie kwantowym obserwujemy złamanie lokalności w postaci warunku niezależności rezultatów pomiarowych (*outcome-independence*), natomiast nie ma rozstrzygających argumentów, że w przyrodzie występuje mocniejsza nielokalność, rozumiana jako pogwałcenie niezależności parametrów (*parameter-independence*). Mam jednak nadzieję, że szereg rezultatów cząstkowych, o których wspomina Recenzent, może w przyszłości złożyć się na pewną spójną filozoficzną interpretację mechaniki kwantowej, która podejmie na nowo próbę odpowiedzi na nurtujące filozofów i fizyków pytania.

Chciałbym jeszcze zwrócić uwagę na dwie drobne nieścisłości, jakie znalazłem w polemice Strawińskiego. W jednym miejscu Recenzent — jak się wydaje — utożsamia relację podobieństwa (*similarity relation*) z relacją dostępności (*accessibility relation*). Są to jednakże dwie różne relacje na zbiorze światów możliwych. Relacja dostępności występuje w możliwościowej semantyce dla standardowych logik modalnych i łączy świat rzeczywisty z tymi światami możliwymi, przy pomocy których oceniane są wartości zdań „Jest konieczne, że P ” i „Jest możliwe, że P ”. Natomiast relacja podobieństwa, zachodząca między różnymi światami możliwymi i porównująca je w stosunku do świata rzeczywistego, występuje tylko w semantyce okresów kontrfaktycznych. Lewis zakłada, że wszystkie światy możliwe, dla których określona jest relacja podobieństwa, są dostępne ze świata rzeczywistego (tworzą tzw. sferę dostępności). Druga sprawa dotyczy komentarza do moich dwóch kontrfaktycznych interpretacji własności kwantowych. Recenzent stwierdza, że mowa w nich o „kontrfaktycznym przysługiwaniu własności obiektom kwantowym”. Jest to jednak pewne uproszczenie, które może prowadzić do nieporozumień. W rzeczywistości to nie *własności* przysługują kontrfaktycznie, a raczej posiadanie własności jest interpretowane przy pomocy *kontrfaktycznych pomiarów* i ich rezultatów. Powiemy, że dany obiekt kwantowy posiada (rzeczywiście, a nie kontrfaktycznie) własność określoną liczbową wartością a parametru A , zawsze i tylko wtedy, gdyby został wykonany pomiar A (którego w rzeczywistości nie musimy wykonać) jego rezultat byłby równy a . Osobną kwestią, na której omówienie nie mam obecnie miejsca, jest pytanie o ontyczny status tak zinterpretowanych własności. Ze względu na narzucające się podobieństwo z definicjami tzw. własności dyspozycyjnych (np. kruchość x -a można zdefiniować przy pomocy okresu „Gdyby x został upuszczony, rozbiłby się”) można uważać, że własności kwantowe mają charakter dyspozycyjny, nie kategoryczny.

Pragnę na koniec podziękować Recenzentowi za niezwykle wnikliwą analizę mojej pracy. Cenne uwagi krytyczne uświadomiły mi istnienie wielu niedociągnięć i błędów, z których część starałem się naprawić w niniejszym eseju, a te, które zostały nierozwiązane, stanowią dla mnie wyzwanie w moich przyszłych bada-

niach. Jestem również głęboko wdzięczny za to, że dzięki pracy Recenzenta polski czytelnik otrzymał znakomite omówienie mojej książki, z którego może dowiedzieć się o stanie aktualnych badań w dziedzinie kontrfaktycznych interpretacji mechaniki kwantowej.