



## Wstęp

Tematem książki jest fizykalna ontologia mikroprzyczynowości. Problematyka ta towarzyszy teorii kwantowej od czasu jej sformułowania w połowie lat 20. XX w. i po stu latach, po sformułowaniu jej relatywistycznej wersji i ogromnym sukcesie w testowaniu kwantowej teorii pola (dalej: QFT), wydaje się z perspektywy filozofa fizyki coraz bardziej fascynująca. Metafizycy przekonani o realności klasycznego, czasowo asymetrycznego przyczynowania jako fundamentalnej własności przyrody są na polu teorii kwantowej najczęściej w defensywie, czasem nawet decydują się na sporą dozę filozoficznego separatyzmu. Pierwsza część książki pokazuje dlaczego klasyczne ujęcia przyczynowości, które próbuje się przenosić do mikrofizyki, rzeczywiście skazane są na spektakularną porażkę. Wnioski negatywne będą więc odpowiedzią na pytanie, dlaczego po prostu nie warto inwestować w intuicje i rozwiązania metafizyczne, które już w punkcie wyjścia rozmiągają się z głębokimi strukturalnymi i, jak się okazuje, topologicznymi własnościami teorii kwantowej. Taką fundamentalną własnością jest kontekstualność, której rola była zmarginalizowana na rzecz jej szczególnego typu dla układów złożonych – nielokalności, która zdominowała dyskusje od lat 80. XX w. Głównym celem książki jest określenie, czy i jak możliwa jest przyczynowa, lorentzowsko niezmiennicza interpretacja teorii kwantowej w sytuacji mocnej kontekstualności i całkowicie nieklasycznego zachowania kwantowej miary probabilistycznej. Będę starał się pokazać, że pojęcie kwantowego, uogólnionego przyczynowania jest sensowne i, co więcej, otwiera dla ontologii fizyki fundamentalnej niezwykle interesujące perspektywy.

W pewnym stopniu paradoksem jest, że od samego początku, od czasu jej sformułowania w latach 20. i wystąpień Bohra, zdawano sobie sprawę, że mechanika kwantowa (dalej: QM) jest z klasycznego punktu widzenia kauzalnie patologiczna, ale zarazem Dirac, Fock, Weyl i inni, kładąc na przełomie lat 20. i 30. podwaliny pod jej pełne sformułowanie relatywistyczne i późniejszą QFT, nie musieli w jakimkolwiek punkcie naruszać ani modyfikować struktury szczególnej teorii względności (dalej: STW). Również wszystkie najnowsze,

bardzo precyzyjne testy fizyczne nie wykazują minimalnego nawet naruszenia przez nią symetrii czasoprzestrzeni (np. Flowers i in. 2017; Bourgoin i in. 2017). Dla ontologii mikrofizyki stanowi to intrygującą zagadkę: kwantowa miara probabilistyczna jest radykalnie nieklasyczna ze względu na kontekstualność, blokując jakąkolwiek interpretację opartą na ewentualnej klasycznej przyczynowości statystycznej, a mimo to kauzalna, stożkowa struktura czasoprzestrzeni w teorii pola jest niezagrożona. Miara kwantowa oraz struktura ta wyglądają *prima facie* jak woda i ogień, czasami wydają się w połączeniu generować rażące paradoksy, a jednak, jak będę argumentował, wcale tak nie jest. Zamiast fizycznych sprzeczności napotykamy tylko mikrofizyczne osobliwości jako fenomeny fizyczne jakościowo nowego typu, co raczej wskazuje, że reżim kwantowy wcale nie jest środowiskiem wrogim przyczynowości, lecz tylko jej klasycznym modelem. W kwantowej teorii informacji problem ten można więc przeformułować jako strukturalną zgodność kwantowego zakazu sygnalizacji na odległość z lorentzowską niezmienniczością. Nie jest ona wcale ani oczywista, ani zapewne przypadkowa, co może mieć podstawowe znaczenie dla kwantowych modeli czasoprzestrzeni. Im dokładniej się jej przyglądamy, tym mniej kwantowa struktura historii oraz lokalna przyczynowość wyglądają jak woda i ogień, a kwantowe osobliwości kauzalne – jak paradoksy. Prezentują się tak raczej dlatego, że ontyczna kontekstualność *czasowa* permanentnie ignorowana jest jako własność fundamentalna w przyrodzie (rozdz. 3 i 4).

Istnieje oczywiście przyczynowe sformułowanie mechaniki kwantowej, które odniosło względny sukces – jest nim od lat 50. mechanika bohrowska (czy też interpretacja de Broglie’a–Bohma lub teoria fali pilotującej; dalej: MB). Choć najczęściej przedstawiana jest jako jedna z interpretacji, być może powinna być raczej traktowana jako alternatywna teoria kwantowa (np. Berndl, Daumer i in. 1995: 748; Dürr 2001: 133), jednak bez żadnego spójnego relatywistycznego sformułowania polowego. W pewnym sensie książka ta jest między innymi polemiką z MB i prezentacją powodów, dlaczego kauzalny realista powinien ją odrzucić jako ślepy zaułek, zamiast wiązać z nią nadzieje. Problemy z MB nie tkwią tylko w nielokalności działania w przestrzeni, ale sięgają o wiele głębiej – samego rozumienia i uniwersalności kwantowej kontekstualności. Jak będę starał się pokazać, rzecz w tym, że teoria ta jest konceptualnym regresem – czymś na podobieństwo, *mutatis mutandis*, dokonania odwrotu od mechaniki newtonowskiej do mechaniki kartezyjskiej – który jednak wcale nie pozwala, wbrew początkowej obietnicy, odzyskać ontycznego przyczynowania. Pozornie wydaje się, że śmiałe ograniczenie kontekstualności własności takich jak przestrzenne położenia jest dobrym sposobem na odzyskiwanie przyczynowości w mikrofizyce, gdyż ta druga jest wroga tej pierwszej, nie można mieć w pełni obu: i kontekstualności, i przyczynowości. Nic bardziej mylnego. W końcowej części będę starał się pokazać, jak *uogólniona* kwantowa przyczynowość i *mak-*

*symalna* ontyczna kontekstualność mogą być wręcz traktowane jak dwie strony jednej monety, co sprawia, że lokalne, zgodne ze stożkową strukturą czasoprzestrzeni przyczynowanie skrywa się właśnie tam, gdzie wydaje się – zgodnie z klasyczną intuicją – że jest wykluczone. Trzydzieści lat temu Adrian Heathcote (1989) argumentował, że próba budowania fizykanej ontologii przyczynowości opartej na cząstkach-indywiduach w przestrzeni jest skazana na porażkę – jedynie dynamicznie lokalna, kwantowo-relatywistyczna teoria pól w interakcjach może dać na to nadzieję. Zgadzam się z tą konkluzją i właśnie ze względu na fundamentalną rolę tych interakcji poświęcę wiele miejsca relatywistycznej fizyce splątania i procesom wirtualnym. Sympatyzuję też z opinią Heathcote’a (Heathcote 1989: 83 i n.), że z perspektywy naturalisty określenie fizycznej natury przyczynowania jest nawet ważniejsze niż tradycyjne analizy logiczne, na przykład kontrfaktyczne.

Wyjaśnienia wymaga przyjęta tu optyka filozoficzna i metodologia. Książka napisana jest z perspektywy ontologii fizyki, którą można określić jako „bliską” (*proximate*), w odróżnieniu od „dalekiej” albo „mocnej”, która wyraźnie autonomizuje domenę metafizyki. Oznacza to przede wszystkim, że sytuuje się ona bardzo blisko fizyki, nawet, a może zwłaszcza, doświadczalnej (co wyraźnie odróżnia ją od standardowej metafizyki analitycznej), i unika definiowania nieprzekraczalnego, sztywnego podziału zadań między fizyką a naturalistyczną filozofią, preferując zamiast tego „krzyżowe” inspiracje i w wielu miejscach symetrię relacji. U podstaw tej preferencji (por. np. Ladyman, Ross 2007: 7–45; Huggett, Wüthrich 2013: 284) leży przekonanie, że również filozofom fizyki powinno zależeć na takim zadawaniu pytań i formułowaniu spekulacji, by wiązały się z pracą fizyków i aktualnym stanem fizyki, a nawet *in spe* otwierały w niektórych przypadkach możliwości empirycznego testowania. Odpowiada ona też faktycznej, bynajmniej nie chwilowej, sytuacji braku wyraźnej granicy między badaniami z zakresu podstaw fizyki a filozofią fizyki. Filozofowie-naturaliści nie powinni obawiać się utraty swojej autonomii, o ile zakładamy przynajmniej częściową zbieżność, a nie rozłączność ambicji i motywacji poznawczych ontologii przyrody i fizyki fundamentalnej.

Warunkiem takiej ontologii „bliskiej” jest jednak unikanie przez filozofów programowego separatyzmu i upartego narzucania intensywnie rozwijającej się fizyce nieadekwatnych, często przestarzałych intuicji i kategorii. Jeśli wyniki uzyskiwane przez fizykę nie zgadzają się potocznymi czy akceptowanymi intuicjami, tym gorzej dla tych intuicji, zwłaszcza filozoficznych: gdyby spójne pojęcie przyczynowania okazało się w mikrofizyce nie do utrzymania (por. np. Brukner 2015; Araújo, Feix i in. 2017), należałoby z niego spokojnie zrezygnować. Niepokojące jest również, że wielu filozofów fizyki nie interesuje się, przemilcza czy ostentacyjnie ignoruje nowe wyniki eksperymentalne, możliwe dzięki szybko rozwijającym się technologiom, nowatorskim procedurom testowania.

wania i zaawansowanym metodom statystycznym. W wyraźnym odróżnieniu od technicznego, niejako standardowego krytycyzmu samych fizyków, motywacje filozofów, ukryte w dystansie do konkretnych wyników doświadczalnych w mikrofizyce, są niestety często bezproduktywne – stoi za nimi konserwatywna obrona potocznych intuicji czy wypracowanych przez filozofię kategorii analitycznych, immunizowanych na jakikolwiek postęp w fizyce. Ontologia bliższa traktuje takie obrony i „szarże filozoficzne” na polu fizyki nieufnie: więcej problemów generuje czasem – zamiast pomagać, klaryfikować i stymulować teorię – sama filozofia z jej historią i zdroworozsądkowymi przeświadczeniami, a nie fizyka. Jak zobaczymy, ontologia mikroprzyczynowości jest jednym z takich bardzo wrażliwych obszarów, gdzie sam filozof musi się najpierw systematycznie zastanawiać nad swoim własnym bagażem konceptualnym.

Książka ta nie jest pomyślana jako krytyczny przegląd statusu przyczynowości w rozwijanych interpretacjach mechaniki kwantowej, ani nie skupia się na analizie historycznej sporów wśród fizyków, jakie toczyły się od lat 20. XX w. Głównym zamierzeniem jest próba nowego, świeżego spojrzenia na problem przyczynowania ontycznego w mikrofizyce z perspektywy ontologa-kausalnego realisty, a więc w optyce otwarcie antyhumowskiej (i antykantowskiej). Takie spojrzenie jest, jak sądzę, nie tylko pożądane, ale może nawet konieczne ze względu na intensywny rozwój kwantowych modeli czasoprzestrzeni (por. np. Huggett, Wüthrich 2013; Crowther 2016). Jednym z zadań, jakie sobie stawiam, jest próba skonstruowania modelu rosnącej sieci kauzalnej – alternatywnego do tego, który zaproponował Phil Dowe (2000) – takiego, by był ontycznie kontekstualny, stochastyczny i możliwie najściślej związany z relatywistyczną teorią kwantową. W świecie polumowskim wydawało się, że wszystko, czego potrzebujemy, również w modelach stochastycznych, to jedynie *porządek* przyczynowy zdarzeń, a mówienie o kauzalnym „spoiwie” Wszechświata i ontycznym przyczynowaniu może zbliżać się niebezpiecznie do metafizycznego folkloru. Być może było tak w świecie mechaniki klasycznej; w mikrofizyce, w której z ontycznej kontekstualności bezpośrednio wynika istnienie splątania, tak nie jest. W książce tej chciałbym przekonywać, że to raczej tradycyjna deflacja, a nawet otwarta eliminacja fizycznego przyczynowania jako realnego spoiwa przyrody może okazać się chwilowym folklorem epistemologii.

\*

Składam podziękowania Guido Bacciagaluppiemu za cenne dyskusje na ostatnim etapie przygotowywania książki oraz recenzentowi Andrzejowi Łukasikowi za krytyczne uwagi i pomoc w uczynieniu jej lepszą. Dziękuję też Antoniemu Szczucińskiemu za wsparcie i komfort pracy w Zakładzie Filozofii Nauki Instytutu Filozofii UAM.