

# Michał Heller

---

## Kwantowe nielokalności z perspektywy logika

---

Zagadnienia Filozoficzne w Nauce nr 43 [Numer specjalny: Nagroda  
Templetona 2008], 145-149

---

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.

Ma rację Dadaczyński, gdy twierdzi, że jedno z głównych źródeł skomplikowania systemu Bolzana leży w jego trudnym do operowania pojęciu wielości, któremu brak logicznej przejrzystości cantorowskiego zbioru. Ciekawa jest również inna różnica pomiędzy ujęciem Bolzana a klasycznym programem logicyzmu. Bolzano starał się wyprowadzić arytmetykę liczb naturalnych „nie z samych aksjomatów (twierdzeń i definicji) logiki, jak to postulował G.W. Leibniz, ale z pewnej ontologii (za pomocą narzędzi logicznych), bo tak należy pojmować dziedzinę podstawową 'naszkicowaną' przez praskiego matematyka...” (s. 326).

Książka Jerzego Dadaczyńskiego nie jest lekturą łatwą, ale stanowi ważny wkład do dziejów filozofii matematyki.

*Michał Heller*

### **KWANTOWE NIELOKALNOŚCI Z PERSPEKTYWY LOGIKA**

◇ Tomasz F. Bigaj, *Non-Locality and Possible Worlds. A Counterfactual Perspective on Quantum Entanglement*, Ontos Verlag, Frankfurt — Paris — Ebikon — Lancaster — New Brunswick, 2006, s. 294.

O pęknięciu między kulturą humanistyczną a kulturą nawiązującą do nauk (*sciences*) mówi się od dawna. Mniej znane, ale niemal równie głębokie jest pęknięcie pomiędzy fizyką a filozofią fizyki (w wersji tzw. anglosaskiej filozofii analitycznej). Filozofowie fizyki są z reguły sami dobrze wykształconymi fizykami, ale sposób uprawiania ich dyscypliny zwykle z czasem zmienia ich perspektywę widzenia. W efekcie fizycy i filozofowie fizyki na ogół mało interesują się wynikami kolegów z przeciwnego obozu i niezmiernie rzadko analizy filozoficzne są wykorzystywane przez fizyków. Książka Tomasza Bigaja sytuuje się zdecydowanie w obozie filozofów fizyki.

Po słynnych nierównościach Bella i serii nawiązujących do nich zaawansowanych doświadczeń (których liczba i wyrafinowanie nieustannie rosną), powstała — a w każdym razie bardzo ożywiła się — nowa dziedzina badań. Zainicjowana słynną pracą Einsteina, Rosena i Podolsky'ego z 1935, była ona dotychczas uważana za dziedzinę filozoficzną, teraz jednak stała się domeną badań wręcz laboratoryjnych. Nie zmniejszyło to bynajmniej zainteresowań nią filozofów. Wręcz przeciwnie, liczba analiz filozoficznych rośnie lawinowo. Nic dziwnego, chodzi bowiem o tak filozoficzne pojęcia, jak: przyczynowość, nielokalność, realizm. Książka Tomasza Bigaja mieści się właśnie w tym nurcie.

W pierwszym rozdziale autor „przygotowuje scenę”. Nawiązując do oryginalnych prac Einsteina, Rosena i Podolsky’ego oraz Bella, próbuje wprowadzić porządek pojęciowy do całej problematyki. Szczególnie interesuje go związek różnych rozumień realizmu i nie-realizmu z różnymi rozumieniami lokalności i nie-lokalności. Rozdział kończy się — jak to sam autor nazywa — taksonomią kwantowych nielokalności. Najogólniej rzecz ujmując, autor rozróżnia nielokalność polegającą na przejściu od niedookreślonej wartości pewnej obserwabli do jej określonej wartości (spowodowaną pewnym „działaniem na odległość”), od nielokalności polegającej na przejściu od jednej określonej wartości do innej określonej wartości. Pierwszy rodzaj nielokalności był zakładany w myślowym doświadczeniu EPR, drugi w pracy Bella. Obydwa rodzaje nielokalności można rozpatrywać w sensie probabilistycznym lub nieprobabilistycznym.

Należy zauważyć, że wszelkie tego rodzaju klasyfikacje zawierają w sobie pewien element konwencji, który potem oczywiście odbija się na wynikach analiz. Trzeba wszakże przyznać, że w tym przypadku konwencje wydają się naturalne.

Centralną myślą rozprawy jest propozycja, by analizę zagadnienia nieolokalności w fizyce przeprowadzić przy pomocy logiki zdań kontrfaktycznych (*counterfactual*). Zdania

kontrfaktyczne stwierdzają zaistnienie czegoś pod warunkiem spełnienia pewnych okoliczności, które — jak się zakłada — nie są spełnione w rzeczywistości (s. 69). W istocie, prawie każde prawo fizyki może być sformułowane jako zdanie kontrfaktyczne. Np. „jeżeli na ciało nie działa żadna siła, to ciało porusza się...”. Ale w rzeczywistości nigdy nie jest tak, żeby nie działała jakaś siła. Logika zdań kontrfaktycznych nie jest łatwa do sformalizowania. Zdania kontrfaktyczne są na ogół silnie zależne od kontekstu. Kontekst oczywiście może się zmieniać, a w analizach opartych na logice zdań kontrfaktycznych kontekstem manipuluje się celowo. Przyjęło się każdy tego rodzaju kontekst nazywać *możliwym światem*. Możliwe światy tworzą zatem „wygodną strukturę, aby wyrażać rzeczy, które mogłyby być innymi niż są” (s. 73).

Pierwszą próbę sformalizowania logiki zdań kontrfaktycznych podjął Robert Stalnaker (1968). Wkrótce jednak paradygmatem w tej dziedzinie stała się formalizacja zaproponowana przez Davida Lewisa (pierwsza praca w 1973 r.). Do istoty całego zabiegu należy porównywanie możliwych światów „mało różnych” od rozważanego świata pod względem badanych własności. Od tego zależy prawdziwość zdań kontrfaktycznych. Okazuje się, że aby można z powodzeniem stosować formalizację Lewisa do analizy zagadnienia nielokalności w mechanice kwantowej, na-

leży tę formalizację poprawić, wprowadzając nowe kryterium „podobieństwa” możliwych światów. Kryterium takie proponuje Bigaj. Metoda Lewisa dopuszcza porównywanie światów nie tylko różnych pod względem indywidualnych faktów, lecz również pod względem obowiązujących w nich praw. Dopuszcza także „duże” i „małe” odstępstwa od tych praw. Bigaj natomiast dopuszcza jedynie różnice w indywidualnych faktach i w wielkości czasoprzestrzennych obszarów obejmujących te fakty.

W swojej oryginalnej wersji twierdzenie Bella opiera się na dwu założeniach: realizmu i lokalności. Doświadczalne łamanie nierówności Bella dowodzi, że te dwa założenia nie mogą być spełnione w mechanice kwantowej. Istnieje podejrzenie, że ten sam wynik można uzyskać, pomijając założenie realizmu. H. Stapp i Ph. Eberhard zaproponowali kontrfaktyczną wersję twierdzenia Bella (wraz z dowodem), która miałaby wykazywać, że — na mocy twierdzenia Bella — źródłem empirycznych sukcesów mechaniki kwantowej jest nielokalność. Długa dyskusja (obszernie referowana przez Bigaję w rozdz. III), wykazała jednak, że wniosku tego nie da się utrzymać, a dowód Stappa jest obarczony logicznym błędem.

Kolejną próbę obrony swojej tezy podjął Stapp, opierając się na doświadczeniu (typu Bella) zaproponowanym przez L. Hardy’ego. Tym

razem dowód Stappa jest poprawny, ale jego argumentacja, że z udowodnionego twierdzenia wynika nielokalność mechaniki kwantowej, jest — zdaniem Bigaję — nieprzekonywująca, m.in. z tej racji, że podczas przeprowadzania swojego dowodu Stapp nie stosuje jednej, odpowiednio ścisłej definicji nielokalności w mechanice kwantowej. Ażeby usunąć ten brak, trzeba powrócić do semantyki zdań kontrfaktycznych.

Bigaj wraca więc do dalszego „poprawiania” formalizmu Lewisa (dostosowywania go do potrzeb analizy mechaniki kwantowej). Trzeba dokładniej określić, co to znaczy, że możliwe światy „odpowiednio mało” różnią się od siebie. Bigaj odwołuje się do propozycji Lewisa (zwanej przez niego *asymmetry by fiat*), że powinniśmy brać pod uwagę tylko te światy, które aż do chwili  $t$  są identyczne z naszym światem. Ale jest to kryterium ewidentnie niereleatywistyczne, bo w relatywistycznych światach na ogół nie ma jednego czasu. Bigaj rozpatruje dwie propozycje poprawienia tego uchybienia: zamiast chwili  $t$  możemy wybrać zdarzenie  $e$  i za „identyczne w przeszłości” uznać te światy, które albo (C1) nie różnią się niczym poza stożkiem świetlnym przyszłości zdarzenia  $e$ , albo (C2) nie różnią się niczym wewnątrz stożka świetlnego przeszłości zdarzenia  $e$ . Po drobiazgowej analizie, Bigaj wykazuje, że oba podejścia są jednakowo do-

bre do „poprawienia” semantyki Lewisa i zastosowania jej do wstępnych analiz nielokalności występujących w mechanice kwantowej. Należy więc — przynajmniej tymczasowo — stosować oba podejścia do dalszych tego rodzaju analiz.

Przy pomocy (C1) i (C2) Bigaj definiuje warunek lokalności. Żąda on, by dowolnej kontrfaktycznej sytuacji, prawa fizyki gwarantowały, by obszary czasoprzestrzeni określone przez (C1) lub (C2) pozostały nienaruszone przez dokonanie pomiaru (kryterium to oznacza skróttem SLAC). Bigaj dowodzi niezależności tej definicji od wyboru (C1) lub (C2) (*de facto*, od pewnych ich uogólnień). Zastosowanie tych narzędzi do analizy twierdzenia Bella prowadzi do wniosku, że twierdzenie to zachowuje swoją ważność po zastąpieniu tradycyjnego założenia realizmu kontrfaktycznymi odpowiednikami.

Definicja SLOC odnosi się tylko do zdarzeń indeterministycznych. Celem dalszych analiz nielokalności, Bigaj rozciąga ją także na zdarzenia deterministyczne (BLOC). Drobiazgowa analiza twierdzenia Bella w oparciu o to nowe narzędzie prowadzi do wniosku, który nieformalnie można ująć następująco: Kontrfaktyczne sformułowanie twierdzenia Bella prowadzi do dylematu: albo musimy odrzucić teorię ukrytych zmiennych, albo dopuścić nielokalność w sensie „nielokalnego wpływu wywieranego przez niede-

terministyczny i niepodlegający kontroli wybór wyniku, jaki przyroda dokonuje w chwili wykonania kwantowego pomiaru” (s. 270) (chodzi o nielokalność oznaczoną w tabelce na s. 63 skrótem Non-Loc14).

Nasuwiają mi się następujące uwagi:

Na s. 24 czytamy, że działanie na odległość nie stanowiło dla Newtona żadnego problemu. Stwierdzenie to nie jest historycznie prawdziwe. Stanowiło ono przedmiot ostrych zarzutów stawianych Newtonowi, na które odpowiadał on wysunięciem aż kilku hipotez wyjaśniających. Uważał też, że przyszła fizyka to wyjaśni.

Bigaj chce — wielokrotnie to podkreśla — by jego analizy były „relatywistycznie niezmiennicze” i — jak sądzę — pragnie, by były ogólne. W takim razie na czasoprzestrzeń należy nałożyć pewne warunki, zmuszające stożki świetlne do „poprawnego zachowania”. Jak np. wyglądałyby sytuacja, gdyby w czasoprzestrzeni istniały zamknięte krzywe czasopodobne? Co wówczas stałoby się z warunkami (C1) i (C2)? Myślę, że rozsądnym założeniem byłoby przyjęcie, iż analiza ogranicza się do tzw. obszarów normalnych czasoprzestrzeni (w których stożki świetlne zachowują się w przybliżeniu tak jak w czasoprzestrzeni Minkowskiego).

Podstawą analiz Bigaja jest zachowanie się stożków świetlnych, ale czy — przynajmniej w niektórych

sytuacjach — nie byłoby wygodniej rozważać zachowania się krzywych przyczynowych (czasopodobnych lub zerowych), w stylu: „istnieje taka krzywa przyczynowa, że...”?

Autor wszędzie zakłada (miloczując), że stożki świetlne są „ostre” (jak w fizyce klasycznej). Jest to założenie naturalne, ale upraszczające. Może warto byłoby gdzieś zaznaczyć, że w mechanice kwantowej stożki świetlne mogłyby być „rozmyte”.

Mimo tych znaków zapytania otrzymaliśmy od Tomasza Bigajki książkę, które jest „solidną robotą”, odznacza się dużym stopniem logicznej kultury i wnosi szereg nowych elementów do dyskusji nad „nielokalnościami” w mechanice kwantowej i ich filozoficznymi aspektami.

*Michał Heller*

### **DWIE DROGI LEMAÎTRE'A**

◇ Dominique Lambert, *L'itinéraire spirituel de Geroges Lemâitre*, Lessius, Bruxelles 2007, s. 223.

Dominique Lambert jest znawcą postaci Lemaître'a i jego dzieła. Podobnie jak Lemaître, zajmuje się kosmologią, studiował na uniwersytecie w Louvain, z którym Lemaître był związany przez całe życie, a w dodatku czynnie uprawia problematykę z pogranicza nauki i religii. Po prostu

postać Lemaître'a nie mogła mu być obojętna. Poświęcił jej wiele czasu i wnikliwych studiów. Ich wynikiem była fundamentalna monografia *Un atome d'universe* (Lessius-Racine, Bruxelles 2000). Przygotowując ją, Lambert dokopał się do wielu nieznanych faktów z życia Lemaître'a. Przede wszystkim uzupełnił portret uczonego o prawie zupełnie dotychczas nieznaną profil duchownego i człowieka Kościoła (por. moją recenzję tej książki w *Zagadnieniach*, 27, 2000, 144-146). Ten wątek zafascynował Lamberta. Dzięki jego dalszym poszukiwaniom otrzymaliśmy nową książkę poświęconą „duchowej drodze” współtwórcy nowoczesnej kosmologii.

Dotychczas z dość ogólnikowych opowiadań Odonu Godarta, byłego asystenta i współpracownika Lemaître'a, było wiadomo, że powołanie do stanu duchownego zrodziło się u Lemaître'a z frontowych przeżyć podczas Pierwszej Wojny Światowej. Lambert zbadał sprawę dokładniej. Młody Lemaître już w szkole średniej myślał o wstąpieniu do seminarium, ale ojciec przekonał go, że najpierw powinien ukończyć studia wyższe. Na początku I Wojny Światowej do wojska zgłosił się ochotniczo, wraz ze swoim bratem, i całą kampanię wojenną przeżył na linii frontu. W okopach czytał *Electricité et optique* Poincarégo (egzemplarz z notatkami Lemaître'a jest przechowywany w jego Archi-