

MAREK ŁAGOSZ

STRZAŁKA CZASU A NIEKTÓRE INTERPRETACJE MECHANIKI KWANTOWEJ

1. WSTĘP

W badaniach nad czasem rozważa się zwykle wiele fizykalnych wskaźników nieodwracalności (strzałki) czasu. Należą do nich np.: druga zasada termodynamiki (zasada wzrostu entropii – w wersji „klasycznej” oraz statystycznej), ewolucja wszechświata od wielkiego wybuchu do stanu obecnego (ekspansja, rozszerzanie się wszechświata), asymetria promieniowania (obserwowane przez nas fale rozchodzą się koncentrycznie; w naturze nie stwierdzamy zaś procesu odwrotnego: koncentrycznego schodzenia się fal). Problemy związane ze wskazanymi wyznacznikami strzałki są szeroko dyskutowane w bogatej literaturze przedmiotu¹.

Dr hab. MAREK ŁAGOSZ, prof. UWt. – Zakład Filozofii Systematycznej, Instytut Filozofii, Uniwersytet Wrocławski; adres do korespondencji: ul. Koszarowa 3, 51-149 Wrocław; e-mail: lagosz@o2.pl

¹ H. Mehlberg, *Time, Causality and the Quantum Theory*, ed. by R. S. Cohen, preface by A. Grünbaum, t. II: *Time in a Quantized Universe*, Dordrecht–Boston–London 1980, s. 152-202; M. Dorato, *Time and Reality. Spacetime Physics and the Objectivity of Temporal Becoming*, Bologna 1995, s. 175-182.

W poszukiwaniu uzasadnienia jednokierunkowości (nieodwracalności) czasu teoretycy schodzą też na bardziej podstawowy (niż fizykalny) poziom – na poziom ontologiczny. Według wielu teoretyków asymetryczność (nieodwracalność, jednokierunkowość) gwarantowana jest przez specyfikę relacji przyczynowej. Mauro Dorato np. pisze w tym kontekście: „Perhaps, the asymmetry of causation is even more fundamental than the irreversible processes that we take to mark out the ‘direction’ of time” (*Time and Reality*, s. 178).

Dodajmy jeszcze, że przyjęcie tzw. kauzalnej teorii czasu nie zawsze jest równoznaczne z uznaniem strzałki czasu. Niektórzy, a należą do nich np. H. Mehlberg (*Time, Causality and the Quantum Theory*, ed. by R. S. Cohen, preface by A. Grünbaum, t. I: *Essay on the Causal Theory*

Omawiając zagadnienie strzałki czasu, nie sposób nie odnieść się – choćby w ograniczonym tylko stopniu – do dziedziny mechaniki kwantowej. Niektórzy (np. Henryk Mehlberg) bardzo dużo miejsca poświęcają temu zagadnieniu rozpatrywanemu w kontekście teorii kwantowej. Dla Mehlberga powodem takiego rozłożenia akcentów jest nowoczesność i uniwersalność teorii kwantowej, której w żadnym wypadku nie należy ograniczać do dziedziny mikrokosmosu². Dlatego też – zdaniem Mehlberga – badania czasu kwantowego mają zastosowanie do wszystkich poziomów rzeczywistości materialnej³.

W artykule niniejszym koncentruję się na niektórych kwantowomechanicznych przesłankach tezy o (nie)istnieniu strzałki czasu. Zwracam tu m.in. uwagę na rolę funkcji falowej Schrödingera, na swoistą interpretację pary cząstka-antycząstka oraz na problem pomiaru w mechanice kwantowej. W pierwszym jednak rzędzie rozważam słynny eksperyment Einsteina-Podolsky'ego-Rosena (EPR-eksperyment). Jeśli chodzi zaś o interpretacje mechaniki kwantowej, z punktu widzenia których podejmuję wskazane zagadnienia, to w zasadzie ograniczam się do dwóch: tzw. interpretacji kopenhaskiej oraz Davida Bohma koncepcji „parametrów ukrytych”.

of Time, Dordrecht–Boston–London 1980, s. 195-205), wprowadzają bowiem symetryczną koncepcję przyczynowości).

W filozofii czasu rozważa się też inne zgoła (niż fizyczne czy ontologiczne) kryterium strzałki – a mianowicie kryterium „fenomenologiczne”, odwołujące się do funkcji pamięci (Mehlberg, *Time, Causality and the Quantum Theory.*, t. I, s. 166-170).

² Mehlberg, *Time, Causality and the Quantum Theory*, t. II, s. 168. Jest to zresztą dość oczywiste, jeśli uwzględnić moc wyjaśniającą (poprzez redukcję) wielu praw kwantowych w stosunku do zjawisk skali makro czy mega. Jako przykład można tu podać użycie analizy spektralnej do obliczenia „obfitości” pierwiastków chemicznych (tamże, s. 175).

³ Tamże. Powstaje tu pytanie, czy czas kwantowomechaniczny może być identyfikowany z czasem kosmicznym (?). Mehlberg sugeruje, że tak (tamże). Czy jednak nie jest to zbyt daleko posunięty redukcjonizm (układów złożonych do budujących je „ostatecznostek”)? Inna wątpliwość w tym kontekście: skoro prawa kwantowe są uniwersalne, to po co fizycy poszukują teorii superunifikacji? Czy na dzień dzisiejszy nie istnieje zasadnicza rozbieżność między strukturą pojęciową fizyki klasycznej i teorii kwantowej?

2. „DZIAŁANIE WYPRZEDZONE” A EPR-PARADOKS

W kontekście uzasadniania strzałki czasu Huw Price wskazuje na zasadę „niezależności schodzących się wpływów”, głoszącą, że „własności oddziałujących układów są niezależne, zanim wejdą one w interakcję – choć, oczywiście, nie potem, gdyż same oddziaływanie zrodzi najprawdopodobniej pewne korelacje”⁴. Układy fizyczne (np. cząstki gazu) będą ze sobą wzajemnie tak czy inaczej skorelowane – nawet jeśli nie spotkają się już nigdy w przyszłości⁵. Price’a interesuje najbardziej ekstrapolacja tej zasady na poziom mikrofizyki, gdyż tam zasada niezależności schodzących się wpływów nie opiera się – jego zdaniem – na żadnych danych doświadczalnych. Filozofowi nie podoba się założenie, że interakcja stwarza korelacje czasowe tylko w jednym kierunku (zasada niezależności schodzących się wpływów obowiązuje ku przyszłości, a nie – przeszłości). Korygując ten stan rzeczy, wprowadza pojęcie „korelacji preinterakcyjnej” jako oppositum pojęcia „korelacji postinterakcyjnej”⁶. Jeśli chodzi o korelacje preinterakcyjną, to świadectw jej istnienia poszukuje się zwykle w mechanice kwantowej. Price zauważa, że działanie wyprzedzone realizuje się w świecie właśnie na poziomie kwantowym⁷. Chodzi tu głównie o zjawisko nielokalności, ilustrowane przez słynny eksperyment myślowy Einsteina-Podolsky’ego-Rosena (tzw. EPR-paradoks) (właściwie jest to cała klasa eksperymentów myślowych). W wersji „spinowej”, podanej później przez Dawida Bohma eksperyment ten najogólniej i najprościej można streścić następująco: pomiar spinu dokonany w jednym miejscu i dotyczący jednej z cząstek pewnej kwantowej pary może natychmiast w ściśle określony sposób wpłynąć na drugą

⁴ H. Price, *Strzałka czasu i punkt Archimedes’a. Nowe kontrowersyjne spojrzenie na czas i współczesną fizykę*, tł. P. Lewiński, Warszawa 1998, s. 141.

⁵ Tamże, s. 40.

⁶ Tamże, s. 145-146.

⁷ Tamże, s. 229. Jako egzemplifikację pojęcia działania wyprzedzonego, ukazującą zarazem jego paradoksalność z „klasycznego” punktu widzenia można podać np. następującą sytuację: analiza składu chemicznego krwi odzwierciedla w pewnym stopniu stany narządów wewnętrznych badanego, gdyż krew, krążąc po organizmie, wchodzi w rozmaite korelacje z organami wewnętrznymi. Załóżmy, że pacjent jest przed transfuzją krwi. W przyszłości krew przetaczana będzie wchodzić w skład jego organizmu i odzwierciedlać w pewnej mierze stan jego zdrowia. Ten, kto przyjmuje założenie o działaniu wyprzedzonym (o „oddziaływaniu” przyszłości na przeszłość), musiałby w tym wypadku uznać, że skład chemiczny krwi już przed transfuzją odzwierciedla stan zdrowia pacjenta, który dopiero w przyszłości zostanie poddany zabiegowi transfuzji.

cząstkę. Cała „tajemnica” polega tu na tym, że cząstki te w momencie pomiaru znajdują się w takiej odległości, iż niemożliwe jest wykorzystanie takiego wpływu do przesłania informacji (skończona prędkość rozchodzenia się sygnałów w świecie⁸). Widać, że w takiej sytuacji nie obowiązuje asymetryczna zasada schodzących się wpływów w jej klasycznej wersji. Cząstki rozpatrywane w eksperymentach myślowych EPR są skorelowane (tj. skorelowane są pewne ich kwantowe stany, np. kierunki spinów), mimo że fizycznie niemożliwa jest ich interakcja. Jednym ze sposobów „wyjaśnienia” takiego stanu rzeczy byłoby wskazanie, że jest to – używając sformułowania Price’a – „korelacja preinterakcyjna”. Ontologicznie jednak biorąc, nie byłaby to sytuacja korzystna, gdyż prawdopodobnie pociąga ona za sobą jakąś formę finalizmu (teleologii). Jeśli bowiem uznamy, że jakaś interakcja w przyszłości (taką, która jeszcze nie zaszła) stanowi podstawę do przyjęcia tezy o skorelowaniu dwóch zdarzeń, to przyznamy *de facto*, że przyszłość determinuje przeszłość. Ponieważ taki zwrot determinacji kłóci się ze zwrotem oddziaływania przyczynowego, pozostaje chyba uznać, że obie cząstki znajdujące się w stanie „kwantowego splątania” „dążą” do tego samego celu. Ponieważ jednak pojęcie celu wiąże się ze świadomością, a sfera zdarzeń fizycznych (abstrahując od wąskiego obszaru techniki) wykracza poza planową działalność ludzi, trudno w tym wypadku uniknąć jakiegoś rodzaju spirytualizmu. Oczywiście – biorąc rzecz psychologicznie – spodziewana przeze mnie przyszłość może wpłynąć (i zwykle wpływa) na mój stan obecny, ale – po pierwsze – układy fizyczne niczego się nie spodziewają, a po drugie – i ważniejsze – to nie przyszłość wpływa na mnie, lecz moje aktualne wyobrażenie przyszłości.

Uznanie istnienia korelacji preinterakcyjnych oznacza w zasadzie rezygnację z asymetrii kauzalnej⁹. Tę ostatnią uzasadnia – jak ujmuje to Price – „asymetria widełkowa”: procesy rozchodzące się ze wspólnego centrum są skorelowane, a schodzące się – nie są¹⁰. Związek asymetrii widełkowej z przyczynowością pokazać można na przykładzie ognia jako skutku – dla ułatwienia – dwóch przyczyn cząstkowych nieskorelowanych, np. rzucenia niedopałka na ściółkę i długotrwałej suszy. Ogień z kolei jest przyczyną

⁸ R. Penrose, *Cienie umysłu. Poszukiwanie naukowej teorii świadomości*, tł. S. Amsterdamski, Poznań 2000, s. 306-307.

⁹ Por. Price, dz. cyt., 156.

¹⁰ Tamże, s. 165-168.

dwóch skutków skorelowanych: ciepła i dymu¹¹. Eksperyment EPR sugeruje, że w mikrofizyce nie ma asymetrii widełkowej.

¹¹ Por. tamże, s. 168-169. Price wyraża wątpliwość, czy „wszystkie wspólne przyczyny rzeczywiście stwarzają korelacje między ich skutkami”. Sugeruje on zarazem negatywne rozwiązanie tej kwestii. Uzasadnienie jego jest jednak zupełnie nieprzejrzyste, czy wręcz wadliwe (*ignoratio elenchi*). Wykazuje on bowiem jedynie, że skutki (np. dym i ciepło) nie zawsze są w świecie skorelowane: nie są skorelowane wtedy, gdy zostaną wytworzone niezależnie, przez różne przyczyny. Jest raczej oczywiste, że dym z jednego ogniska nie pozostaje w istotnej korelacji z ciepłem z innego ogniska. W asymetrii widełkowej chodzi jednak – jak to rozumiem – o korelacje między procesami wychodzącymi z tego samego źródła (między skutkami cząstkowymi tej samej przyczyny). Poza tym stwierdzenie, że fakt przyczynowania nie zależy od korelacji między skutkami tego przyczynowania jest raczej oczywiste. Inaczej mówiąc: przyczyna nie dlatego wytwarza swe skutki cząstkowe, gdyż są one skorelowane, lecz są one skorelowane, gdyż pochodzą od wspólnej przyczyny. O ile jednak pochodzenie od wspólnej przyczyny (z tego samego źródła) wydaje się być warunkiem dostatecznym korelacji, o tyle może pojawić się wątpliwość, czy jest to także warunek konieczny. Temu ostatniemu przeczyłaby nielokalność niektórych zjawisk kwantowych. Sama nielokalność jednak może być przedmiotem licznych wątpliwości (problem parametrów ukrytych). Poza tym, empirycznie rzecz biorąc, trudno byłoby wskazać dwa zdarzenia (stany), które byłyby skorelowane, a nie pochodziłyby ze wspólnego źródła. Zakładamy wszakże, że świat nasz wyewoluował ze stanu osobliwego w rezultacie wielkiego wybuchu. W tym sensie cała materia (wszystkie zjawiska) ma wspólne źródło. Z pozoru niezgodne z asymetrią widełkową korelacje między procesami schodzącymi się mogą być zatem konsekwencją tego, że – genetycznie i pierwotnie rzecz ujmując – wszystkie procesy w naszym świecie były rozchodzące się. Inaczej: choć nie wszystko oddziałuje (bezpośrednio lub pośrednio) ze wszystkim, to wszystko wydaje się być połączone ze wszystkim przynajmniej – jak nazywa to J. Lipiec – „uwarunkowaniem przechodnim” (J. L i p i e c, *Ontologia świata realnego*, Warszawa 1979, s. 258-270). Takie tłumaczenie wydaje mi się lepsze niż to przyjmowane przez Price’a, zgodnie z którym problem korelacji nielokalnych pozwala nam rozstrzygnąć uznanie tzw. działania wyprzedzonego, czyli złamanie asymetrii czasowej. Zamiast zatem zależność układów wchodzących w korelację nielokalną tłumaczyć ich wspólną przyczyną, genezą, przeszłością (Reichenbachowska zasada wspólnej przyczyny), należy raczej wykorzystać „znaczenie przyszłych interakcji dla stanu obecnego” (P r i c e, dz. cyt., s. 262). Pojawia się w tym wypadku wątpliwość, czy „zjawisko” mocno problematyczne, jakim jest – np. z punktu widzenia fizyki relatywistycznej – nielokalność, można uchylić, przyjmując założenie jeszcze bardziej problematyczne: „hipotezę wspólnej przyszłości” (tamże, s. 278) – rozumianą tak np., że obiekt kwantowy i urządzenie pomiarowe wchodzi w korelację w przyszłości, co wpływa na obecne wartości stanu kwantowego i ustawienia przyrządu pomiarowego. Przy tym – według Price’a – hipoteza ta nie stoi w sprzeczności z STW, gdyż dla jej wyjaśnienia nie potrzeba zakładania nośnika działającego szybciej niż światło (tamże, s. 283). Trzeba przyznać, że jest to dosyć niezrozumiała konstatacja. Jeśli bowiem sygnał nie idzie z przyszłości, czyli szybciej niż światło, to dlaczego filozof pisze w ogóle o „działaniu przyspieszonym”. Price argumentuje ponadto, że rozpatrywane w danym przypadku obiekty noszą w sobie ślady swej przyszłości. Dlaczego jednak – zapytajmy – noszą one te ślady? Otóż – jeśli odrzucimy realny wpływ nieistniejącej przecież przyszłości – to trzeba będzie przyznać chyba, iż dlatego, że ich przyszłość jest w jakimś stopniu (względnie jednoznacznie)

3. EPISTEMICZNA INTERPRETACJA EKSPERYMENTU EPR

Oczywiście sam eksperyment typu EPR może być przedmiotem kontrowersji. Najprostszym zarzutem jest uwaga, że korelacja między odpowiednimi wielkościami (np. kierunkami spinów) jest analogiczna do sytuacji, w której wiemy o kimś, że nosi on zawsze dwie skarpetki w różnym kolorze, powiedzmy czerwoną i niebieską. Jeśli zatem zaobserwujemy, że na prawej nodze ma on skarpetkę niebieską, to wiemy automatycznie, że na lewej nodze nosi on skarpetkę czerwoną¹². Przypadek taki jest sytuacją czysto epistemiczną: nie chodzi tu o żadną nietypową korelację ontyczną (tj. korelację bez interakcji), a jedynie o naszą wiedzę i o banalną jej konsekwencję logiczną. Znamienny w tym kontekście jest fakt, że w bardzo licznych interpretacjach EPR używa się (wprawdzie zwykle w cudzysłowie – ale jednak) terminów epistemicznych: mówi się, że skoro cząstki są izolowane (znajdują się w odseparowanych obszarach czasoprzestrzeni) i występuje między nimi bezpośrednia korelacja, to muszą one coś o sobie „wiedzieć”. Obdarza się zatem cząstki elementarne jakimś rodzajem psychiczności (podmiotowości)¹³. I chociaż sygnalizuje się przy tym zwykle metaforyczność wypowiedzi, to można – moim zdaniem – mówić o dość powszechnym w rozmaitych interpretacjach mechaniki kwantowej zjawisku „epistemologizacji” ontologii¹⁴.

wyznaczona. Nawet jednak z punktu widzenia skrajnego determinizmu nie możemy powiedzieć, że kierunek czasu nie gra roli. Można tu co najwyżej przyjąć redundancję epistemologiczną (równa moc prognostyczna prognozy i postgnozy). Z ontologicznego punktu widzenia jednak nieistnienie czegoś jest nieistnieniem – nawet jeśli to coś koniecznie zaistnieje w przyszłości.

Wątpliwy przy tym wszystkim jest moim zdaniem argument przeciwko zasadzie wspólnej przeszłości, który sugeruje związany rzekomo z tym założeniem skrajny determinizm typu Laplace'owskiego. Wspólne źródło nie przesądza przecież fatalnie o tym, jaki musi być kres czy poszczególne etapy rozwoju elementów danego układu. Rozmaite wpływy zewnętrzne mogą przecież ten rozwój modyfikować.

¹² Penrose, dz. cyt., s. 360-361.

¹³ W jednej z prac poświęconych interpretacji mechaniki kwantowej czytamy np.: „If the two particles are isolated from one another, then in order to maintain their strict correlations, they must have already ‘decided’ what the results of the measurement will be, no matter when the measurement is made” (W. M. Dickson, *Determinism and Locality in Quantum Systems*, „Synthese” vol. 107, No. 1, April 1996, s. 71).

¹⁴ Podobnie „indeterminizm” mechaniki kwantowej (przyjmowany np. w interpretacji kopenhaskiej) można rozpatrywać jako wyraz pewnych ograniczeń epistemicznych. Tak jest w teorii „parametrów ukrytych” Dawida Bohm'a. Za taką interpretacją opowiadał się także A. Einstein,

Zwykle jednak zwolennicy „nielokalnej” interpretacji eksperymentu EPR zwracają uwagę, że opisywana w nim sytuacja jest bardziej skomplikowana. Penrose wskazuje np., że „sam wybór kierunku pomiaru spinu lewej cząstki *powoduje* [kursywa moja] ustalenie kierunku spinu prawej cząstki”¹⁵. Trudno jest tylko – jak sądzę – powiedzieć w tym wypadku, jaki jest sens fizyczny owego powodowania ustalenia kierunku spinu. Jego natychmiastowość kłóci się z podstawowym założeniem fizyki relatywistycznej. W STW (szczególnej teorii względności) mamy ograniczony wpływ odseparowanych od siebie obszarów czasoprzestrzeni¹⁶. Jeśli dokonujemy pomiaru w odseparowanych regionach czasoprzestrzeni, wtedy nic, co zdarza się chociaż w jednym rejonie pomiaru, nie może wpływać na to, co dzieje się w innych. Oczywiście nie można wykluczyć, że jest to ograniczenie fizyki relatywistycznej; nie powinno się jednak uznać tego zbyt pochopnie. Dlatego chociażby, że – jak przyznaje sam Penrose – ustalenie takie (ustalenie kierunku spinu w eksperymencie typu EPR) „nie powoduje, samo w sobie, żadnych obserwowalnych efektów”¹⁷. Ponieważ, póki co, nie ma sposobu, by za pomocą procedury EPR przesłać natychmiastowo sygnał od „lewej” cząstki do „prawej”, nie istnieje falsyfikatory jednej z głównych zasad fizyki relatywistycznej (ograniczona prędkość rozchodzenia się sygnałów w świecie). Mimo braku jednoznacznych empirycznych podstaw¹⁸ istnienia korelacji bez

który wierzył, że zasadniczo statystyczny charakter współczesnej teorii kwantowej jest związany z tym, że teoria ta operuje niepełnym opisem systemu fizycznego (Sh. Goldstein, *Review Essay: Bohmian Mechanics and the Quantum Revolution*, „Synthese” vol. 107, No.1, April 1996, s.146). Za Stanisławem I. Witkiewiczem indeterminizm współczesnej fizyki można by nazwać „indeterminizmem ułomnościowym” (zob. B. Michalski, *Polemiki filozoficzne Stanisława Ignacego Witkiewicza*, Warszawa 1979, s. 39).

Oczywiście „rzucając” hasło „epistemologizacji” (czy szerzej – antropomorfizacji) ontologii w niektórych interpretacjach mechaniki kwantowej, wysuwam tylko sugestię, której uprawdopodobnienie wymagałoby odrębnych badań.

¹⁵ Penrose, dz. cyt., s. 361.

¹⁶ Fakt, że zdarzenia dziejące się w jednych miejscach rozchodzą się do innych miejsc szybciej niż światło, J. S. Bell nazywa „zadziwiająca cechą” mechaniki kwantowej (Goldstein, dz. cyt., s. 153).

¹⁷ Penrose, dz. cyt., s. 361.

¹⁸ Sheldon Goldstein twierdzi wprawdzie, że analizy J. S. Bella pokazują, iż nielokalność jest implikowana jedynie przez same obserwacyjne konsekwencje standardowej mechaniki kwantowej i jeśli natura ma być zgodna z tymi przewidywaniami, to wtedy jest ona nielokalna (Goldstein, dz. cyt., s. 151). Problem jednak w tym, czy natura jest rzeczywiście zgodna z tymi przewidywaniami (?). Przecież – metodologicznie rzecz biorąc – mogłoby się okazać, że pewne empiryczne przewidywania mechaniki kwantowej są trafne mimo fałszywości przesłanki o nielokal-

interakcji (momentalnego oddziaływania na odległość, nielokalności) wielu teoretyków utrzymuje, że w mechanice kwantowej nie można obejść się bez bezpośrednich korelacji (*strict correlations*), które – jako bezpośrednie manifestacje zachowania się spinu – nie są czymś akcydentalnym w formalizmie mechaniki kwantowej¹⁹. O tej ostatniej J. S. Bell pisał : „[...] in this theory an explicit causal mechanism exist whereby the disposition of one piece of apparatus affects the results obtained with a distant piece”²⁰. Goldstein twierdzi, że nierówności Bella pokazują, iż nie istnieje taka teoria „parametrów ukrytych”, która usuwałaby nielokalność mechaniki kwantowej. Co więcej – zdaniem tego autora – analizy Bella wskazują, że wszystkie ukryte zmienne, wyjaśniające fenomeny kwantowe muszą być nielokalne²¹.

Mimo wszystko wydaje się, że jednak kwestią interpretacji jest, czy uznamy, że eksperymenty EPR świadczą o nielokalności (korelacja bez interakcji) zjawisk kwantowych, czy o czymś innym zgoła. Zwróćmy bowiem uwagę, że w opisach eksperymentów typu EPR mówi się zwykle o korelacji cząstek wychodzących z jednego źródła²². Trudno jednak w takim wypadku uznać, że cząstki nie były z sobą skorelowane: wspólne źródło oznacza wspólną historię. Mielibyśmy tutaj przypadek asymetrii widelkowej (procesy rozchodzące się ze wspólnego centrum są skorelowane), która pozwala przypuszczać, że do odpowiedniej korelacji dochodzi nie w trakcie pomiaru danej wartości w momencie, gdy badane cząstki znajdują się odpowiednio daleko od siebie (w takiej odległości, która uniemożliwia przesłanie sygnału fizycznego w odpowiednim czasie), lecz już „w obrębie” owego wspólnego źródła. Supozycję tę można by uważać za zgodną z alternatywną (do inter-

ności. Sam zaś efekt oddziaływania na odległość (przesłania natychmiastowego sygnału) układów znajdujących się w „odseparowanych” obszarach czasoprzestrzeni nie został jeszcze – o ile wiem – potwierdzony bezpośrednio empirycznie. Nie sfalsyfikowano przecież jeszcze podstawowego założenia fizyki relatywistycznej o ograniczonej prędkości rozchodzenia się oddziaływań (prędkość światła w próżni jako prędkość graniczna). M. Heller wspomina wprawdzie o tym, że nielokalność typu EPR została poświadczona doświadczalnie przez eksperyment przeprowadzony przez Alana Aspecta, dodając, że „nielokalność (typu EPR) wynika z postulatów mechaniki kwantowej” (M. Heller, *Początek jest wszędzie. Nowa hipoteza pochodzenia świata*, Warszawa 2002, s. 130.). Czy jednak są to „konkluzywne” argumenty za EPR-nielokalnością? Przecież sama mechanika kwantowa może w tym względzie podlegać odmiennej interpretacji (o czym piszę niżej).

¹⁹ Zob. np. Dickson, dz. cyt., s. 62.

²⁰ Goldstein, dz. cyt., s. 150.

²¹ Tamże, s. 150-151.

²² Dickson, dz. cyt., s. 56.

pretacji „nielokalnej” i „indeterministycznej” [statystycznej]) wykładnią mechaniki kwantowej, jaką zaproponował D. Bohm. Chodzi tu o jego teorię parametrów ukrytych (*hidden variables*), która wskazywała na to, że „indeterminizm” (determinizm statystyczny) teorii kwantowej i takie jej konsekwencje, jak np. nielokalność, są rezultatem niezupełności opisu kwantowomechanicznego, a więc mają podłoże czysto epistemiczne. Bohm był przekonany, że wprowadzenie ukrytych parametrów pozwoli przekształcić „indeterministyczny” opis mikroświata w opis deterministyczny. Bohm określał czasem swoją teorię mianem „kauzalnej interpretacji mechaniki kwantowej”²³. Nieco dokładniej: według Bohma system cząstek jest częściowo tylko określony przez ich funkcje falowe – zgodnie z równaniem Schrödingera. Opis jest uzupełniany przez sprecyzowanie pozycji cząstek. Polega ono na podaniu równań, które wyrażają prędkości cząstek²⁴. Wracając do poczynionej na początku tego akapitu uwagi, dotyczącej eksperymentu EPR: niewykluczone, że za zmienne ukryte można by też uznać te charakterystyki skorelowanych cząstek, które określają interakcję tych cząstek we wspólnym źródle (?). W każdym razie dla zwolennika „podejścia symetrycznego” do procesów kwantowych asymetria czasowa, związana z ewolucją funkcji stanu (stan zależy od poprzedniego pomiaru, lecz nie od następnego), nie stanowi problemu dopóty, dopóki „funkcję stanu traktuje się jako opis niekompletny. Trudności powstają tylko przy interpretacji zakładającej pełność opisu, bo wtedy reprezentuje ona obiektywną asymetrię czasową świata”²⁵.

Koncepcja Bohma nie była jednak najlepiej przyjęta i znalazła licznych krytyków wśród zwolenników „ortodoksyjnej” (kopenhaskiej) wykładni mechaniki kwantowej. H. Reichenbach np. w swej interpretacji mechaniki kwantowej broni tzw. *synoptic principle*, zgodnie z którym funkcja falowa (Ψ -function) jest najbardziej zupełnym z możliwych opisów stanu danego układu²⁶. Zdaniem Reichenbacha dobrze jest założyć zupełność opisu kwantowomechanicznego, bo w przeciwnym razie łatwo o wprowadzenie w mechanice „anomalnej” formy determinizmu. Prawa kwantowomechaniczne nie interpretowane „indeterministycznie” i statystycznie zakładałyby, według filozofa, *actio in distans*²⁷.

²³ Goldstein, dz. cyt., s. 148.

²⁴ Tamże, s. 148.

²⁵ Price, dz. cyt., s. 243-244.

²⁶ H. Reichenbach, *The Direction of Time*, ed. by M. Reichenbach, Berkeley-Los Angeles 1956, s. 214.

²⁷ Tamże, s. 219-221.

Warto zauważyć, że możliwości podważenia „nielokalnej” interpretacji eksperymentów typu EPR (korelacja bez interakcji) na podstawie przyjęcia tezy, zgodnie z którą korelacja cząstek jest skutkiem interakcji „w źródle”, ma związek z pewną kosmologiczną koncepcją M. Hellera. Koncepcja ta dotyczy stanu osobliwego w ewolucji świata, który stanowić ma tzw. reżim nieprzemienny (adekwatnym narzędziem jego opisu jest geometria nieprzemienna). Nie będę tutaj wchodził w szczegóły złożonej koncepcji Hellera ani wskazywał na wiążące się z nią trudności²⁸. Istotne jest tutaj to, że Autor zasugerował następujące wyjaśnienie paradoksu EPR: nielocalne korelacje są pozostałością po „przedplanckowskim” stadium ewolucji świata. W tym stanie osobliwym „każda właściwość świata miała charakter globalny [...] wszystko było wówczas ze sobą odpowiednio zsynchronizowane”²⁹. Dopiero po przejściu przez „próg Plancka” wyłoniła się czasoprzestrzeń i przyczynowo izolowane obszary. Myślę, że koncepcję tę można rozumieć tak: „nielocalne” korelacje są efektem interakcji w erze „przedplanckowskiej”. Wyjaśniałoby to także ideę „samouzgodnienia” w fizyce cząstek elementarnych, zgodnie z którą „istnieje uniwersalna współzależność wszystkich cząstek”³⁰.

Faktem jest, że coraz trudniej rozeznaczyć się w gąszczu rozmaitych specjalistycznych, subtelnym i złożonych argumentów, jakie wytaczają teoretycy za lub przeciw jednej ze wspomnianych opcji³¹. Jako filozofowi bardziej odpowiada mi interpretacja Bohma (lokalna i deterministyczna), gdyż wydaje mi się bardziej obiektywna, mniej uwikłana w konteksty epistemiczne (np. odniesienie do obserwatora³² czy przypisywanie cząstkom elementarnym „wiedzy” lub jakichś innych znamion podmiotowości)³³, a ponadto – co

²⁸ Zrobiłem to w napisanym wcześniej artykule: M. Ł a g o s z, *Matematyczny początek świata. Kilka uwag filozoficznych do książki Michała Hellera „Początek jest wszędzie. Nowa hipoteza pochodzenia Wszechświata”*, „Przegląd Filozoficzny – Nowa Seria”, 14 (2005), nr 1(53), s. 121-133.

²⁹ H e l l e r, *Początek jest wszędzie*, s. 144.

³⁰ I. P r i g o g i n e, J. S t e n g e r s, *Z chaosu ku porządkowi. Nowy dialog człowieka z przyrodą*, tł. K. Lipszyc, Warszawa 1990, s. 109.

³¹ Przy tym rozważane tu konkurencyjne koncepcje „działania wyprzedzonego” i parametrów ukrytych” nie są jedynymi możliwymi interpretacjami doświadczenia EPR (por. np.: R. P. F e y n m a n, R. B. L e i g h t o n, M. S a n d s, Feynmana wykłady z fizyki, t. III (*Mechanika kwantowa*), tł. A. Pindor, W. Gonkowski, A. Szymacha, Warszawa 2004, paragraf 18.3).

³² Jak np. w przypadku słynnego eksperymentu myślowego zwanego „kotem Schrödingera”.

³³ Często wskazuje się, że interpretacja Bohma ma charakter ontologiczny, podczas gdy „ortodoksyjna” wykładnia kopenhaska – epistemologiczny (np. tamże, s. 156). Dokładniej: zwraca się uwagę, że interpretacja kopenhaska zakłada klasyczną ontologię na poziomie makroskopowym (bez niej trudno byłoby dyskutować o wynikach pomiaru, które przecież manifestują się na

może najważniejsze – nie rodząca dualizmów w obrębie fizyki (zasadniczych różnic między fizyką relatywistyczną a mechaniką kwantową): lokalność-nielokalność, determinizm-indeterminizm, jednoznaczność-statystyczność i inne. Oczywiście nie jest wykluczone, że natura świata jest w tym właśnie sensie dualna i na nic próby osiągnięcia jedności, odwołujące się do jednego z członów opozycji. Całkiem możliwe, że teoria superunifikacji dokona się nie przez „redukcję”, lecz przez „syntezę”, w której oba dualne człony okażą się momentami jedności wyższego rzędu (?).

4. CZASOWA SYMETRIA NOMOLOGICZNA

Podchodząc teraz ogólniej do problemu (nie)odwracalności procesów fizycznych, rozpatrywanego z punktu widzenia mechaniki kwantowej, zauważmy za H. Reichenbachem, że gdyby elementarne procesy kwantowe nie podlegały czasowej symetrii, tj. gdyby były nieodwracalne, strzałka czasu ujawniałaby się na najbardziej podstawowym poziomie. To uzasadniałoby poniekąd bezpośrednio (nie odwołujące się do statystyki) uznanie strzałki w odniesieniu do – ufundowanego na poziomie mikro – makropoziomu. Wielu jednak teoretyków wskazuje, że procesy kwantowe „nie rozróżniają” opozycyjnych kierunków czasu i są odwracalne podobnie jak procesy mechaniki klasycznej³⁴. Przypomnijmy, że – kluczowe dla tej teorii – równanie Schrödingera³⁵ jest odwracalne i deterministyczne. Jeśli znana jest wartość funkcji falowej (funkcji stanu) w danej chwili to wspomniane równanie pozwala obliczyć jej wartość dla dowolnej chwili w przeszłości lub przyszłości. Odwracalna zmiana funkcji falowej jest dokładnym odpowiednikiem odwracalnego ruchu po trajektorii w newtonowskiej mechanice³⁶. Mehlberg z kolei mówi wprost o niezmienniczości względem odwrócenia czasu wszystkich praw mechaniki kwantowej³⁷.

makropoziomie). Natomiast nie ma w niej ontologii dla poziomu mikroskopowego (tamże). Według mnie jest to sytuacja poznawczo bardzo problematyczna.

³⁴ Reichenbach, *The Direction*, s. 208.

³⁵ Równanie to opisuje ewolucję funkcji falowej w czasie.

³⁶ Prigogine, Stengers, dz. cyt., s. 243. Reichenbach zwrócił uwagę na to, że próba określenia kierunku czasu na podstawie równania Schrödingera prowadzi do błędnego koła, gdyż wybór jednej z dwóch możliwych funkcji falowych (z dodatnią oraz ujemną zmienną czasową) zakłada pierwotne określenie kierunku czasu (Reichenbach, *The Direction*, s. 210).

³⁷ Mehlberg, *Time, Causality and the Quantum Theory*, t. II, s. 54. Wspomniana niezmienniczość dotyczy także praw mechaniki oraz elektrodynamiki klasycznej.

W tym wypadku celowe jest jednak odróżnienie izotropii nomologicznej od anizotropii warunkowej (empirycznej)³⁸. Ogólnie rzecz biorąc: prawa fizyczne – poza nielicznymi wyjątkami, jak np. niestatystycznie (jednoznacznie) interpretowana druga zasada termodynamiki – są T -inwariantne, tj. „działają” tak samo dla parametru t , jak i $-t$. Można to wytłumaczyć tak, iż będąc pewnymi idealizacjami rzeczywistości, prawa naukowe abstrahują od jednokierunkowości i nieodwracalności procesów fizycznych. W tym sensie aparat matematyczny (równania różniczkowe), służący nam do formułowania praw przyrody, nie odzwierciedla dokładnie specyfiki warunkowania przy czynowego, które „stwarza” czas wraz z jego fundamentalną cechą – jednokierunkowością³⁹. Z równań różniczkowych nie wynika, że zmiany są czymś wywołane i że panuje swoista asymetria ontyczna między przyczyną a skutkiem, lecz jedynie – że zmiany te towarzyszą sobie lub po sobie następują⁴⁰. Powyższa sytuacja może być sygnałem, że – jak to ujmuje Władysław Krajewski – „odwracalność to cecha aparatu matematycznego mechaniki klasycznej, który nie daje pełnej informacji o realnym doświadczeniu, pomijając kierunek czasu”⁴¹. Rzecz można ująć także tak: chociaż np. proces składania się gruzów w całą budowlę jest zgodny z prawami mechaniki⁴², to bez spełnienia pewnych warunków początkowych (dostarczenia odpowiedniej ilości energii) proces ten nie zajdzie realnie. Prawa fizyki dopuszczają procesy

³⁸ Z. Augustynek rozróżnia tu, odpowiednio, „nomologiczną izotropię czasu” i „faktyczną anizotropię czasu” (Z. A u g u s t y n e k, *Time. Past, Present, Future*, tł. S. Semczuk, W. Strawiński, Warszawa 1991, s. 6). Mówiąc zaś we *Własnościach czasu* (Warszawa 1970) o izotropowości czasu, miał on na uwadze właśnie izotropię nomologiczną. Przy czym w późniejszym czasie filozof odstąpił nawet i od tego założenia, uznając, że pewne prawa fizyki dotyczące oddziaływań słabych są asymetryczne względem czasu, co potwierdza nomologiczną anizotropię czasu. Utrzymał on jedynie założenie o homogeniczności czasu: wszystkie momenty czasu nie różnią się nomologicznie między sobą (A u g u s t y n e k, *Time*, s. 6-7).

³⁹ R. Penrose ujmuje rzecz kategorycznie: „Wszystkie uznane równania fizyki są symetryczne ze względu na zmianę kierunku upływu czasu” (R. P e n r o s e, *Nowy umysł cesarza. O komputerach, umyśle i prawach fizyki*, tł. P. Amsterdamski, Warszawa 2000, s. 338). W szczególności niezmiennicze względem odwrócenia kierunku czasu są równania OTW (M e h l b e r g, *Time, Causality and the Quantum Theory*, t. II, s. 32).

⁴⁰ Reichenbach podkreśla, że t -inwariantne prawa nauki wyrażają symetryczne relacje funkcjonalne i że od tych ostatnich należy odróżnić relację przyczynową jako tę, która pozwala na określenie kierunku (R e i c h e n b a c h, *The Direction*, s. 28-29). Filozof ponadto stwierdza, że fakt, iż dla każdego procesu można podać odwrotny opis (poziom epistemiczny), nie oznacza, że dla każdego procesu istnieje proces odwrotny (tamże, s. 31).

⁴¹ W. K r a j e w s k i, *Szkice filozoficzne*, Warszawa 1963, s. 112-113.

⁴² H. P r i c e, *Strzałka czasu...*, Warszawa 1997, s. 30.

odwrotne do danych, gdyż abstrahują od warunków początkowych potrzebnych do tego, by je zainicjować⁴³. Mehlberg pisze w tym kontekście: „The symmetry of time depends upon the nature of universal, physical laws, rather than on the occurrence of particular facts”⁴⁴. W tym sensie można skonstatować, że anizotropia fizycznych faktów doskonale zgadza się z niezmienniczością praw fizyki względem odwrócenia czasu. Mehlberg ilustruje to następującym przykładem: prawa, które rządzą ruchem planet, są czasowo symetryczne, jest jednakże technicznie niemożliwe zmienić znak prędkości wszystkich planet Układu Słonecznego, a przeto zrealizować proces odwrotny⁴⁵.

Podsumowując ten wątek, należy zauważyć, że nie zawsze można wywodzić cechy tego, co realne, konkretne (poszczególne związki przyczynowe), z tego, co abstrakcyjne i pochodne (formułowane przez nas w toku praktyki naukowej prawa natury – np. równanie Schrödingera). Należy odróżnić symetrię procesów fizycznych jako ich realną odwracalność⁴⁶ od niezmienniczości praw fizyki (np. względem odwrócenia czasu (T -niezmienniczość)). Ta ostatnia nie jest warunkiem dostatecznym realnej odwracalności procesów fizycznych, a co najwyżej – koniecznym. M. Bunge pisze: „If a process is reversible then its laws are T-invariant but not conversely: T-invariance is only necessary for reversibility”⁴⁷.

⁴³ Interpretację tę potwierdza następująca wypowiedź Price’a: „z symetrycznej względem czasu teorii fizycznej może wynikać, że każdy konkretny wszechświat musi być asymetryczny w czasie” (tamże, s. 109).

⁴⁴ Mehlberg, *Time, Causality and the Quantum Theory*, t. I, s. 32. Zdaniem tego autora zarówno szczególna, jak i ogólna teoria względności (OTW) dają podstawy do wprowadzenia „symetrycznej i kauzalnej teorii czasu” (tamże, s. 150). Jeśli chodzi o OTW, która jest zbiorem cząstkowych równań różniczkowych bez sprecyzowanych istotnych warunków początkowych i brzegowych, to nieskończenie wiele modeli świata jest zgodna z jej równaniami. Należy tu np. model de Sittera, charakteryzujący się zamkniętością współrzędnej czasowej czterowymiarowego kontinuum kosmicznego. Czasowa zamkniętość zaś nie jest kompatybilna z założeniem istnienia uprzywilejowanego kierunku (strzałki) czasu (tamże, s. 152-153).

⁴⁵ Tamże, s. 155. Można się w tym wypadku zastanawiać, czy Mehlbergowi chodzi tu tylko o niemożliwość techniczną, czy także – realną, fizyczną. Ktoś mógłby tu bowiem utrzymywać, że nie jest to tylko kwestia „techniczna”, ale zasadnicza niemożliwość ontyczna: na poziomie abstrakcji możemy sobie pomyśleć pewne procesy jako odwracalne, które jednakowoż nie są odwracalne „same w sobie”.

⁴⁶ Notabene niektórzy rozróżniają asymetrię od nieodwracalności (M. Bunge, *Time Asymmetry, Time Reversal, and Irreversibility*, [w:] J. T. Fraser, F. C. Haber, G. H. Müller, *The Study of Time*, Berlin–Heidelberg–New York 1972, s. 122-130).

⁴⁷ Tamże, s. 129.

5. CZĄSTKA-ANTYCZĄSTKA A ODWRÓCENIE KIERUNKU CZASU

G. J. Whitrow wskazuje z kolei, że nieistnienie „jednokierunkowego czasu” w skali mikroskopowej jest konsekwencją teorii odwrócenia czasu (*teory of time reversal*) w fizyce cząstek elementarnych. E. C. G. Stückelberg i R. P. Feynman utrzymywali, że znaczne teoretyczne korzyści w studiowaniu zachowania elementarnych cząstek przynosi rozpatrywanie antycząstek jako zwykłych cząstek, „podróżujących” wstecz w czasie, np. pozyton (antycząstka o tej samej masie co elektron, lecz o przeciwnym ładunku) mogłyby być rozpatrywane jako zwykły elektron w odwróconym kierunku czasu. Fizycznym efektem tego odwrócenia miałyby być właśnie zmiana znaku ładunku elektrycznego⁴⁸. Przy takim założeniu łatwiej byłoby – zdaniem Feynmana – wytłumaczyć zjawisko anihilacji (krecji) par jako skutku spotkania się (rozejścia się) „linii świata” elektronu i pozytonu. Można by bowiem rzecz zinterpretować tak, że mamy tu do czynienia z linią świata pojedynczego elektronu podróżującego wprzód oraz wstecz w czasie⁴⁹.

Argumentacja powyższa niespecjalnie jednak do mnie przemawia. Jeśli założyć, że korzyść ma tu polegać na – będącym zastosowaniem *brzytwy Ockhama* – „uproszczeniu” założeń egzystencjalnych, to można mieć tu takie zastrzeżenie, że dokonuje się tu tylko „redukcji” ilościowej (nie dwie, lecz jedna cząstka i linia świata), „mnożąc” z kolei rozmaite jakości ruchu w czasie (wprzód i wstecz). Powstaje pytanie, czy są podstawy do mówienia w odniesieniu do cząstek i antycząstek o czasie i „antyczasie”, czy też po prostu lepiej przyjąć, że jeden typ charakterystyki czasowej obejmuje oba te rodzaje materii. Z punktu widzenia *Ockhamowskiej brzytwy* lepiej byłoby chyba opowiedzieć się za tą drugą opcją. Wydaje się bowiem, że to jakościowe „rozwarstwienie” (mnożenie typów bytów) jest bardziej niepożądane z punktu widzenia tego postulatu metodologicznego⁵⁰.

Reichenbach np. zwraca uwagę, że interpretacja antycząstki danej cząstki jako tej ostatniej poruszającej się w przeciwnym kierunku w czasie – chociaż pozwala na eliminację antynomii związanych z krecją i anihilacją par –

⁴⁸ G. J. Whitrow, *The Natural Philosophy of Time*, Oxford 1980, s. 332.

⁴⁹ Tamże, s. 332. Przy tym występujące podczas krecji oraz anihilacji promieniowanie gamma byłoby tu rozpatrywane jako powiązane kauzalnie z odwróceniem czasu (Reichenbach, *The Direction*, s. 266).

⁵⁰ Zob. M. Łagosz, *Brzytwa Ockhama a wykazywanie nieistnienia*, Wrocław 2002, s. 143-144.

prowadzi do innej antynomii (z mojego punktu widzenia bardziej niepokojącej): do podróży cząstek w czasie wstecz⁵¹. Ponadto przy takiej interpretacji pojawiają się kłopoty z fizyczną identycznością: jedno i to samo indywiduum może istnieć w tym samym czasie w więcej niż jednym egzemplarzu⁵².

Inny jeszcze radykalny pomysł eliminacji czasu z mechaniki kwantowej odwoływał się do założenia, że „cząstki trwałe” (*conserved quantities*) nie zależą od czasu, w którym są mierzone⁵³.

6. STRZAŁKA POMIARU

Jak wskazywałem w punkcie 5., w sensie nomologicznym uznaje się zwykle odwracalność procesów kwantowomechanicznych. W momencie jednak, gdy w mechanice kwantowej pojawia się pomiar (a bez niego nie miałaby ona przecież empirycznego sensu⁵⁴), mamy już do czynienia z nieodwracalnością. Von Neumann twierdził, że w obrębie nierelatywistycznej mechaniki kwantowej odwracalność procesów kwantowych ma miejsce tylko tam, gdzie nie pojawia się pomiar⁵⁵. Najogólniej mówiąc: nieodwracalnym i nieciągłym rezultatem pomiaru jest redukcja funkcji falowej do jednej ze swoich funkcji własnych (tzw. redukcja paczki falowej)⁵⁶. Odwracalność

⁵¹ Reichenbach, *The Direction*, s. 266.

⁵² Tamże, s. 267.

⁵³ J. G. Taylor, *Time in Particle Physics*, [w:] *The Study of Time*, s. 53.

⁵⁴ Według „interpretacji kopenhaskiej” „tylko takie wypowiedzi dotyczące świata kwantów mają sens, które dają się przełożyć na wypowiedzi o wynikach pomiarów (M. Heller, *Mechanika kwantowa dla filozofów*, Kraków 1996, s. 76).

⁵⁵ Mehlber, *Time, Causality and the Quantum Theory*, t. II, s. 54.

⁵⁶ Por. tamże, s. 244-245. Nawiasem mówiąc, niektórzy teoretycy zajmują – przeciwne do „klasycznego” – stanowisko, zgodnie z którym przy pomiarze kwantowym nie występuje w ogóle zjawisko redukcji. Pogląd taki wynika z założenia kompletności opisu kwantowomechanicznego. Funkcję falową, która jest superpozycją stanów, traktuje się jako fizycznie rzeczywistą i przeczy się jej redukcji. Po prostu przyjmuje się, że realizuje się wiele rzeczywistości (możliwości) na raz: kot Schrödingera jest jednocześnie i żywy, i martwy (Price, *Strzałka czasu*, s. 256-257). Oczywiście taka „rozgałęziona” teoria rzeczywistości (teoria wielu światów) jest problematyczna ontologicznie. Uznanie faktycznej realizacji każdego z najmniej nawet prawdopodobnych zdarzeń w niepokojący sposób „przepełnia” uniwersum. Teza, że każda możliwość, musi się realizować, nie jest bynajmniej oczywista („problem wyrażania pełni”). Ponadto wskazywana koncepcja trudna jest do pogodzenia z używanym w nauce pojęciem prawdopodobieństwa (por. tamże, s. 257). Czy ma sens mówienie, że pewnemu zdarzeniu przysługuje określone prawdopodobieństwo, skoro wszystkie możliwe zdarzenia muszą się realizować? Zwróćmy przy tym uwagę, że

„klasycznych” równań ruchu, a także np. – falowego równania Schrödingera można wiązać z teoretyczną idealizacją. Idealizację tę znosi w mechanice kwantowej właśnie pomiar⁵⁷. To – być może – właśnie na poziomie pomiaru należałoby doszukiwać się w świecie mikroskopowym tych czynników, których przejawem jest nieodwracalność makroskopowa. W tym punkcie jednak jakiś zwolennik subiektywistycznej (antropomorficznej) interpretacji asymetryczności (nieodwracalności) procesów fizycznych mógłby doszukiwać się potwierdzenia swego stanowiska, wskazując, że pomiar – jako czynność podmiotowa – nie tylko informuje nas o obiektywnej rzeczywistości, ale i wprowadza pewien „czynnik umysłowy”, którym w tym wypadku miałyby być właśnie owa nieodwracalność (asymetria). Nie sądzę jednak, by był to właściwy sposób interpretacji pomiaru fizycznego⁵⁸. Przyrządy pomiarowe – chociaż używane przez poznające podmioty i „ucieleśniające” pewną ich wiedzę – należy przede wszystkim rozumieć fizykalnie; są to tak samo obiektywne przedmioty materialne jak „mierzone” obiekty (wielkości). Można powiedzieć, że proces pomiaru polega na wymianie energii między układami fizycznymi. Jeśli zaś chodzi o świadomy podmiot pomiaru, to – jak zwraca uwagę np. Mehlberg – zawsze jest zasadniczo możliwe zastąpienie świadomego obserwatora przez automatycznie rejestrujący instrument niezależny od obserwatora⁵⁹. Dlatego też wielu teoretyków uważa, że w stosunku do pomiaru nie powinno się używać „irracjonalnego pojęcia zaburzenia”⁶⁰ (pomiar jako sytuacja, w której pewien obiektywny stan rzeczy, np. odwracalność procesów fizycznych, zostaje „zniekształcony” przez czynniki

nie chodzi tu o kolejną realizację zdarzeń w ciągu zdarzeń, lecz o jednoczesną aktualną realizację, każdego ze zdarzeń możliwych. W tym ostatnim przypadku pojęcie prawdopodobieństwa wydaje się tracić sens. Jeśli bowiem stwierdzam np., że prawdopodobieństwo jakiegoś zdarzenia wynosi 20%, to zakładam, że w pewnej liczbie prób może ono nie zajść. Co więcej: jest prawdopodobne – choć wobec prawa wielkich liczb mało prawdopodobne – że może ono w ogóle nie zajść. Inny problem związany z powyższym rozwiązaniem Price ujmuje tak: „dlaczego świat makroskopowy wydaje się normalnie klasyczny, zważywszy, że zawiera on w rzeczywistości ogromną liczbą odgałęzień, odzwierciedlających aparat kwantowomechaniczny superpozycji, interferencji i tak dalej” (tamże, s. 262-263).

⁵⁷ J. Szczęsny, J. Urbaniec, *Mechanika kwantowa a upadek mechanicyzmu*, [w:] M. Heller, J. Życiński, *Wszechświat – maszyna czy myśl?*, Kraków 1988, s. 231.

⁵⁸ Nie będę teraz uzasadniał szerzej tego stanowiska, gdyż pisałem już o tym w artykule *Człowiek miarą Wszechświata? Problem zasad antropicznych w kosmologii*, „Filozofia Nauki” 10 (2002), nr 1(37), s. 43-46.

⁵⁹ Mehlberg, *Time, Causality and the Quantum Theory*, t. II., s. 74.

⁶⁰ Cz. Białobrzeski, *Podstawy poznawcze fizyki świata atomowego*, Warszawa 1984, s. 254.

subiektywne). To „zaburzenie” to nic innego, jak „wszelki wpływ zewnętrzny, który zmienia wewnętrzny stan układu nie naruszając jego całości”.⁶¹ Za Schrödingerem można więc powtórzyć: „pomiar jest takim samym procesem przyrody jak każdy inny”⁶². Ponadto z tego punktu widzenia trudno jest też interpretować pomiar kwantowomechaniczny w sposób czysto epistemologiczny, tj. tak, że zmiana zachodząca podczas dokonywania pomiaru (owa redukcja paczki falowej) odzwierciedla jedynie nowy punkt widzenia, dostarcza nam nowych, wcześniej nieobecnych dla nas, elementów obrazu rzeczy (opis kwantowomechaniczny jest niepełny). Pomiar oznaczałby w tym wypadku zmianę naszej wiedzy o świecie, a nie zmianę samego świata (zmiana obrazu nie wymaga zmiany w świecie)⁶³. Nieodwracalność (asymetria) związana z tak rozumianym pomiarem byłaby nieodwracalnością „naszego” sposobu myślenia o świecie kwantowym, a nie nieodwracalnością samych mikroprocesów. Jednakże pomiar w naukach empirycznych (eksperymentalnych) nigdy nie ma charakteru jedynie „wiedzologicznego”; zawsze zarazem jest to zjawisko „energetyczne”. Jego zaś „energetyczna” (fizyczna) natura najdobitniej manifestuje się właśnie na mikropoziomie, gdyż tam oddziaływania płynące ze strony przyrządów pomiarowych powodują istotne zmiany w układach poddawanych pomiarom. Oczywiście możliwe są rozmaite błędy pomiarowe (szczególnie, gdy pomiar dotyczy mikro- lub megaskali). Co innego jednak dostrzegać błędy pomiarowe (można je przecież korygować), a co innego interpretować je jako efekt antropomorfizacji, subiektywizacji wiedzy. Być może nieodwracalność związana z pomiarem jest efektem błędnego postępowania (np. – jakichś fałszywych założeń). Błędy takie trzeba by jednak jasno wykazać. Ogólnikowe zaś i arbitralne uznanie nieodwracalności za „podmiotowe zniekształcenie” nie wydaje się zadowalające. Zresztą w rozmaitych interpretacjach mikrofizyki mówi się wprost o nieodwracalności fundamentalnej, związanej z oddziaływaniami cząstek elementarnych⁶⁴. Kwestia odwracalności procesów kwantowych (istnienia w mikroświecie działań wyprzedzonych) jest zatem wciąż otwarta. Wskazuje się wprawdzie na rozmaite korzyści (np. uniknięcie takich koncepcji, jak „kot Schrödingera czy paradoks EPR”⁶⁵) wynikające z uznania w mechanice

⁶¹ Tamże, s. 255.

⁶² Tamże, s. 254. Zob. też: Reichenbach, *The Direction*, s. 223.

⁶³ Price, dz. cyt., s. 236.

⁶⁴ M. Tempczyk, *Fizyka a świat realny. Elementy filozofii fizyki*, Warszawa 1986, s. 210-212.

⁶⁵ Price, dz. cyt., s. 229-240.

kwantowej działań wyprzedzonych, ale podkreśla się zarazem dyskusyjność tej kwestii i to, że jest to sprawą interpretacji. Tak więc istnienie działań wyprzedzonych nie tyle jest kwantowomechanicznym faktem, co postulatem pewnych określonych interpretacji filozoficznych mechaniki kwantowej.

Do teoretyków, którzy nie zgadzają się z analizowaną wyżej tezą, że ingerencja pomiaru w procesy kwantowe czyni je z zasady nieodwracalnymi, należy Mehlberg. Polemizując w tej kwestii z von Neumannem, powołuje się on na fizyków, którzy wskazują, że sprawa z pomiarem w aspekcie problemu symetrii (odwracalności) procesów fizycznych nie jest bynajmniej jednoznaczna: o ile niektóre pomiary powodują jednostajny wzrost entropii, o tyle inne pociągają za sobą jednostajny spadek tej statystycznej wielkości, a jeszcze inne – wiążą się z cyklicznymi zmianami entropii⁶⁶. Mehlberg zwraca też uwagę, że stan kwantowy mierzonego obiektu może być obliczony ze stanu końcowego instrumentu pomiarowego w obie strony, tj. zarówno dla przeszłości, jak i dla przyszłości⁶⁷. Ponadto, jeśli by nawet uznać teoretyczną nieodwracalność procesu pomiaru kwantowego, to – według Mehlberga – pomiar kwantowy w rozumieniu von Neumanna wydaje się być do tego stopnia ograniczony, że praktycznie nieistniejący. Ponieważ pomiarowe interakcje między mikro- i makroobiettami zdarzają się w naturze tylko wyjątkowo, strzałka czasu określona na podstawie nieodwracalności kwantowego pomiaru miałaby jedynie lokalną naturę⁶⁸. I tak np. w odniesieniu do wnętrza Słońca, gdzie ze względu na skrajne warunki fizyczne nie mogą istnieć jakiegokolwiek makroobiett, nie można mówić o strzałce „ukierunkowującej” zachodzące tam procesy⁶⁹. Trudno zatem uznać – zdaniem Mehlberga – że pomiar kwantowomechaniczny zaopatruje czas w strzałkę. Autor ten wskazuje też na rozmaite inne aspekty teorii kwantowej, które uwydatniają fizyczną wagę

⁶⁶ Mehlberg, *Time, Causality and the Quantum Theory*, t. II, s. 55.

⁶⁷ Tamże. Czy jednak nie jest to argument czysto epistemiczny, któremu brak „mocy” ontologicznej?

⁶⁸ Mehlberg, *Time, Causality and the Quantum Theory*, t. II, s. 186. Trzeba powiedzieć, że przesłanka tego ostatniego wniosku wydaje się być dosyć wątpliwa w swej kategoryczności. Przecież interakcja pomiarowa jest przypadkiem fizycznej interakcji (między makro- i mikroobiettami) w ogóle i trudno ją chyba uważać za coś specjalnie wyjątkowego w naturze (?).

⁶⁹ Tamże. Za Reichenbachem można by powiedzieć, że zarówno porządek, jak i kierunek czasowy są fenomenami stricte makroskopowymi, które nie mogą być przenoszone na mikrokosmos, stanowiąc statystyczne rezultaty relacji mikroskopowych: czas jako fenomen makroskopowy ufundowany ontycznie na statystycznym mikroświecie. (por. Reichenbach, *The Direction*, s. 269).

założenia o czasowej symetrii. Na przykład tzw. teoria macierzy S (dotycząca kauzalnych interakcji między systemami cząstek elementarnych) ma – jak podaje Mehlberg – taką oto konsekwencję: żadna fizyczna zmiana nie zajdzie, jeśli początkowe i końcowe stany odpowiedniego systemu cząstek elementarnych nie będą wzajemnie wymienialne (*interchanged*)⁷⁰. Można jednak w tym wypadku mieć standardową już wątpliwość, czy symetria czasu, wynikająca z tej czy tamtej wersji teorii kwantowej, nie jest przypadkiem rezultatem abstrakcyjnej i idealizacyjnej natury tej teorii (?).

„Zejsście” na poziom kwantowy w poszukiwaniu strzałki czasu można wytłumaczyć tym, że niektórzy fizycy sugerują, iż asymetryczność czasu w skali makro może mieć miejsce tylko w przypadku, gdy istnieje swoisty porządek wielkości w zbiorze cząstek elementarnych, który manifestuje się właśnie przy przejściu na makropoziom. Czy jednak jest ontologiczna konieczność, by określone własności (tu idzie o własność jednoznacznego ukierunkowania zmienności, czyli o własność „strzałkowości” czasu), manifestujące się w pewnych całościach (przedmioty makroskopowe rozumiane jako systemy cząstek elementarnych), przysługiwały też systemom, z których te całości są zbudowane. Niektórzy teoretycy uznają nawet wprost, że pojęcie ukierunkowania czasu jest pojęciem makroskopowym, a na odpowiednim mikropoziomie czas nie może być już dłużej jednokierunkowy (ze względu zaś na – przyjmowany przez wielu – ścisły związek ukierunkowania czasu z przyczynowością, także tradycyjnie rozumiana przyczynowość przestaje tu obowiązywać)⁷¹. Trzeba tu jednak dodać, że ewentualny brak strzałki na mikropoziomie nie czyni jednoznacznego ukierunkowania czasu nierealnym w sensie ontologicznym. Jeśli strzałka dotyczy poziomu makro i nie stoimy na stanowisku redukcjonistycznym, to musimy uznać jej realność (analogia: świadomość jest obiektywną cechą człowieka, chociaż komórki jego ciała świadomości nie posiadają).

*

Podsumowując: sądzę, że rozważania prowadzone powyżej uprawniają w pewnym stopniu do wniosku, że brane tu pod uwagę przesłanki „kwantowomechaniczne” nie mogą być dostateczną podstawą konkluzywnego uznania odwracalności (nieistnienia strzałki) czasu.

⁷⁰ Mehlberg, *Time, Causality and the Quantum Theory*, t. II, s. 187.

⁷¹ P. T. Landsberg, *Time in Statistical Physics and Special Relativity*, [w:] *The Study of Time*, s. 83.

BIBLIOGRAFIA

- Augustynek Z.: *Time. Past, Present, Future*, tł. S. Semczuk, W. Strawiński, Warszawa 1991.
- *Własności czasu*, Warszawa 1970.
- Białobrzeski Cz.: *Podstawy poznawcze fizyki świata atomowego*, Warszawa 1984.
- Bunge M.: *Time Asymmetry, Time Reversal, and Irreversibility*, [w:] J. T. Fraser, F. C. Haber, G. H. Müller (ed.), *The Study of Time*, Berlin–Heidelberg–New York 1972, s. 122-130.
- Dickson W. M.: *Determinizm and Locality in Quantum Systems*, „Synthese” vol. 107, No.1, April 1996.
- Dorato M.: *Time and Reality. Spacetime Physics and the Objectivity of Temporal Becoming*, Bologna 1995.
- Feynman R. P., Leighton R. B., Sands M.: *Feynmana wykłady z fizyki*, t. III (Mechanika kwantowa), tł. A. Pindor, W. Gonkowski, A. Szymacha, Warszawa 2004.
- Fraser J. T., Haber F. C., Müller G. H. (ed.): *The Study of Time*, Berlin–Heidelberg–New York 1972.
- Goldstein Sh.: *Review Essay: Bohmian Mechanics and the Quantum Revolution*, „Synthese” vol. 107, No.1, April 1996.
- Heller M.: *Mechanika kwantowa dla filozofów*, Kraków 1996.
- *Początek jest wszędzie. Nowa hipoteza pochodzenia Wszechświata*, Warszawa 2002.
- Krajewski W.: *Szkice filozoficzne*, Warszawa 1963.
- Łagosz M.: *Brzytwa Ockhama a wykazywanie nieistnienia*, Wrocław 2002.
- Łagosz M.: *Człowiek miarą Wszechświata? Problem zasad antropicznych w kosmologii*, „Filozofia Nauki” 10 (2002), nr 1(37), s. 43-46.
- Łagosz M.: *Matematyczny początek świata. Kilka uwag filozoficznych do książki Michała Hellera „Początek jest wszędzie. Nowa hipoteza pochodzenia Wszechświata”*, „Przegląd Filozoficzny – Nowa Seria”, 14 (2005), nr 1(53), s. 121-133.
- Landsberg P. T., *Time in Statistical Physics and Special Relativity*, [w:] J. T. Fraser, F. C. Haber, G. H. Müller (ed.): *The Study of Time*, Berlin–Heidelberg–New York 1972, s. 58-109.
- Lipiec J.: *Ontologia świata realnego*, Warszawa 1979.
- Mehlberg H.: *Time, Causality and Quantum Theory. Studies on the Philosophy of Science*, t. I: *Essay on the Causal Theory of Time*; t. II: *Time in a Quantized Universe*, ed. by R. S. Cohen, preface by A. Grünbaum, Dordrecht–Boston–London: D. Reidel Publishing Company 1980.
- Michalski B.: *Polemiki filozoficzne Stanisława Ignacego Witkiewicza*, Warszawa 1979.
- Penrose R.: *Cienie umysłu. Poszukiwanie naukowej teorii świadomości*, przeł. S. Amsterdamski, Poznań 2000.
- *Nowy umysł cesarza. O komputerach, umyśle i prawach fizyki*, tł. P. Amsterdamski, Warszawa 2000, s. 338.
- Price H.: *Strzałka czasu i punkt Archimedesesa. Nowe kontrowersyjne spojrzenie na czas i współczesną fizykę*, tł. P. Lewiński, Warszawa 1998.

- Prigogine I., Stengers I., Z chaosu ku porządkowi. Nowy dialog człowieka z przyrodą, tł. K. Lipszyc, Warszawa 1990.
- Reichenbach H.: The Direction of Time, ed. by M. Reichenbach, Berkeley–Los Angeles 1956.
- Szczęsny J., Urbaniec J.: Mechanika kwantowa a upadek mechanicyzmu, [w:] M. Heller, J. Życiński, Wszechświat – maszyna czy myśl?, Kraków 1988, s. 224-232.
- Taylor J. G.: Time in Particle Physics, [w:] Fraser J. T., Haber F.C., Müller G. H. (ed.), The Study of Time, Berlin–Heidelberg–New York 1972, s. 53-58.
- Tempczyk M.: Fizyka a świat realny. Elementy filozofii fizyki, Warszawa 1986.
- Whitrow G. J.: The Natural Philosophy of Time, Oxford 1980.

TIME ARROW AND SOME INTERPRETATIONS OF QUANTUM MECHANICS

Summary

In the paper I discuss some premises of “quantum mechanics” with regard to the thesis that the time arrow does (not) exist. In this context I consider above all the famous Einstein-Podolsky-Rosen’s experiment (EPR-experiment). I also indicate Schrödinger’s interpretation of wave function “symmetrical” towards time (nomological isotropy) and the peculiar understanding of the pair particle-antiparticle, assuming that the direction of time can be reversed. Eventually, I discuss the issue of measurement in quantum mechanics with which the existence of time arrow (anisotropy) is often linked. If it comes to the interpretations of quantum mechanics, from the point of which I consider the issues in question, then in principle I limit myself to two: the so-called Copenhagen interpretation and David Bohm’s conception of “hidden parameters.” I arrive at a conclusion that the premises of quantum mechanics that are at issue here cannot be sufficient grounds for a conclusive recognition of the reversibility (non-existence) of time arrow.

Translated by Jan Kłos

Słowa kluczowe: strzałka czasu, EPR-eksperyment, równanie Schrödingera, (a)symetria czasowa, niezmienniczość względem odwrócenia czasu, pomiar kwantowy, parametry ukryte.

Key words: time arrow, EPR-experiment, Schrödinger’s equation, time (a)symetry, time-reversal invariance, quantal measurements, “hidden variables”.

Information about Author: Dr. MAREK ŁAGOSZ, Prof. of Wrocław University – Department of Systematic Philosophy, Institute of Philosophy, Wrocław University; address for correspondence: ul. Koszarowa 3, PL 51-149 Wrocław; e-mail: lagosz@o2.pl