

# Tomasz Bigaj

---

## O kwantowej nielokalności i światach możliwych : uwagi polemiczne

---

Filozofia Nauki 16/1, 83-99

---

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](http://bazhum.muzhp.pl), gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach  
dozwolonego użytku.

Witold Strawiński

## O kwantowej nielokalności i światach możliwych: uwagi polemiczne

W 2006 r. ukazała się w języku angielskim licząca 294 strony druku książka pt. *Non-locality and Possible Worlds. A Counterfactual Perspective on Quantum Entanglement* („Nielokalność i światy możliwe. Kwantowe splątanie w perspektywie kontrfaktycznej”).<sup>1</sup> Książka ta opublikowana została przez niemieckie wydawnictwo o międzynarodowym zasięgu działalności *Ontos Verlag*, jako 10 tom serii wydawniczej *Epistemische Studien. Schriften zur Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie*. Jej autorem jest Tomasz F. Bigaj, od wielu lat pracujący w Zakładzie Filozofii Nauki w Instytucie Filozofii Uniwersytetu Warszawskiego.

Wybrany przez Bigaję temat dotyczy wątpliwości interpretacyjnych związanych z mechaniką kwantową (QM).<sup>2</sup> Jest to temat ważny (dotyczy podstaw fizyki) i aktualny (kwestie te są nadal intensywnie badane na świecie).

Spory interpretacyjne związane z mechaniką kwantową towarzyszą jej od momentu powstania do dzisiaj. Dotyczą one takich kwestii, jak: dualizm korpuskularno-falowy, komplementarność, indeterminizm, ukryte parametry (niezupełność opisu) i nielokalność. Instrumentalne wykorzystywanie QM nie napotyka szczególnych przeszkód, ale brak jest powszechnie przyjmowanego „ontologicznego” obrazu zjawisk kwantowych. Problemy interpretacyjne QM polegają m.in. na trudnościach uzyskania spójnej i wyczerpującej interpretacji tego, co właściwie zachodzi w opisywanych przez prawa (równania) mechaniki kwantowej układach fizycznych. Chodzi tu nawet o tak stosunkowo proste układy, jak wiązka elektronów, przechodzących

<sup>1</sup> T. Bigaj, *Non-locality and Possible Worlds. A Counterfactual Perspective on Quantum Entanglement*, Frankfurt 2006, Ontos Verlag.

<sup>2</sup> Będę w dalszym ciągu artykułu posługiwał się skrótem QM na oznaczenie mechaniki kwantowej.

przez dwie miniaturowe, położone blisko siebie szczeliny i rejestrowanych na znajdującym się za szczelinami ekranie, lub też dwie wyemitowane w przeciwnych kierunkach cząstki o stałym sumarycznym spinie, które po rozbiegnięciu się mogą obydwie zostać poddane pomiarowi składowej spinu w dowolnie wybranym, określonym przez eksperymentatora kierunku. Przypadek tego ostatniego typu określamy dziś jako EPR, gdyż podobny przykład był rozważany przez A. Einsteina, B. Podolsky'ego i N. Rosena w opublikowanym w 1935 r. w *Physical Review* artykule pt. „Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?”<sup>3</sup> w celu wykazania, że kwantowomechaniczny opis rzeczywistości fizycznej nie może zostać uznany za wyczerpujący (kompletny). Przykład ten był następnie analizowany przez N. Bohra jako tzw. eksperyment myślowy, a w swojej analizie Bohr przeciwstawił się wnioskowi, które wyprowadzili z niego Einstein, Podolsky i Rosen, odrzucając przyjęte przez nich kryterium rzeczywistości fizycznej.<sup>4</sup> Gdzie indziej napisał on m.in.:

Nie pojawia się [...] kwestia mechanicznego zakłócenia rozważanego układu podczas ostatniego, krytycznego etapu procedury pomiarowej. Lecz nawet na tym etapie pojawia się zasadniczo pytanie dotyczące wpływu na same warunki, które definiują możliwe typy przewidywań odnośnie przyszłego zachowania się układu.<sup>5</sup>

W poświęconej Schrödingerowi książce, z której zaczerpnąłem powyższy cytat, możemy na tej samej stronie przeczytać dalej:

Pauli [...] sądził, że ‘starsi panowie tacy jak Einstein i Laue’ uważali mechanikę kwantową za coś podobnego do statystycznej teorii gazu, w której ukryte parametry związane są z ruchami poszczególnych molekuł. Wierzył on jednakże, iż nie można wprowadzić takich parametrów do mechaniki kwantowej bez zniszczenia jej efektywności. Podobny pogląd został przedstawiony przez Johna von Neumanna w opublikowanych w 1932 r. *Matematycznych podstawach mechaniki kwantowej*. Później wszakże David Bohm wykazał, że przynajmniej nierelatywistyczna mechanika kwantowa może zostać uzgodniona z ukrytymi parametrami.<sup>6</sup>

Autor przytoczonego akapitu kończy go, wyrażając następującą opinię: „Teorie z ukrytymi parametrami nie doprowadziły jednak do żadnych nowych rezultatów: jest to raczej sprawa interpretacji niż zastosowania teorii [kwantowej]”.<sup>7</sup>

<sup>3</sup> Einstein, A., Podolsky, B., Rosen, N., „Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?”, *Physical Review*, **47** (1935), s. 777-800.

<sup>4</sup> Bohr, N., „Can Quantum-Mechanical Description of Quantum Reality Be Considered Complete?”, *Physical Review*, **48** (1935), s. 696-702.

<sup>5</sup> Tamże, cyt. wg.: Moore, W., *Schrödinger, Life and Thought*, Cambridge 1989, Cambridge University Press, s. 306.

<sup>6</sup> von Neumann, J., *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*, Berlin 1932, Springer-Verlag; przetłumaczone na angielski przez E. Bayera jako: *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*, Princeton 1955, Princeton University Press; Bohm, D., „A Suggested Interpretation of the Quantum Theory in Terms of Hidden Variables”, *Physical Review*, **85** (1952), s. 166-193.

<sup>7</sup> Moore, W., *Schrödinger, Life and Thought*, Cambridge 1989, CUP, s. 306.

\* \* \*

Zarys treści książki przedstawiony został przez jej autora we wstępie (s. 13-20).<sup>8</sup> Angielskojęzyczny, zorientowany w przedmiocie czytelnik może stamtąd uzyskać dosyć wyczerpującą informację o jej treści. Zwięzła informacja o książce dostępna jest również na internetowych stronach wydawnictwa *Ontos*.

**Rozdział 1**, pod tytułem „Dlaczego kwantowy świat musi być nielokalny?” (s. 23-67), składa się z 6 podrozdziałów (punktów). Pierwszy podrozdział (1.1) wprowadza w sposób ogólny w tematykę obiektywnej rzeczywistości mikroprzedmiotów fizycznych (np. cząstek takich jak fotony i elektrony) oraz lokalności oddziaływań fizycznych, tzn. ograniczeniu nakładanemu przez STR (szczególną teorię względności) na rozprzestrzenianie się tych oddziaływań, które nie może zachodzić natychmiast „na odległość” (nielokalnie), czyli z prędkością większą niż prędkość światła. Stanowisko realistyczne postuluje obiektywność mierzalnych własności mikroprzedmiotów (cząstek), nawet jeśli nie podlegają one aktualnie pomiarowi, a założenie lokalności wyklucza natychmiastowy wpływ fizyczny dwóch obiektów oddzielonych interwałem przestrzennopodobnym. Ponieważ równania QM opisują dla danego mikro-układu jedynie prawdopodobieństwo uzyskania — w wyniku pomiaru ustalonego przez eksperymentatora parametru fizycznego (wielkości fizycznej) — określonej wartości tego parametru, zazwyczaj jednej z wielu, to przekonanie, iż QM jest „pełnym” opisem mikroukładu koliduje ze stanowiskiem realistycznym. W szczególności rozpowszechniona tzw. kopenhaska interpretacja QM koliduje z poglądami zwolenników koncepcji tzw. ukrytych parametrów, z których współcześnie najbardziej znanym jest chyba D. Bohm.

W podrozdziale 1.2 zostaje „nieformalnie” (s. 13) naszkicowana argumentacja EPR (Einsteina-Podolsky’ego-Rosena) w jej współczesnej, przeformułowanej przez Bohma wersji, odnoszącej się do pary elektronów w tzw. stanie singletowym, w którym „[...] ich całkowity spin równa się zero [i] możemy być pewni, że gdy mierzymy spin jednego z nich w pewnym określonym kierunku, spin drugiego z nich w tym kierunku będzie musiał być przeciwny” (s. 30). Analiza sytuacji przedstawionej w argumentacji EPR ma prowadzić do implikacji: zupełność QM (antyrealizm)  $\Rightarrow$  nielokalność. W podobny sposób przedstawiona zostaje w pkt. 1.3 tzw. nierówność Bella (twierdzenie Bella) obowiązująca przy założeniu istnienia „ukrytych parametrów” nieuwzględnianych przez równania QM, natomiast wpływających na częstość występowania określonych kombinacji mierzalnych wielkości fizycznych np. dla pary elektronów będących w splątanym stanie kwantowym. Analiza sytuacji, do której odnosi się nierówność Bella, ma prowadzić do kolejnych implikacji — (Bell): QM  $\Rightarrow$  antyrealizm lub nielokalność; oraz — (Bell + EPR): QM  $\Rightarrow$  nielokalność.

<sup>8</sup> W nawiasach okrągłych podaję numery stron rozważanej książki T. Bigaja.

Wynikiem tych analiz są charakterystyki nielokalności typu EPR: „Odległy pomiar może natychmiast zmienić stan pewnej cząstki  $p$  ze stanu bycia niedookreśloną pod względem wartości danego parametru  $A$  na [stan] bycia scharakteryzowaną przez ścisłą wartość” (s. 37) oraz nielokalności typu Bella: „Odległy pomiar może natychmiast zmienić stan pewnej cząstki  $p$  ze [stanu] posiadania jednej wartości danego parametru  $A$  na [stan] posiadania innej [takiej] wartości” (s. 38).

W podrozdziale 1.4, który stanowi centralną część rozdziału 1, przedstawione zostaje uogólnione twierdzenie Bella już nie w postaci nierówności, ale w postaci warunku określającego prawdopodobieństwo uzyskania w rezultacie pomiarów wyniku  $(a, b \mid A_i, B_j, \lambda)$  jako iloczynu prawdopodobieństwa wyniku  $(a \mid A_i, \lambda)$  i prawdopodobieństwa wyniku  $(b \mid B_j, \lambda)$ , gdzie  $\lambda$  ma stanowić zupełny opis stanu fizycznego układu kwantowego (tzn. być „ukrytym parametrem”), czyli założenia „faktoryzacji”:

$$(F) \quad P(a, b \mid A_i, B_j, \lambda) = P(a \mid A_i, \lambda) P(b \mid B_j, \lambda),$$

tzn. warunku rozkładalności prawdopodobieństwa warunkowego na niezależne czynniki. Ma to być właśnie warunek lokalności związany z uogólnionym twierdzeniem Bella, który został następnie w 1984 r. sformułowany przez Jarreta w równoważnej postaci „faktoryzacji” postaci dwóch warunków, określanych dziś jako „niezależność od [wyboru przez eksperymentatora mierzonych] parametrów” i „niezależność od [uzyskanych] wyników” (s. 46).

W pkt. 1.5 warunki niezależności obu rodzajów (od parametrów i od wyników) są szczegółowo przeanalizowane. Bigaj przedstawia rozpowszechnione przekonanie, iż pogwałcenie warunku „niezależności od [wyboru] parametrów” wiąże się z pewnego rodzaju „natychmiastowym” (s. 13) nielokalnym wpływem wyboru  $B_j$  na wynik  $a$ . Według niego natomiast właściwsza jest interpretacja w języku modalnym, w którym można formułować warunki kontrfaktyczne typu: „jeśli ustawienie odległego urządzenia pomiarowego byłoby inne, to stan lokalnego układu byłby także inny” (s. 13).

Podsumowując wyniki szczegółowe przedstawione w rozdziale 1, możemy je wyliczyć w następujący sposób:

- przedstawienie ogólnego zarysu problematyki nielokalności i realizmu w QM,
- prezentacja argumentacji EPR i uogólnionego twierdzenia Bella,
- przedstawienie założenia lokalności w postaci warunku faktoryzacji,
- prezentacja ujęcia tego warunku przez Jarreta (niezależność wyników i parametrów),
- teza o niedostatecznym uzasadnieniu interpretacji ontologicznej niezależności parametrów,
- teza o przewadze interpretacji kontrfaktycznej,
- teza o potrzebie dalszych badań nad alternatywnymi interpretacjami.

**Rozdział 2** pt. „Semantyka możliwych światów dla zdań kontrfaktycznych” (s. 69-103) składa się z 4 podrozdziałów. Pierwszy z nich (2.1) poświęcony jest kontrfaktycznej logice rozważanej przez Stalnakera i prawu warunkowego wyłączonego środka CEM (*the law of conditional excluded middle*). Warunkowe zdania kontrfaktyczne są formułowane w języku naturalnym przy użyciu funktora ‘Gdyby ... , to by ...’, czyli mają postać ‘Gdyby  $P$ , to by  $Q$ ’ (w formie symbolicznej: ‘ $P \Box \rightarrow Q$ ’); przy czym typowe zastosowanie tego funktora ma miejsce, gdy zakłada się, że zdanie ‘ $P$ ’ jest fałszywe, a więc używa się funktora ‘ $\Box \rightarrow$ ’ w kontekście:  $\sim P \wedge (P \Box \rightarrow Q)$ . Semantyczna teoria warunkowych zdań kontrfaktycznych powinna ustalać warunki prawdziwości dla tego typu zdań, co nie jest łatwym zadaniem, gdyż są one zwykle w sposób istotny zależne od kontekstu użycia funktora ‘ $\Box \rightarrow$ ’ (s. 71). Jako jeden z pierwszych podjął taką próbę w 1968 r. Robert C. Stalnaker, przyjmując, iż ‘ $P \Box \rightarrow Q$ ’ jest prawdziwe w rzeczywistym świecie  $w$ , gdy ‘ $Q$ ’ jest prawdziwe w najbliższym  $w$  możliwym świecie, w którym ‘ $P$ ’ jest prawdziwe (s. 73). W tej kontrfaktycznej logice nie obowiązują pewne prawa klasycznego rachunku zdań, obowiązuje natomiast prawo warunkowego wyłączonego środka CEM:  $(P \Box \rightarrow Q) \vee (P \Box \rightarrow \sim Q)$ . Prowadzi to — w zastosowaniu do sytuacji pomiaru parametru  $A$ , mogącego dać w wyniku jedną z wartości:  $a_1, \dots, a_n$  — do „zasady kontrfaktycznej określoności” [wyniku pomiaru parametru  $A$ ] (*the principle of counterfactual definiteness*), a w dalszej kolejności — według van Fraassena — do nierówności Bella.<sup>9</sup>

Dlatego też Bigaj, idąc w tym za van Fraassenem, uznaje, iż do rozważania kwestii interpretacyjnych QM z „perspektywy kontrfaktycznej” lepsza jest semantyka Davida Lewisa, w której „prawo warunkowego wyłączonego środka” nie obowiązuje. W semantyce Lewisa, której poświęcony jest pkt 2.2, warunek prawdziwości zdania kontrfaktycznego przybiera następującą postać: ‘ $P \Box \rightarrow Q$ ’ jest (niepusto) prawdziwe w rzeczywistym świecie  $w$ , gdy jest podobny do  $w$  świat możliwy, w którym ‘ $P$ ’ jest prawdziwe i ‘ $Q$ ’ jest prawdziwe, oraz nie ma bardziej podobnego do  $w$  świata możliwego, w jakim ‘ $P$ ’ jest prawdziwe, a ‘ $Q$ ’ jest fałszywe (s. 79). W pkt. 2.2 rozważana jest również kwestia pragmatycznie nietypowych, „zerowych” zdań kontrfaktycznych, których poprzedniki są prawdziwe w rzeczywistym świecie  $w$ .

Punkt 2.3 „Względne podobieństwo między możliwymi światami” dotyczy jednego ze spornych i często krytykowanych aspektów semantyki Lewisa możliwych światów. Chodzi o „sferę dostępności” lub też „relację podobieństwa” światów możliwych względem świata realnego, która mogłaby stanowić podstawę porównywania ich stopnia podobieństwa do świata rzeczywistego. Relacja ta jest krytykowana „z zewnątrz” jako wysoce niejasna oraz napotyka różne „wewnętrzne” problemy, np. czy różne światy możliwe mogą być równie podobne do świata aktualnego oraz czy zakładać istnienie możliwego świata najbardziej podobnego do aktualnego. O problemach semantyki Lewisa świadczy np. przytoczony przez Bigaj scenariusz zagła-

<sup>9</sup> van Fraassen, B. C., *Quantum Mechanics: An Empiricist View*, Oxford 1991, Clarendon Press, s. 122-125.

dy nuklearnej i kwestia wartości logicznej zdania: ‘Gdyby naciśnięto *ten* guzik, świat ludzi przestałby istnieć’, co prowadzi do skierowanego przeciwko Lewis’owskiemu warunkowi prawdziwości „zarzutowi dotyczącemu podobieństwa [możliwych światów] w przyszłości” (s. 86). Aby rozwikłać tego typu kwestie, Lewis proponował nieformalny ranking aspektów podobieństwa możliwych światów, w którym jednym z kryteriów oceny był czasoprzestrzenny zakres całkowitej zgodności poszczególnych faktów (s. 88).

Autor omawianej książki formułuje w kolejnym kroku określony zarzut dotyczący rankingu Lewisa, oparty na analizie sytuacji typu EPR uwzględniającej 2 cząstki (np. elektrony) o spinie  $\frac{1}{2}$  w stanie singletowym, w którym całkowity spin równy jest 1, pokazując, że ranking ten prowadzi do sprzecznej z intuicją oceny prawdziwości istotnego zdania kontrfaktycznego. Ocena ta oparta jest na dopuszczeniu „niewielkiego” odstępstwa od prawa przyrodniczego (*small miracle* — „małego cudu”) i porównaniu odpowiednich obszarów czasoprzestrzennych całkowitej zgodności faktów (s. 94-96). W dalszym ciągu punktu 2.3 Bigaj rozważa czasową asymetrię warunkowych zdań kontrfaktycznych i rolę niewielkich odstępstw od praw przyrodniczych („małych cudów”). Proponuje, aby nie dopuszczać możliwości tych ostatnich przy ocenach wartości logicznej zdań kontrfaktycznych oraz aby opierać tę ocenę na jedynym kryterium porównywania czasoprzestrzennych obszarów zgodności (lub różnicy) co do poszczególnych faktów. W podsumowaniu rozdziału 2 przyznaje, że „najbardziej kontrowersyjnym aspektem semantyki możliwych światów dla zdań kontrfaktycznych jest nieformalna analiza relacji podobieństwa między możliwymi światami” (s. 102). Wyraża pomimo to przekonanie, że możliwe jest osiągnięcie „działającej semantyki kwantowych zdań kontrfaktycznych” (*a workable semantics of quantum counterfactuals*), którą będzie chciał wydobyć z prac innych, znanych autorów (s. 103).

Podsumujmy wyniki przedstawione w rozdziale 2:

- przedstawienie i porównanie semantyk Stalnakera i Lewisa dla kontrfaktycznych zdań warunkowych,
- wybór wersji semantyki odrzucającej CEM jako właściwej dla kwestii związanych z QM,
- argumentacja przeciwko dopuszczaniu możliwości zdarzeń niezgodnych z przyjmowanymi prawami przyrodniczymi („małych cudów”) w ocenie zdań kontrfaktycznych,
- wybór kryterium maksymalizacji czasoprzestrzennych obszarów zgodności indywidualnych faktów — jako podstawy oceny podobieństwa między możliwymi światami a światem rzeczywistym,
- sformułowanie pytania, które fakty należy brać pod uwagę.

**Rozdział 3** pt. „Kontrfaktyczna wersja twierdzenia Bella i jej krytyka” (s. 105-140) składa się z 5 podrozdziałów. W pkt. 3.1 autor książki podejmuje zagadnienie kontrfaktycznego wzmocnienia twierdzenia Bella w pierwszym — jak sam to określa

— przybliżeniu. Wzmocnienie to polegać ma na wyeliminowaniu pierwszej z dwóch przesłanek ontologicznych, na których opierało się wyprowadzenie tego twierdzenia w jego oryginalnym sformułowaniu; przesłanki dotyczącej „realizmu w stosunku do posiadanych wartości” (*realism regarding the possessed values*). Drugą przesłanką było „założenie lokalności” (*locality assumption*) (s. 105). Teoretycy tacy jak Henry Stapp i Philippe Eberhard starali się doprowadzić do takiego wyeliminowania — właśnie przy użyciu warunkowych zdań kontrfaktycznych. Zdając sprawę z tych starań, Bigaj powraca do standardowej sytuacji eksperymentalnej przedstawionej przy rozważaniu uogólnionego twierdzenia Bella (dotyczącego „faktoryzacji” prawdopodobieństwa warunkowego). Zasada lokalności zostaje teraz wprowadzona w postaci „warunku dopasowania” (*matching condition*, s. 107). Jest to warunek zakładający, iż „zdeterminowany wcześniej (*predetermined*) wynik [pomiaru] poszczególnej obserwabli pozostanie ten sam, bez względu na to, jakie ustawienie [pomiarowe] zostało wybrane dla drugiej cząstki” (s. 107).

Oznacza to zrównanie ze sobą pewnych wyników w różnych wariantach pomiarowych, co pozwala wyprowadzić odpowiednią nierówność (CHSH, s. 108), niezgodną z pewnymi kombinacjami mierzonych obserwabli wynikającymi z QM. Stapp i Eberhard utrzymują, że należy interpretować wyniki zrównywane ze sobą w świetle „warunku dopasowania” nie jako zdeterminowane wcześniej (zgodnie z przesłanką „realizmu w stosunku do posiadanych wartości”), ale jako „hipotetyczne rezultaty możliwych pomiarów” (s. 109). Eliminując w ten sposób przesłankę realizmu (dotyczącego „ukrytych wartości”), są przekonani, iż odrzucenie prowadzącego do nierówności typu Bella „warunku dopasowania”, czyli założenia lokalności, wystarczy do odrzucenia tej nierówności i uniknięcia sprzeczności z QM. Z przekonaniem tym nie zgadza się jednak m.in. M. Redhead (w swojej książce z 1987 r.)<sup>10</sup>, tak więc pozostaje ono nadal przedmiotem kontrowersji.

Podrozdział 3.2 dotyczy „nierówności CHSH w poprzek światów możliwych” (CHSH *inequality across possible worlds*). Ta „bardziej wyrafinowana kontrfaktyczna wersja” (s. 112) nierówności Bella, niewykorzystująca „przesłanki realizmu”, odwołuje się do pewnego złożonego parametru występującego po lewej stronie nierówności. Parametr ten zostaje zinterpretowany nie jako charakterystyka warunków spełnionych w świecie rzeczywistym, lecz jako pewna funkcja określona „w poprzek możliwych światów” (s. 113). W następnym podrozdziale (3.3) autor rozprawy powraca do „warunku dopasowania” w kontekście kontrowersji dotyczących „semantyki czasoprzestrzennych zdań kontrfaktycznych” (s. 116), w szczególności — założenia, iż przeszłość jest „kontrfaktycznie zamknięta”, oznaczającego, że gdyby te różnijszość była inna, przeszłość mimo to pozostałaby taka sama (s. 116). W celu uniknięcia takich kontrowersji autor przedstawia „założenie lokalności” w sformułowaniu odwołującym się do możliwych światów i obszarów ich czasoprzestrzennej zgodności (co do faktów) w postaci warunku „semantycznej lokalności” SLOC

<sup>10</sup> Redhead, M., *Non-locality, Incompleteness and Realism*, Oxford 1987, Oxford University Press.



(*semantic locality*): „Dla każdego niesprzecznego zdarzenia  $E$ , istnieje pewien możliwy  $E$ -świat [świat, w którym  $E$  zachodzi] taki, że jest on identyczny ze światem aktualnym w całym regionie poza górną częścią stożka świetlnego  $E$  [absolutną przyszłością  $E$ ]” (s. 123).

Na początku podrozdziału 3.4 Bigaj wyciąga ogólny wniosek z wcześniejszych analiz: przedstawiona przez Stappa i Eberharda argumentacja zawodzi, nie wykazując, iż sam formalizm QM wymaga istnienia ponadświatowego związku między wyborem ustawienia urządzenia pomiarowego a wynikiem pomiaru przeprowadzonego w innej, odległej części układu (s. 127). Następnie rozpatruje alternatywne warunki prawdziwości warunkowych zdań kontrfaktycznych, sugerowane m.in. przez Redheada w ramach krytyki argumentacji Stappa-Eberharda. Taka alternatywna semantyka przyjmowałaby za podstawę podobieństwa możliwych światów nie czasoprzestrzenną lokalizację, ale naturę branych pod uwagę zdarzeń fizycznych, uwzględniając przy porównywaniu możliwych światów ustawienia przyrządów pomiarowych, a nie uwzględniając wyników pomiaru (s. 127). Ostatecznie autor książki przyjmuje, że „to, co czyni zdarzenie istotnym dla relacji podobieństwa, to nie jest jego typ (czy jest to wybór ustawienia [przyrządu], czy wynik pomiaru), ale raczej jego lokalizacja względem kontrfaktycznie zastąpionego zdarzenia” (s. 131).

Podsumujmy przedstawione w tym rozdziale wyniki:

- przedstawienie pierwszej próby (CHSH, 1971) Stappa wykazania, że przy użyciu „kontrfaktycznej” aparatury pojęciowej można udowodnić twierdzenie Bella w oparciu o założenie lokalności, a eliminując założenie o realizmie posiadanych wartości,
- przedstawienie krytyki tej próby przez Redheada (1987),
- przedstawienie zmodyfikowanej argumentacji Stappa z 1989 r.,
- analiza krytyki tej próby i wykazanie usterek tej krytyki, wynikających z rozbieżności warunków prawdziwości zdań kontrfaktycznych,
- sformułowanie warunku lokalności w postaci SLOC, nieodwołującej się do zdań kontrfaktycznych, a jedynie do pojęcia możliwych światów.

**Rozdział 4** pt. „Twierdzenia GHZ (Greenberga–Horne’a–Zeilingera) i Hardy’ego kontrfaktyczne wzmocnione — co nie wyszło?” (s. 141-183) składa się z 2 podrozdziałów. Pierwszy z nich (4.1) poświęcony jest twierdzeniu GHZ, drugi (4.2) — twierdzeniu Hardy’ego. Oba te twierdzenia posłużyły Stappowi jako punkt wyjścia do kolejnych prób „kontrfaktycznego” udowodnienia nielokalności QM. W artykułach z 1990 i 1995 r. Stapp rozpatrywał kontrfaktyczne wzmocnienie pierwszego z tych twierdzeń<sup>11</sup>, a w artykule z 1997 r. — drugiego z nich.<sup>12</sup> W obu przypadkach

<sup>11</sup> Stapp, H. P., „Quantum Measurement and the Mind-Brain Connection”, w: Lahti, P., Mittelstaed, P. (red.) *Symposium on the Foundations of Modern Physics 1990*, Singapore 1990, World Scientific; Bedford, D., Stapp, H. P., „Bell’s Theorem in an Indeterministic Universe”, *Synthese*, **102** (1995), s. 139-164.

<sup>12</sup> Tenże, „Nonlocal Character of Quantum Theory”, *American Journal of Physics*, **65** (1997), s. 300-304.

polegało to na zastąpieniu założenia realizmu przez zinterpretowane kontrfaktycznie założenie lokalności wraz z uzupełniającymi regułami, mającymi wynikać z semantyki warunkowych zdań kontrfaktycznych (s. 143). W obu podrozdziałach Bigaj przeprowadza skrupulatną analizę dowodów Stappa oraz wyprowadza z niej wniosek, iż nie doprowadzają one do zamierzonego wyniku (wykazania nielokalności QM). Przedstawiony w tym rozdziale materiał składa się w rezultacie na następujące wątki:

- rekonstrukcja i analiza przeprowadzonego z perspektywy kontrfaktycznej dowodu Stappa (i Bedforda) twierdzenia Bella w wersji GHZ (Greenberga–Horne’a–Zeilingera),
- wskazanie kontrowersyjnych aspektów tego dowodu,
- rekonstrukcja i analiza przeprowadzonego z perspektywy kontrfaktycznej kolejnego dowodu Stappa twierdzenia Bella w wersji odwołującej się do eksperymentu myślowego zaproponowanego przez Hardy’ego,
- wskazanie kontrowersyjnych aspektów tego dowodu.

**Rozdział 5** pt. „Dwie interpretacje czasoprzestrzennych zdań kontrfaktycznych” (s. 185-224) składa się z 6 podrozdziałów. W pierwszym z nich autor powraca do czasowej asymetrii zdań kontrfaktycznych i alternatywnego podejścia Lewisa (niewykorzystającego relacji podobieństwa), którą można określić jako „asymetria poprzez: niech się stanie” (*asymmetry by fiat*). Według tego podejścia ocena zdania kontrfaktycznego ‘ $P \square \rightarrow Q$ ’ dla zdania ‘ $P$ ’ „denotującego zdarzenie punktowe” (s. 187), na przykład  $e$ , wymaga odwołania się do (wszystkich) światów możliwych, które są ściśle takie jak świat aktualny:

- w wersji (C1) — w całym obszarze poza górną połową stożka świetlnego związanego z  $e$ ;
- w wersji (C2) — w obszarze dolnej połowy stożka świetlnego związanego z  $e$ .

Wersja (C1) zostaje nazwana przez autora wersją Stappa, a wersja (C2) — wersją Redheada.

W punkcie 5.2 Bigaj przedstawia (za Finkelsteinem) uogólnienie warunku (C1). Wprowadza określenie ‘pierwotne punkty rozbieżności’ (*primary points of divergence*, s. 191), czyli „najwcześniejszych punktów czasoprzestrzeni, w których zachodzą różnice między [pewnym możliwym] światem  $w_j$  i światem aktualnym” (s. 191), tzn. w których kontrfaktycznie „zachodzą” możliwe zdarzenia, niezachodzące w świecie aktualnym. Tych „najwcześniejszych” punktów rozbieżności może być w  $w_j$  wiele (spełniony ma być warunek, że zdarzenia kontrfaktycznie w nich „zachodzące” nie należą do absolutnej przeszłości innego takiego pierwotnego kontrfaktycznego zdarzenia). Następnie określone zostaje domknięcie  $\underline{D}_j$  zbioru pierwotnych punktów rozbieżności  $D_j$  pod względem ich absolutnej przyszłości. Jest to zbiór wszystkich punktów czasoprzestrzennych absolutnie późniejszych od jakiegoś pierwotnego punktu rozbieżności  $w_j$  ze światem aktualnym. Naturalnym sposobem zdefiniowania relacji podobieństwa ma być warunek SIM: „Świat  $w_j$  jest co najmniej tak podobny

do świata aktualnego jak  $w_k$ , gdy  $\underline{D}_i \subseteq \underline{D}_k$ ” (s. 191). Podsumujmy przedstawione w tym rozdziale wyniki:

- wybór pewnego szczególnego typu semantyki „kontryfaktycznej”, przyjmującej asymetryczne czasowo warunki prawdziwości,
- wyróżnienie 2 typów relatywistycznie niezmienniczych warunków: (C1) dopuszczalne możliwe światy są identyczne ze światem rzeczywistym wszędzie, z wyjątkiem kauzalnej (absolutnej) przyszłości zdarzenia kontryfaktycznego, (C2) dopuszczalne możliwe światy są identyczne ze światem rzeczywistym w obszarze kauzalnej (absolutnej) przeszłości zdarzenia kontryfaktycznego,
- uogólnienie warunków typu (C1) (za Finkelsteinem) na większą liczbę zdarzeń kontryfaktycznych,
- wykazanie (w pkt. 5.3), że analogiczne uogólnienie nie daje się przeprowadzić dla warunków typu (C2),
- zaproponowanie odmiennego uogólnienia, nieodwołującego się do jednej, określonej relacji podobieństwa między światami, lecz stosującego szczególną procedurę porównawczą do oceny danego zdania kontryfaktycznego.

**Rozdział 6** pt. „Wyjaśnienie lokalności oraz ponowne rozważenie twierdzeń EPR-Bella” (s. 225-270) składa się z 6 podrozdziałów. W pierwszym z nich autor stara się w możliwie ścisły sposób sformułować warunek wyrażający lokalny charakter związków przyczynowych. Bierze pod uwagę dwa warianty tego warunku. Pierwszy z nich (L1) głosi, że „jeśli zostałyby wybrane inne, alternatywne ustawienie urządzenia pomiarowego po jednej stronie aparatury, wynik uzyskany po drugiej, przestrzennie odseparowanej stronie pozostałby taki sam jak w świecie rzeczywistym” (s. 226). W zapisie symbolicznym:

— (L1): Dla każdego  $P$  i  $Q$ , jeśli  $P$  i  $Q$  opisują zdarzenia oddzielone wzajemnie interwałem przestrzennopodobnym, to  $Q \Rightarrow (P \square \rightarrow Q)$ .

Drugi z nich (L2) oparty jest na następującym, nieformalnym sformułowaniu: „kontryfaktyczne przyjęcie  $P$  nie może «stworzyć» kontryfaktycznie żadnego zdarzenia  $Q$  w obszarze odległym od  $P$ , które by już nie było obecne w świecie rzeczywistym” (s. 229). W zapisie symbolicznym:

— (L2): Dla każdego  $P$  i  $Q$ , jeśli  $P$  opisuje pewne zlokalizowane zdarzenie (lub negację zdarzenia), a  $Q$  jest równoważne alternatywie zdań, z których każde opisuje pojedyncze, zlokalizowane zdarzenie (lub negację zdarzenia) oddzielone interwałem przestrzennopodobnym od  $P$ , to  $(\sim P \wedge \sim Q) \Rightarrow \sim(P \square \rightarrow Q)$ .

Odnutować trzeba, że w obu sformułowaniach warunku lokalności kontryfaktyczny funktor ‘ $\square \rightarrow$ ’ użyty jest w innym sensie; odpowiednio: w interpretacji (C1) i w interpretacji (C2). Z formalnego punktu widzenia, zdania (L1) i (L2) brane łącznie obarczone są więc ekwiwokacją.

Punkt 6.2 „Semantyczny warunek lokalności i twierdzenie o równoważności” poświęcony jest wykazaniu równoważności obu sformułowanych w poprzednim

punkcie warunków lokalności (L1) i (L2) oraz warunku nazywanego przez autora książki „semantycznym warunkiem lokalności (SLOC)”,

— (SLOC): Dla każdego zdarzenia punktowego  $P$ , które jest niesprzeczne, istnieje pewien możliwy  $P$ -świat  $w$  [świat, w którym zdanie  $P$  jest prawdziwe] taki, że  $w$  jest dokładnie taki sam jak świat rzeczywisty wszędzie, poza przyszłym stożkiem świetlnym  $P$ ” (s. 231).

W pkt. 6.3 Bigaj przeprowadza „kontrfaktyczną” analizę i rekonstrukcję wszystkich przesłanek i struktury argumentacji EPR w oparciu o warunek lokalności w wersji (SLOC), określając to jako „poważne kwantowe zastosowanie” przygotowanych przez niego logicznych i pojęciowych narzędzi (s. 236). Przyjmuje, że przedstawione przez niego w rozdziale 5 dwie możliwości semantycznej interpretacji zdań kontrfaktycznych, tj. (C1) i (C2), pozwalają również na dwa sposoby interpretować własności kwantowe, a tylko przy jednej z tych interpretacji można w drodze argumentacji EPR wyprowadzić wniosek o określonej kwantowej własności drugiej ze splątanych cząstek — z wyniku pomiaru dokonanego na pierwszej cząstce. Odnotować trzeba, iż poruszamy się tu na stosunkowo niepewnym terenie, gdyż mowa jest o kontrfaktycznym przypisywaniu lub nawet kontrfaktycznym przysługiwaniu własności obiektom kwantowym.

Bigaj proponuje w pkt. 6.4.1 „Kwantowe dyspozycje czy elementy rzeczywistości?” rozstrzygnąć tę kwestię za pomocą rozróżnienia „własności kategorycznych” i „własności dyspozycyjnych” przysługujących mikroobiektom kwantowym. Prawdziwe zdanie kontrfaktyczne, przypisujące określony wynik możliwemu (lecz nieprzeprowadzonemu) pomiarowi „splątanej” własności odległej cząstki, wiązać ma się nie z jakąś „własnością kategoryczną” tej cząstki, ale z pewną „własnością dyspozycyjną”, która nie jest redukowalna do własności kategorycznych.

Podrozdział 6.5 nosi tytuł „Twierdzenie Bella z kontrfaktycznymi ukrytymi parametrami”. Tytuł zapowiada wynik przedstawiony w tym podrozdziale — wykazanie, że przy interpretacjach kontrfaktycznych zaproponowanych przez Bigaję twierdzenie to nadal obowiązuje, a jego dowód zachowuje swoją poprawność. Przyjmowana w ramach tych interpretacji możliwość natychmiastowego zajścia „na odległość” zmiany kontrfaktycznej własności dyspozycyjnej, przysługującej lokalnie części układu, na inną taką własność, stanowi pogwałcenie semantycznego warunku lokalności (SLOC). Podsumujmy jeszcze wyniki przedstawione w rozdziale 6:

— ścisłe sformułowanie dwóch wariantów kontrfaktycznego warunku wyrażającego lokalny charakter związków przyczynowych,

— wybór „semantycznego warunku lokalności” (SLOC) jako adekwatnego wyrazu założenia o lokalności,

— wykazanie, że „semantyczny warunek lokalności” (SLOC) jest równoważny obydwu wariantom kontrfaktycznych warunków sformułowanych na początku rozdziału.

*Przypadek argumentacji EPR:*

— „kontrafaktyczna” rekonstrukcja i analiza wszystkich przesłanek i struktury logicznej argumentacji EPR,

— rozróżnienie „własności kategorycznych” i „własności dyspozycyjnych” w kwantowych układach fizycznych,

— zastosowanie tego rozróżnienia dla splątanych układów kwantowych (i kontrafaktycznego przypisywania „własności dyspozycyjnej” jednej z części układu) do odrzucenia argumentacji EPR.

*Przypadek twierdzenia Bella:*

— wykazanie, iż „kontrafaktyczny” dowód standardowej wersji twierdzenia Bella jest poprawny przy obu interpretacjach warunków prawdziwości dla zdań kontrafaktycznych przedstawionych w rozdziale 5.

\* \* \*

W obecnej części artykułu chcę odnieść się krótko do danych wiążących się z książką T. Bigaja (i innymi jego publikacjami), jakie są na ten temat dostępne w internecie, który staje się z dnia na dzień coraz ważniejszym źródłem informacji. Chodzi mi o dwie sprawy: o sylwetkę Henry’ego Pierce’a Stappa, głównego autora, którego poglądy są przez Bigaja szczegółowo analizowane, oraz o umieszczoną w lipcu br. na stronach internetowych uniwersytetu Notre Dame w USA (w South Bend) recenzję książki T. Bigaja.

Dr Henry Pierce Stapp jest fizykiem, znanym szeroko ze swych publikowanych od lat sześćdziesiątych prac poświęconych w znacznej części kontrafaktycznej interpretacji QM. Uzyskał stopień doktora w zakresie fizyki na Uniwersytecie w Berkeley w 1955 r. Jest zatrudniony od wielu lat (od 1962 r.) w Berkeley, w *Physics Division* w *Lawrence Berkeley National Laboratory* na stanowisku *Senior Physicist*. Lista abstraktów jego prac dotyczących kontrafaktycznej interpretacji MQ zawiera ok. 35 pozycji (do 2004 r.). W 1992 roku Stapp opublikował w wydawnictwie *Springer-Verlag* książkę pt. „Mind, Matter, and Quantum Mechanics”, która zawiera m.in. materiał będący rezultatem współpracy z Wolfgangiem Paulim w latach pięćdziesiątych w Zurichu.

Recenzja książki Bigaja autorstwa Michaela Dicksona z *University of South Carolina* w Stanach Zjednoczonych ukazała się z datą 7 lipca 2007 r. w dziale recenzji filozoficznych na stronach internetowych *University of Notre Dame*. W skład tego ostatniego uniwersytetu wchodzi Centrum Filozofii Nauki, którego dyrektorem pod koniec lat dziewięćdziesiątych został zajmujący się filozofią fizyki prof. Don Howard. Zarówno Howard, jak i Dickson są autorami prac uwzględnionych w bibliografii przez T. Bigaja. Do recenzji Dicksona odwołam się jeszcze poniżej, gdy będę starał się wskazać niektóre „wewnętrzne zarzuty”, jakie wysunąć można w stosunku do treści książki Bigaja.

\* \* \*

Omawiając jakąś koncepcję lub z nią polemizując, zwykle staram się oddzielać „zewnątrzne” uwagi polemiczne od uwag „wewnętrznych”, a przy tych ostatnich staram się przyjąć perspektywę badawczą przyjętą przez jej autora. Jednak przy problematyce takiej jak ta, którą podjął w swojej książce T. Bigaj, pojawia się problem ograniczenia możliwości „krytycznego dostępu” do przedstawionych w niej treści szczegółowych i wnikliwej ich oceny przez kogoś, kto — jak piszący te słowa — nie zalicza się do grona wyspecjalizowanych badaczy. W pełni kompetentna „wewnętrzna” krytyka wymagałaby w tym wypadku specjalistycznych zainteresowań, w istocie — zajmowania się tą problematyką. Wobec tego ograniczę się tu do pewnych polemicznych uwag szczegółowych, a ponadto w charakterze krytyki „wewnętrznej” przytoczę główne polemiczne uwagi zawarte w recenzji Michaela Dicksona.

Dickson wyraża pogląd (powtarza go w swojej recenzji dwukrotnie), iż „wyjście poza wcześniejsze rozważania dotyczące nielokalności wymaga nowych pomysłów (*insights*) filozoficznych oraz wysokiego stopnia matematycznej i logicznej ścisłości”. Przyznaje, że „choć większa część tej książki [książki T. Bigaja] jest zgrabnym (*nice*) przeglądem wcześniejszej dyskusji, to w istocie osiąga ona niekiedy te bardziej ambitne cele”. Jeżeli chodzi o bardziej szczegółowe uwagi krytyczne, to w kwestii ścisłości amerykański recenzent stwierdza, że czasem napotykamy tam „zasady formalne, które są problematyczne i zmuszają nas do polegania na intuicji”. Podaje przykład definicji „zdarzenia swobodnego” (lub „zdarzenia wolnego wyboru” — *free choice event*), jaka pojawia się na stronie 188:

*E* jest zdarzeniem swobodnym wtedy i tylko wtedy, gdy istnieje pewien możliwy *E*-świat, który zgadza się ze światem rzeczywistym wszędzie poza górną częścią stożka świetlnego *E*.

Według Dicksona definicja ta ma taką niefortunną konsekwencję, że — zgodnie z nią — wszystkie zdarzenia w świecie rzeczywistym są „zdarzeniami swobodnymi”, podczas gdy w zamierzeniu miały nimi być jedynie zdarzenia niezwiązane przyczynowo, ani w żaden inny nomologiczny sposób, z jakimś zdarzeniem zlokalizowanym gdzie indziej, aniżeli w ich absolutnej przeszłości.

Definicja „zdarzenia swobodnego” ze s. 188 wzbudziła także i moje wątpliwości. Pod względem formalnym, jak się wydaje, autor rozprawy idzie w tym miejscu „na skróty”. Występujące w niej sformułowanie „możliwy *E*-świat” zaskakuje nieco czytelnika, gdyż w innych miejscach autor mówi w zasadzie o „możliwych *P*-światach”, mając na myśli możliwe światy, w których zdanie '*P*' jest prawdziwe. Wymienne traktowanie przez Bigaję w różnych miejscach książki zdań i odpowiadających im (w jaki sposób?) zdarzeń budzi pod względem formalnym dość daleko idące wątpliwości. Czy ma to znaczyć, iż jest on zwolennikiem niefregowskiej interpretacji logiki klasycznej, w której korelatami semantycznymi zdań (np. „obiektami” w terminologii używanej przez B. Wolniewicza) byłyby sytuacje lub zdarzenia...?

Na stronie 186, podając „częściowy warunek prawdziwości dla zdania kontrfaktycznego” (wrażający rozważaną w tym fragmencie czasową asymetrię kontrfaktycznych zdań warunkowych), Bigaj formułuje go w następującej postaci:

Jeśli ‘ $P$ ’ opisuje zdarzenie zachodzące w  $t$ , to ‘ $P \Box \rightarrow Q$ ’ jest prawdziwe wtw., gdy ‘ $Q$ ’ jest prawdziwe w każdym możliwym świecie  $w$  takim, że  $w$  jest identyczny ze światem rzeczywistym we wszystkich momentach wcześniejszych niż  $t$ ,  $w$  ewoluuje zgodnie ze zwykłymi prawami przyrodniczymi i ‘ $P$ ’ jest prawdziwe w  $w$ .

Natomiast występujące na następnej stronie (pełniące w dalszym ciągu wywodu istotną rolę) analogiczne warunki (C1) i (C2) rozpoczynają się od zwrotu: „Jeśli ‘ $P$ ’ denotuje zdarzenie punktowe (*point-like event*) zachodzące w  $t$ , to ‘ $P \Box \rightarrow Q$ ’ jest prawdziwe wtw., gdy [...]”. W dwóch akapitach oddzielających przytoczone fragmenty nie znajdujemy żadnego objaśnienia, czemu „opisywanie” zostało zastąpione „denotowaniem” (zapewne niefregowskim), a niecharakteryzowane bliżej na s. 186 „zdarzenie” stało się na s. 187 „zdarzeniem punktowym”.

Zamienne traktowanie zdań i opisywanych przez nie zdarzeń jest szczególnie ryzykowne w kontekstach kontrfaktycznych. Stosując zapis ‘ $P \Box \rightarrow Q$ ’, autor omawianej książki przeważnie zakłada entymematycznie, jak się wydaje, że w rzeczywistym świecie prawdziwe jest zdanie ‘ $\sim P$ ’. Niestety, nie artykułuje tego wprost przy zapisywaniu swoich warunków i nieraz każe się czytelnikowi domyślać, czy ma na myśli faktycznie „kontrfaktyczne” zdanie, czy też bierze pod uwagę obie możliwości — prawdziwości lub fałszywości zdania ‘ $P$ ’ w świecie rzeczywistym. Wydaje mi się, że tego typu sprawa (pomijając już wątpliwości związane ze zwrotem ‘możliwy  $E$ -świat’) leży u podłoża wadliwości definicji „zdarzenia swobodnego”, na którą zwraca uwagę Dickson. Chyba lepszym i bardziej formalnie poprawnym zapisem *calego* warunkowego sądu kontrfaktycznego byłby zapis typu ‘ $P \wedge Q \wedge (\sim P \Box \rightarrow Q)$ ’ (lub też ‘ $\sim P \wedge Q \wedge (P \Box \rightarrow Q)$ ’). Zapis taki stosuje Dickson, formułując „prosty warunek lokalności” (niezależność od wyboru parametru) w postaci symbolicznej.

W sprawie nowych filozoficznych pomysłów i wyborów pojęciowych, dokonywanych przez T. Bigaję w trakcie jego analiz, amerykański recenzent sądzi, że niektóre z nich możemy bez trudu zakwestionować, podając proste, intuicyjne kontrprzykłady — wskazywane np. z własnej pozycji „indeterministy ponad możliwymi światami” (*transworld-indeterminist*). Dotyczy to również rozstrzygnięć odnoszących się do relacji podobieństwa między możliwymi światami i światem rzeczywistym. Ponieważ jest to ogólny problem związany z semantyką możliwych światów dla zdań modalnych różnego rodzaju, poruszę go w następnym punkcie.

\* \* \*

Można postawić pytanie, czy zdania o formie kontrfaktycznych okresów warunkowych są właściwym narzędziem analizy sytuacji, z którymi mamy do czynienia w mikroświecie, w układach fizycznych opisywanych przez równania QM. T. Bigaj i internetowy recenzent jego książki — M. Dickson — uważają, że tak, przy czym

Dickson w swojej recenzji stwierdza nawet, iż jest to sprawa niemal oczywista. Gdybyśmy w spletanym układzie 2 elektronów w stanie singletowym zmierzili określoną składową spinu 1 elektronu i gdybyśmy otrzymali wartość  $+a$ , to gdybyśmy następnie zmierzili odpowiednią składową spinu 2 elektronu, otrzymalibyśmy wartość  $-a$ . Za pomocą takiego „dwustopniowego” zdania warunkowego (wyrażającego zależności kontrfaktyczne) wyrażamy, według zwolenników interpretacji kontrfaktycznych, treść prawa zachowania całkowitego spinu w takim układzie. Jest to zgodne z podobnie kontrfaktycznym sposobem interpretowania praw przyrodniczych w makroświecie i stanowi swoisty wyraz stanowiska, które nazywam „necesityzmem” — stanowiska przyjmującego, iż prawa przyrodnicze stwierdzają w ogólności m.in. konieczność zachodzenia pewnego typu faktów w określonych okolicznościach.

Jest to jednak tylko jeden ze sposobów eksplikacji nomologicznego charakteru zależności ujmowanych przez prawa nauki. W tradycyjnej angielskojęzycznej filozofii analitycznej badając częściej spotykaliśmy „regularystyczne” interpretacje praw przyrodniczych (od Ayera do Mellora), które nie przyjmują założenia, że prawa nauki uzasadniają określone kontrfaktyczne okresy warunkowe. Z „regularyzmem” (lub też „kontyngentyzmem”) bardziej zgodna jest, być może, interpretacja powyższej zależności otwarta ontologicznie w przyszłość, ale nieodwołująca się (jawnie lub w ukryty sposób) do pojęcia konieczności. Na przykład: jeżeli w spletanym układzie 2 elektronów w stanie singletowym w przyszłości zmierzmy określoną składową spinu 1 elektronu i otrzymamy w wyniku pomiaru wartość  $+a$ , to jeśli następnie zmierzmy odpowiednią składową spinu 2 elektronu, to otrzymamy wartość  $-a$ . T. Bigaj przedstawia tę zależność w kategoriach kontrfaktycznych zdań warunkowych, a te ostatnie z kolei eksplikuje za pomocą różnych wersji semantyki możliwych światów. Jest to dwukrotny wybór interpretacyjny, który właściwie wymagałby solidnego uzasadnienia, wykraczającego poza tę okoliczność, że wielu badaczy (od Goodmana do Putnama) dokonuje podobnych wyborów.

Sporo wątpliwości budzić mogą ogólne kwestie związane z semantyką możliwych światów dla zdań modalnych, w tym także dla kontrfaktycznych okresów warunkowych. Rozważmy zaproponowaną przez Bigaję relację podobieństwa między możliwymi światami i światem rzeczywistym, którą określa warunek sformułowany na s. 191:

(SIM) Świat  $w_j$  jest co najmniej tak podobny do świata rzeczywistego jak  $w_k$ , gdy  $\underline{D}_j \subseteq \underline{D}_k$ .

$\underline{D}_n$  to zbiór uzyskany poprzez domknięcie (a następnie zsumowanie) zbioru pierwotnych punktów rozbieżności  $D_n$  pod względem ich absolutnej przyszłości. Dickson przedstawia przykład opartej na warunku (SIM) oceny podobieństwa dwóch światów możliwych do świata rzeczywistego, której wynik jest niezgodny z intuicją. Pierwszy świat ma dwa pierwotne punkty rozbieżności, które tylko nieznacznie wpływają na swoją absolutną przyszłość. Drugi świat ma tylko jeden pierwotny punkt rozbieżności — o tej samej czasoprzestrzennej lokalizacji, co jeden z pierwot-



nych punktów rozbieżności w świecie pierwszym — posiadający natomiast liczne i długotrwałe następstwa w swojej absolutnej przyszłości. Intuicja sprzeciwia się stwierdzeniu, iż drugi świat jest co najmniej tak podobny do świata rzeczywistego jak pierwszy, co należałoby ogłosić na podstawie warunku (SIM).

Przedstawiona w poprzednim akapicie wątpliwość jest ilustracją bardziej ogólnego problemu i jest związana z jednym z najpoważniejszych oraz najczęściej powtarzanych zarzutów skierowanych przeciwko koncepcji możliwych światów — jako semantycznego instrumentu, umożliwiającego określanie wartości logicznej różnych zdań modalnych. Relacje podobieństwa lub dostępności między możliwymi światami i światem rzeczywistym mają całkowicie nieempiryczny charakter i mogą być dosyć arbitralnie konstruowane w rozmaity sposób, prowadząc do rozbieżnych ocen wartości logicznej zdań modalnych. Powstaje tu kwestia wyboru między alternatywnymi podejściami — nie wiadomo, na jakiej podstawie mielibyśmy dokonać takiego wyboru. Interesujące skądinąd z „wewnętrznej” perspektywy wyniki T. Bigaja — istnienie dwóch alternatywnych semantycznych interpretacji „czasoprzestrzennych kontrfaktycznych zdań warunkowych”, opartych na warunkach (C1) i (C2) [rozdział 5], istnienie dwóch alternatywnych wariantów warunku lokalności — (L1) i (L2) — oraz ich równoważność z „semantycznym warunkiem lokalności” (SLOC), mogą być postrzegane z „zewewnętrznej” perspektywy w krytyczny sposób, jako rezultaty niemożliwości prawomocnego, dobrze uzasadnionego rozstrzygnięcia między alternatywnymi opcjami.

I jeszcze jedna, tym razem znów szczegółowa, uwaga krytyczna — dotycząca dwóch sformułowań wspomnianego przed chwilą „semantycznego warunku lokalności” (SLOC). Na s. 123 jest podane jego pierwsze sformułowanie:

(SLOC) Dla każdego niesprzecznego zdarzenia  $E$ , istnieje pewien możliwy  $E$ -świat taki, że jest on identyczny ze światem rzeczywistym w całym regionie poza górną częścią stożka świetlnego  $E$ .

Natomiast na s. 231 napotykamy sformułowanie drugie:

(SLOC) Dla każdego zdarzenia punktowego  $P$ , które jest niesprzeczne, istnieje pewien możliwy  $P$ -świat  $w$  [świat, w którym zdanie  $P$  jest prawdziwe;  $W. S.$ ] taki, że  $w$  jest dokładnie taki sam jak świat rzeczywisty wszędzie poza przyszłym stożkiem świetlnym  $P$ .

Autor książki chyba nie zadał sobie trudu porównania obu tych sformułowań, gdyż gdyby to uczynił, zauważyłby bez trudu formalne usterki występujące w obu sformułowaniach (to — przypuszczalnie kontrfaktyczne — zdanie warunkowe uznaje za prawdziwe, ale od razu ujawnia się chwiejność tej oceny, gdyż może usterki nie zostałyby zauważone...). Tego rodzaju formalna niefrasobliwość nie rzutuje wprawdzie w żaden poważny sposób na ocenę uzyskanych wyników (która to ocena, w mojej opinii, powinna wypaść jak najbardziej pozytywnie), ale może pozostawić u czytelnika ślad niepokoju, co do ścisłości przedstawionych na ich rzecz argumentacji.

\* \* \*

Ogólna, sumaryczna ocena rezultatów uzyskanych przez T. Bigaję w jego książce nie jest sprawą prostą, przede wszystkim ze względu na bogactwo przedstawionego w niej materiału i znaczną ilość wyników cząstkowych, wymienionych w poprzednich punktach. Wyniki te w sumie nie składają się jednakże na uzasadnienie jakiejś zasadniczej tezy centralnej. Tezą taką mogłoby być, na przykład, rozstrzygnięcie czy spory o związki nielocalne w zjawiskach kwantowych to kwestia empiryczna, czy też raczej problem pojęciowy. Takiej — lub podobnej — zasadniczej tezy w książce T. Bigaję nie ma. Przeciwnie, jej autor pisze:

Główna kwestia tej książki — czy mechanika kwantowa jest nielocalna — nadal pozostaje nierozstrzygnięta. Lecz teraz przynajmniej wiemy, że nie ma nadziei na proste i wolne od zastrzeżeń „tak” lub „nie” w odpowiedzi na tę zagadkę. Istnieje tak wielka różnorodność interpretacji tego, co stanowi naruszenie intuicji lokalności, by nie wspominać już przeróżnych „stopni powagi” takiego naruszenia, że byłoby całkowicie beznadziejnym oczekiwać szybkiego, ostatecznego rozstrzygnięcia tego problemu” (s. 225).

Trzeba się wszakże z nim zgodzić, gdy dodaje: „A jednak dokonaliśmy pewnego postępu” — i ma na myśli wykazanie możliwości dwóch relatywistycznie niezmienniczych semantycznych warunków prawdziwości (C1) i (C2) asymetrycznych czasowo kontrfaktycznych zdań warunkowych i zbadanie ich różnych konsekwencji w dziedzinie opisu splątanych zjawisk kwantowych. Inne ważne wyniki osiągnięte w książce, to przedstawione w rozdziale 6 finalne, pogłębione, „kontrfaktyczne” interpretacje eksperymentu typu EPR i nierówności Bella. Jako główną konkluzję książki jej autor przedstawia stwierdzenie, iż „bez względu na to, którą z dostępnych interpretacji kontrfaktycznych zdań warunkowych zdecydujemy się wybrać, w standardowej mechanice kwantowej nie ma potrzeby wprowadzania nielokalności indukowanej pomiarem” [to znaczy lokalnym wyborem przez eksperymentatora rodzaju pomiaru, W. S.] (s. 281). Druga część tej konkluzji jest bodajże (według tego, co pisze Dickson) dosyć powszechnie przyjmowana, nowym elementem jest pogłębienie przez autora rozważanej książki analizy wymierzonej przeciwko niej „kontrfaktycznej” argumentacji Stappa i wykazanie jej braków.

Książka T. Bigaję jest niewątpliwym świadectwem niemałego osiągnięcia jej autora, którym jest czynne i kompetentne włączenie się w prowadzoną na światowym poziomie specjalistyczną dyskusję dotyczącą „kontrfaktycznej” interpretacji opisywanych przez mechanikę kwantową zjawisk zachodzących w splątanych układach kwantowych. W moim przekonaniu jej autor dzięki swojej książce (i innym publikacjom) stał się pełnoprawnym członkiem ekskluzywnego „niewidzialnego kolegium” zajmującego się tą tematyką.