

Możliwe zdarzenia w branching-time

Mateusz Klinowski

Wprowadzenie

Ponad dziesięć lat temu Nuel Belnap¹ przedstawił aksjomatyczną teorię, która stanowi uogólnienie branching-time (BT), czyli „rozgałęzionego” porządku zdarzeń znanego z modeli dla rachunków logicznych z czasami gramatycznymi², oraz porządku przyczynowego czasoprzestrzeni Minkowskiego. Teoria ta, nazwana branching space-time (BST), udanie łączyła wysiłki logików w celu odparcia determinizmu logicznego oraz relatywistykę. Zdaniem Belnapa wyjaśniała ona, w jaki sposób czasoprzestrzenny świat może być jednocześnie indeterministyczny.

Ponieważ BST umożliwiał modelowanie znanych doświadczeń z zakresu mechaniki kwantowej³, w których w grę wchodzi korelacje zachodzące pomiędzy parami splątanych cząstek, Belnap zaproponował, aby teoriomnogościową strukturę BST uważać za model rzeczywistości. Analogiczne propozycje wysunęło niezależnie kilku kolejnych autorów⁴ i wydaje się, że branching zyskał akceptację jako adekwatna ilustracja czasoprzestrzennej i kauzalnej struktury świata.

W oparciu o BST można także zdefiniować pewien formalny język. Teoriomnogościowa struktura branching pełni wówczas rolę semantyki dla rachunku logicznego. Celem mojego artykułu jest pokazanie, że jeżeli rachunek ten ma odpowiadać sposobowi, w jaki *opisujemy* fizykalną rzeczywistość, a w szczególności sposobowi, w jaki mówimy o możliwych zdarzeniach, struktura branching, o którą się on wspiera, musi być interpretowana inaczej, niż kiedy gra ona rolę modelu rzeczywistości.

¹ Belnap [1992].

² O BT w tym kontekście pierwsi pisali przede wszystkim Prior [1967] i Thomason [1984].

³ Na ten temat traktują m. in. następujące prace: Belnap [2002]; Müller [2002]; Placek [2000].

⁴ M. in. McCall [1994]; Xu [1997].

Struktura branching-time i język formalny o nią oparty

W myśl teorii względności, rzeczywistość składa się ze zbioru zdarzeń punktowych (*point events*), z którymi możemy wiązać pewne własności (np. wartości różnych fizycznych pól). BST dodaje, że zdarzenia te tworzą coś, co nazywać będziemy „niesprzeczną, rozgałęziającą się strukturą” (*consistent splitting structure*)⁵. W BST mówimy więc o „rozgałęziającej się” czasoprzestrzeni. Rozgałęzienia te utworzone są przez alternatywne historie rozwoju wydarzeń, które oczywiście same są czasoprzestrzeniami szczególnej teorii względności. Specyfiką tego modelu jest właśnie postulowanie *realnego* istnienia takich alternatywnych *przyszłych* historii.

Dla Belnapa i innych autorów BST jest przede wszystkim teorią ontologiczną, która odzwierciedla kauzalną strukturę świata. W oparciu o tę samą strukturę BST niektórzy autorzy definiują jednak pewien formalny język mówiący o czasoprzestrzeni i zdarzeniach mających czy *mogących* mieć w niej miejsce⁶. Struktura BST staje się wobec tego podstawą semantyki dla rachunku logicznego, który z założenia ma ujmować sposoby poprawnego konstruowania, np. przez fizyka, wypowiedzi językowych o świecie.

Poniżej chciałbym przedstawić bardzo uproszczoną wersję semantyki dla takiego języka. Uproszczenie polega przede wszystkim na tym, iż do konstrukcji modelu wartościowania wykorzystam strukturę BT zamiast BST⁷. Jeżeli nie zależy nam na relatywistyce i godzimy się, by w opisie pominąć czasoprzestrzenność świata, jest to zabieg uprawniony. Dodatkowo ułatwia on znacznie wywód, nie wpływając przy tym na jego jakość.

Przejdzie od BST do BT oznacza, mniej więcej, przejście od fizyki einsteinowskiej do newtonowskiej. Zamiast o zdarzeniach punktowych mówić będziemy o momentach, tj. materialnej zawartości przestrzeni euklidesowej w danej chwili (fizycy często używają tu terminu *time slice* albo *instant*), a

⁵ Termin pochodzi od: Müller [2002] s. 275.

⁶ Tak czyni choćby Müller [2002], który używa tak zdefiniowanego języka do formalizacji dowodu Stappa dotyczącego nielokalności mechaniki kwantowej.

⁷ Semantykę dla języka formalnego z operatorami możliwości, konieczności i operatorem kontryfaktycznego okresu warunkowego w oparciu o BST przedstawia Müller [2002] s. 280-287.

alternatywne historie rozwoju zdarzeń nie będą już czasoprzestrzenią Minkowskiego, lecz maksymalnym zbiorem „pasujących do siebie” momentów⁸. Zaczniemy od podania definicji struktury BT.

[BT] **Struktura branching-time** to uporządkowana para $\langle W, \leq \rangle$, gdzie W jest niepustym zbiorem elementów m , a \leq zwrotną, przechodnią i antysymetryczną relacją częściowego porządku w zbiorze W . Porządek ten spełnia następujące postulaty:

[Pos. 1] **Brak wstecznych rozgałęzień (*no downward branching*):**

$$\forall m \forall m' \forall m'' (m' \leq m \wedge m'' \leq m \rightarrow m' \leq m'' \vee m'' \leq m');$$

[Pos. 2] **Wspólny pień (*historical connection*):**

$$\forall m \forall m' \exists m'' (m'' \leq m \wedge m'' \leq m').$$

Strukturę BT interpretujemy w następujący sposób. Elementy zbioru W są momentami czasowymi (czyli konkretną, niepowtarzalną zawartością przestrzeni fizycznej). Każdy maksymalny ze względu na relację \leq podzbiór W oznaczamy literą h i postanawiamy rozumieć jako alternatywną historię rozwoju wydarzeń w świecie W . *Brak wstecznych rozgałęzień* odzwierciedla intuicję, iż to przyszłości może być wiele, przeszłość zaś jest jedna i ustalona. *Wspólny pień* zakłada zaś, że wszystkie historie mają wspólną początkową część.

W skład definiowanego języka formalnego wejdą formuły atomowe p, q, r, \dots odpowiadające wypowiedziom na temat faktów mających miejsce w określonym momencie jakiejś historii (może być to moment położony w przyszłości względem chwili wypowiedzi) oraz funktory negacji, koniunkcji, alternatywy i implikacji znane z klasycznego rachunku zdań. Dodatkowo w skład języka wejdą operatory logiki czasów gramatycznych: P i F oraz operator \diamond . A oto jak wyglądają reguły oceny wartości logicznej zdań w oparciu o BT.

⁸ W tym miejscu warto wspomnieć, że sama nazwa branching-time jest cokolwiek myląca. Lepszą nazwą byłoby z pewnością branching-events, gdyż na „rozgałęziony” świat branching składają się zdarzenia, które, choć nie mogą mieć miejsca razem, dzieją się w tym samym czasie.

Spełnianie formuły zdaniowej p w modelu M zdefiniowane jest następująco:

$$M, m/h \models p \text{ wtw } m/h \in v(p),$$

gdzie p jest zdaniem atomowym, a v jest funkcją, która każdej zmiennej zdaniowej języka przyporządkowuje zbiór par m/h , gdzie m jest elementem, a h podzbiorem W . Model M to naturalnie struktura BT wraz z wartościowaniem v .

Spełnianie formuł złożonych zawierających funktory zdaniowe klasycznego rachunku zdań nie wymaga komentarza⁹. Formuły z operatorami rachunku logiki czasów gramatycznych spełniane są w następujący sposób:

$$M, m/h \models Pp \text{ wtw } \exists m' (m' \in h, m' < m \text{ i } M, m'/h \models p),$$

$$M, m/h \models Fp \text{ wtw } \exists m' (m' \in h, m < m' \text{ i } M, m'/h \models p),$$

gdzie P czytamy jako „w przeszłości było tak, że ...”, a F jako „w przyszłości będzie tak, że ...”.

Warto zauważyć, iż formuły zdaniowe spełniane są w momencie i historii, a więc dla pary m/h . Spełnianie formuły zdaniowej dla h oznacza, że jest ona spełniona dla wszystkich par m/h , gdzie $m \in h$. Nie jest zaś zdefiniowana operacja spełniania dla parametru m , czyli dla poszczególnych momentów czasowych. W semantyce branching nie ma więc sensu mówić o prawdziwości zdań w poszczególnych momentach czasowych, a jedynie o prawdziwości zdań w poszczególnych momentach czasowych określonej historii.

Pojęcie możliwości funkcjonujące na gruncie branching, często zwane jest możliwością historyczną (*historical possibility in BT*)¹⁰ i definiujemy je w następujący sposób:

$$[M1] \quad M, m/h \models \Diamond_{\text{hist}} p \text{ wtw } \exists h' [m \in h' \text{ i } M, m/h' \models p].$$

⁹ Oczywiście odpowiednie definicje są konieczne, aby zdefiniować na czym polega relacja spełniania w modelu złożonym ze struktury branching time i funkcji v . Pomijam je jednak dla zwięzłości wywodu.

¹⁰ Por. Thomason [1984] s. 136.

Symbol \diamond czytamy naturalnie jako „możliwe, że...”. Z M1 wynika, że pewien fakt, o którym mówi zdanie p jest możliwy, o ile ma miejsce przynajmniej w jednej z historii rozgałęziających się „nad” m . Zdanie p jest więc możliwe w momencie m i historii h , o ile jest prawdziwe w momencie m i jakiejś historii należącej do zbioru historii rozgałęziających się „nad” m .

Zdefiniowany w ten sposób język oznaczmy symbolem L i zadajmy sobie pytanie, czy wystarcza on do ujęcia wszystkich wypowiedzi składających się na opis fizycznej rzeczywistości. Czy formalizm L jest adekwatnym narzędziem analizy praktyki językowej?

Moim zdaniem odpowiedź na tak postawione pytanie jest negatywna. Co więcej, okazuje się, że u podstaw adekwatnego formalnego ujęcia wypowiedzi na temat fizycznej rzeczywistości, np. opisu zachowania niestabilnego jądra atomowego, leżeć musi odmiennie interpretowana struktura BT. Owa odmienność interpretacji nie pozwala nam z kolei traktować tej struktury jako modelu rzeczywistości fizycznej. Nie jest w tej sytuacji prawdą, iż ten sam model rozgałęzionych historii (branching) jednocześnie wyjaśnia kauzalną strukturę świata oraz logikę języka, którym o niej mówimy.

Ontologiczne zobowiązania

Zastanówmy się na początek, który składnik teoriomnogościowej struktury BT, rozumianej jako model fizycznego świata, pełni rolę rzeczywistości. Na pierwszy rzut oka wydaje się, że nadając BT interpretację ontologiczną przypisujemy realność każdemu elementowi W , a więc każdemu momentowi (w przypadku BST: każdemu punktowi czasoprzestrzeni). W końcu zbiór W określamy po prostu terminem „nasz świat”. Jest to jednak bardzo słabe pojęcie *naszego świata*. Znaczyłoby ono jedynie tyle, że w stosunku do każdego momentu da się powiedzieć, iż albo jest on częścią rzeczywistości, albo *mógł* nią być. A ponieważ w skład W wchodzi z założenia liczne niezgodne ze sobą momenty, które odpowiadają alternatywnym drogom rozwoju wydarzeń, interpretacja branching nie powinna odpowiadać na pytanie „co istnieje?” poprzez wskazanie na zbiór W . Z pewnością rzeczywistość nie rozciąga się na cały ten zbiór.

Bardziej odpowiednie będzie więc przyjęcie, że rzeczywistości odpowiada jedynie jakiś podzbiór W . W dodatku zmienia się on w zależności od momentu, który bierzemy pod uwagę. Jest to zgodne z intuicją. Skoro na *nasz świat* składają się przynajmniej przeszłość, teraźniejszość oraz przyszłość (a bardzo często tak myślimy) i równocześnie przyjmujemy, że istnieje wiele alternatyw przyszłości, wpływ czasu musi wywierać wpływ na kształt świata.

Model branching uwzględnia ten fakt traktując pytanie o to, co istnieje, jako pytanie zrelatywizowane do poszczególnych momentów m . Odpowiednikiem rzeczywistości dla danego momentu jest zaś pęk historii rozgałęziających się „nad” tym momentem. Oznaczmy go B_m ¹¹.

[R] Rzeczywistości w BT odpowiada zbiór $B_m = \{h: m \in h\}$.

W branching postuluje się więc istnienie wielu alternatywnych przyszłych historii, które z czasem „wymierają”. Wszystkie one uważane są za równie realne¹². Jest to jedna z najbardziej charakterystycznych i wymownych cech tego modelu¹³. Czy jest ona jednak intuicyjna? Wydaje się, że tak.

Kiedy myślimy o zdarzeniach indeterministycznych, np. pomiarach kwantowych albo o wolnej woli, tak czy inaczej odwołujemy się wprost do obrazu wielu *rzeczywistych* alternatyw przyszłych wydarzeń. Myślenie o możliwych historiach wydarzeń wydaje się być po prostu częścią poglądu na świat. Z tej przynajmniej racji proponowana powyżej interpretacja struktury BT nie zasługuje bynajmniej na miano zbytnej ekstrawagancji.

¹¹ W tym miejscu czytelnikowi należą się wyjaśnienia. Autorzy piszący o branching na ogół nie podają *explicite*, co na jego gruncie należy rozumieć przez rzeczywistość. Definicja R wynika jednak jasno z innych ich stwierdzeń.

¹² Czyni to branching w pewnym sensie stanowiskiem podobnym do modalnego realizmu Lewisa: każda alternatywa przyszłości jest równie realna jak pozostałe, choć oczywiście tylko jedna doczeka się realizacji (u Lewisa: wszystkie możliwe światy są równie realne, choć tylko jeden jest naszym światem).

¹³ Pojawia się naturalnie pokusa, by w pęku historii wyodrębnić jedną historię, która będzie pełnić rolę „naszej prawdziwej przyszłości”, czyli tej z alternatyw, która faktycznie się zrealizuje. Na gruncie branching taki zabieg nie ma jednak sensu. *Nasz świat* – co wynika z definicji R – nie jest bowiem jedną historią, lecz jej pękiem. Belnap ujmuje to tak: „[...] there is more than one history to which we belong” (Belnap [1992] s. 396).

Jednak taka interpretacja nie może zostać utrzymana, o ile BT występuje nie tyle w roli modelu rzeczywistości, lecz dostarcza semantyki dla języka, którym o niej opowiadamy. By to uzasadnić, potrzeba zbadać czy zdefiniowany powyżej formalny język L, który posługuje się identyczną interpretacją struktury BT, pozwala również za pomocą swojego aparatu poprawnie wyrazić wszystkie wypowiedzi na temat fizycznej rzeczywistości, z którymi mamy do czynienia w praktyce językowej. Będę argumentował, iż twierdzenie, że sytuacja taka ma miejsce, nie zasługuje z kilku powodów na przyjęcie. W szczególności pokażę, iż za pomocą formalizmu L nie jesteśmy w stanie – w sposób nie budzący wątpliwości – wyrazić niektórych wypowiedzi stwierdzających istnienie możliwości zdarzeń. Ich formalizacja wymaga uzupełnienia języka L o dodatkowej pojęcie możliwości, co w konsekwencji oznacza odejście od podanej interpretacji struktury BT. Tym samym dowiedzione zostanie, że uznany za adekwatny model rzeczywistości nie wynika z logiki języka, którym rzeczywistość opisujemy.

Pojęcie możliwości w L

Definicja M1 pozwala nam w języku L mówić o zdarzeniach w danej chwili *możliwych*. Przez możliwość jakiegoś faktu czy zdarzenia w danym momencie m i historii h rozumiemy „zawieranie się” tego faktu w momencie należącym do jednej z historii rozwoju wydarzeń rozgałęziających się „nad” m . Zdanie p (np. zdanie stwierdzające zajście tego faktu) jest możliwe w momencie m historii h , o ile jest ono prawdziwe w momencie m i jakiejś historii h' rozgałęziającej się „nad” m .

Fakty, zdarzenia i zdania są więc możliwe w BT w dość specyficzny sposób. Operator \diamond występujący w języku L skonstruowanym na bazie struktury BT jest operatorem tzw. możliwości historycznej, zwanej także możliwością obiektywną albo możliwością opartą o rzeczywistość (*possibility based on reality*)¹⁴.

Pojęcie obiektywnej możliwości odsyła nas do tego, co miało lub właśnie ma miejsce w rzeczywistości¹⁵. Przeszłe i/lub obecne wydarzenia określają

¹⁴ Tę nazwę wprowadził Xu [1997].

¹⁵ Xu [1997] s. 144-146.

wydarzenia, które *obiektywnie* są jeszcze możliwe. Co więcej, skoro zgodnie z definicją M1 możliwość w momencie m opiera się na pęku historii rozgałęziających się „nad” m (B_m), możliwości, o których w języku L mamy sposobność mówić, są rzeczywiste w tym sensie, iż zgodnie z definicją R należą do rzeczywistości dla danego momentu¹⁶. Są one również zrelatywizowane do momentu – to, co jest możliwe w danej chwili określonej historii niekoniecznie jest możliwe w innej chwili tej samej historii, czy nawet w tej samej chwili innej historii (a więc w innym momencie). To, co możliwe zmienia się od momentu do momentu. Możliwości wymierają. Własność ta – wymieranie z czasem – jest bardzo ważna, gdyż pozwala odróżnić pojęcie obiektywnej możliwości od innych pojęć możliwości. Prosty przykład pozwoli zrozumieć, o co tutaj chodzi.

Wyobraźmy sobie, że w momencie m mamy dwie wykluczające się możliwości: (a) podnieść lewą rękę, (b) podnieść prawą. Mija nieco czasu i wybieramy opcję (a). Czy możemy teraz, powiedzmy w jakimś momencie m' późniejszym niż m , podnieść prawą rękę, skoro nie zrobiliśmy tego w m ? Oczywiście logicznie i fizycznie jest to możliwe. Jednak pewna możliwość z momentu m została już zrealizowana. Nie ma jej w momencie m' . W sensie obiektywnej możliwości nie jest już możliwe podniesienie prawej ręki. Ta *konkretna* możliwość wyczerpała się, wymarła.

Możliwość podniesienia lewej ręki oczywiście wciąż (trywialnie) istnieje: ponieważ podnieśliśmy lewą rękę, ta możliwość została zrealizowana, a przez to nie wymarła. Zdarzenia, które miały miejsce, są wciąż (trywialnie) możliwe¹⁷.

Przechodząc do zdań powiemy, że fakt, o którym mówi zdanie p , jest obiektywnie możliwy w momencie m i historii h , o ile: albo (a) prawdziwość zdania p jest już zagwarantowana w historii h i w momencie m , albo (b) wciąż może ona jeszcze zostać zagwarantowana w jakimś momencie historii h' rozgałęziającej się „nad” m .

¹⁶ Uwypukla to inna wersja def. M1: $[M1'] M, m/h \models \diamond_{\text{hist}} p \text{ wtw } \exists h' [h' \in B_m \text{ i } M, m/h' \models p]$.

¹⁷ Ujawnia się tutaj obiektywna strona pojęcia możliwości historycznej. Nie jest to możliwość związana z czyimiś działaniami, lecz możliwość związana z wydarzeniami w świecie. Jeżeli coś się już stało, często nie jest to *jeszcze* możliwe w sensie czyjegoś działania (z tego, że mogłem coś zrobić i to zrobiłem nie wynika, że nadal mogę to zrobić). Z drugiej strony, zdarzenia, które rzeczywiście miały miejsce są obiektywnie możliwe, tak samo zresztą jak konieczne.

Wymieranie możliwości jest wynikiem formalnych własności struktury BT. W branching rzeczywistość, czyli „pęk” B_m , jest dynamiczna w tym sensie, iż dla $m' > m$ (zwykle) jest tak, że $B_{m'} \subset B_m$. W miarę upływu czasu w branching jest coraz mniej alternatyw przyszłych wydarzeń. Alternatywy te wymierają. Stąd, wymierać muszą także obiektywne możliwości. Tę własność pojęcia obiektywnej możliwości daje się ująć następująco:

$$[\text{WYM}] \quad \forall m \exists h \forall m' [(m, m' \in h) \wedge (m' > m) \wedge (M, m/h \models \diamond_{\text{hist}} p \wedge M, m/h \not\models \diamond_{\text{hist}} \neg p) \rightarrow \neg (M, m'/h \models \diamond_{\text{hist}} p)]$$

WYM mówi tyle, że jeżeli prawdziwość p nie jest jeszcze ustalona w m/h (p jest nietrywialnie możliwe), to zawsze sprawy tak się mogą potoczyć, że p nigdy nie będzie prawdziwe (czyli nie stanie się trywialnie możliwe), a fakt, o którym zdanie to mówi, nigdy się nie zrealizuje. Możliwość p wymrze¹⁸.

Cztery twierdzenia

Przyjęcie języka L jako sposobu formalizacji wypowiedzi, za pomocą których opisujemy rzeczywistość fizyczną, wiąże się z koniecznością przyjęcia czterech następujących twierdzeń:

- T1. W interpretacji struktury BT rolę rzeczywistości dla danego momentu m gra pęk historii rozgałęziających się „nad” momentem m (wynika to z przyjęcia R).
- T2. Mówiąc o możliwości pewnych zdarzeń, mówimy o obiektywnej możliwości w sensie M1. Zwrot „możliwe, że p ” rozumiemy jako stwierdzenie zachodzenia pewnej obiektywnej możliwości (wynika to z przyjęcia wyłącznie M1 jako definicji pojęcia możliwości).
- T3. Wszystkie rzeczywiście możliwe zdarzenia traktujemy jako zdarzenia obiektywnie możliwe (wynika to z przyjęcia M1 i R).

¹⁸ WYM nie będę dowodził, gdyż jest on raczej oczywisty – obecność historii falsyfikującej p zagwarantowana po lewej stronie implikacji, gwarantuje nam prawdziwość prawej strony.

T4. Wszystkie możliwe w rzeczywistości zdarzenia są wymierające w sensie WYM (wynika to z T3 i WYM).

Opisując rzeczywistość często stwierdzamy jednak realne istnienie takich możliwości, które nie wymierają. Przyjęcie T4, o ile ma być uzasadnione, oznacza więc konieczność wyjaśnienia, jaki charakter mają wypowiedzi na temat niewymierających możliwości i w jaki sposób język L jest w stanie je modelować. Okazuje się, co zaraz zobaczymy, że podanie takiego wyjaśnienia jest bardzo trudne, jeśli nie niemożliwe. To z kolei powinno nas przekonać, że L nie może stanowić zadowalającego narzędzia analizy logiki języka, którym mówimy o świecie, w szczególności o niektórych możliwych zdarzeniach.

W celu uzyskania takiego narzędzia, wygodnie będzie zrezygnować z T4 poprzez zdefiniowanie w L kolejnego pojęcia możliwości. Prowadzi to jednak nieuchronnie do odrzucenia T1, a więc rezygnacji z R.

Wymieranie zdarzeń możliwych

Jest wątpliwe, aby wymierały wszystkie realne możliwości. A to właśnie wynika z uznania L za właściwe narzędzie analizy sposobu w jaki fizyk opisuje świat. Weźmy przykładowo pod uwagę zdarzenie polegające na rozpadzie jądra X atomu jednego z promieniotwórczych pierwiastków. Niech będzie to zdarzenie *możliwe*. Opisując je za pomocą struktury BT powiemy, że w naszej historii istnieje taki moment m , dla którego istnieją co najmniej dwie przyszłe historie: historia z rozpadem jądra (oznaczymy ją h^*) w chwili t w jakimś momencie $m^* > m$ ($m^* \in h^*$) i historia, w której jądro się w chwili t jeszcze się nie rozpada. Oznaczmy ją h^{**} . Oczywiście $m \in h^*$ oraz $m \in h^{**}$ (h^* i $h^{**} \in B_m$).

Powiedzmy, że czas mija, nadchodzi chwila t i jądro X się rozpada. Znajdujemy się w historii h^* i zgodnie z M1 powiemy, że w pewnym sensie możliwość rozpadu stała się „wieczna” – ona nigdy już nie wymrze. Prawdziwość zdania stwierdzającego rozpad jądra X w chwili t została bowiem zagwarantowana. Co jednak w sytuacji, kiedy jądro się nie rozpadło? Znajdujemy się wtedy w jakimś momencie m^{**} historii h^{**} i zgodnie z M1 i WYM powinniśmy

uznać, że możliwość rozpadu X-a wygasa. Zdarzenie możliwe w m nie jest już przecież możliwe w m^{**} (historia h^* nie jest już „dostępna” w m^{**}).

Jeżeli traktujemy BT jako matematyczny model rzeczywistości, jako *teorię rzeczywistości*, wydaje się, że nic nie stoi na przeszkodzie w przyjęciu, iż w skład „umeblowania” świata wchodzi wyłącznie takie, zrelatywizowane do poszczególnych momentów, możliwe zdarzenia. Co najwyżej nasza teoria okaże się być fałszywa. Lecz oczywiście nikt od razu nie wie, jak jest naprawdę. Nie sposób bowiem z góry rozstrzygnąć, czy świat zawiera wyłącznie wymierające możliwości, czy też nie. Dopiero ewentualnie jakieś implikacje takiego założenia mogą w dalszych badaniach przyjętej teorii doprowadzić nas do jego odrzucenia.

Jednak, kiedy zależy nam na sformalizowaniu przy udziale struktury BT sposobu, w jaki posługujemy się językiem naturalnym, sytuacja wygląda inaczej. Gdy zamiast opisywać rzeczywistość, przy pomocy pewnego formalizmu matematycznego, postanawiamy w zamian opisywać raczej sposób, w jaki *zdajemy sprawę* z przebiegu rzeczywistych zdarzeń, adekwatność naszego modelu (i przydatność zastosowanego formalizmu) może zostać bezpośrednio sprawdzona. Albo bowiem w języku naturalnym, opisując przebieg zdarzeń w świecie, mówimy wyłącznie o możliwościach wymierających, powiązanych ściśle z konkretnymi momentami historii (relatywizowanymi do nich), albo mówimy również o zdarzeniach możliwych, które wymierające nie są. I albo nasz model zdaje właściwie sprawę z tego faktu, albo nie.

Niestety, ponieważ język L dysponuje wyłącznie pojęciem obiektywnej możliwości w sensie $M1$, na pierwszy rzut oka nie ma w nim środków, by wyrazić część wypowiedzi języka, którym faktycznie opisujemy świat. Istnieje jednak sposób, by nadal utrzymywać adekwatność L . Jest nim rozróżnienie na „abstrakcyjne” i „konkretne” możliwości. Poniżej będę argumentował, że wbrew oczekiwaniom, wprowadzenie takiego rozróżnienia wiąże się z szeregiem trudności i samo wymaga dodatkowych wyjaśnień. Wyjaśnień, bez których adekwatność L nie może zostać uznana, a o które wcale nie jest łatwo.

Zacznijmy od tego, że jeśli język L poprawnie formalizuje nasz sposób ujmowania rzeczywistości, musimy uznać za prawdziwy następujący okres warunkowy:

(W) Jeśli w chwili t istnieje możliwość rozpadu jądra X i nie została ona zrealizowana, to w chwili t' nie istnieje możliwość rozpadu jądra X (gdzie $t < t'$).

Musimy uwierzyć więc, że jądro X nie może *ciągle jeszcze* się rozpaść, w sytuacji kiedy nie rozpadło się *wtedy*, kiedy mogło. Ale czy ktokolwiek jest w stanie na serio uwierzyć w prawdziwość okresu W? Czy ktokolwiek uzależnia prawdziwość zdania mówiącego o *niemożliwości* rozpadu jakiegoś promieniotwórczego jądra jedynie od ewentualnego istnienia *wcześniej* takiej możliwości? Zauważmy, że wpływ na prawdziwość stwierdzenia o niemożliwości zajścia jakiegoś zdarzenia mają raczej inne czynniki, niż istnienie wcześniej takiej możliwości! To nie w ten sposób przebiega wartościowanie zdań, które formułujemy opisując rzeczywistość. A takie zdarzenia, jak rozpad jądra X , traktujemy raczej jako zdarzenia możliwe *permanentnie* w jakimś okresie czasu, choć zasadniczo w każdej sekundzie jądro może się rozpaść. Tak oto rodzi się potrzeba wyjaśnienia, w jaki sposób w języku L możemy zablokować prawdziwość W, czyli utrzymać w stanie nienaruszonym część naszej, jak się wydaje, praktyki językowej. Potrzebne wyjaśnienie będzie najprawdopodobniej wyglądać następująco.

Możliwości „konkretne” i abstrakcyjne”

Intuicyjnie prawdziwe zdanie *jądro X wciąż jeszcze może się rozpaść* zdaje się implikować, że wciąż istnieje pewna konkretna, ta sama, co wcześniej możliwość rozpadu X . Jednak na gruncie L przekonanie to daje się zakwestionować – w żadnej historii różnej od h^* nie istnieje moment m^* , a rozpad jądra X utożsamiamy przecież właśnie z tym konkretnym momentem m^* . Przyjmując L postanawiamy wobec tego, że zdanie *jądro X wciąż jeszcze może się rozpaść* mówi nie o istnieniu tej samej, wcześniej już istniejącej „konkretnej” możliwości rozpadu, lecz o istnieniu pewnej „abstrakcyjnej” możliwości, zarówno wtedy jak i teraz. To ta „abstrakcyjna” możliwość wciąż istnieje, gdy tymczasem „konkretne” możliwości

stale wymierają. Istnienie owej „abstrakcyjnej” możliwości rozpadu zasadza się naturalnie na istnieniu „konkretnych”, wymierających możliwości. Jeżeli jądro X w kolejnych chwilach się nie rozpada, wymierają „konkretne” możliwości, lecz abstrahując możemy powiedzieć, że wciąż jądro *może* się rozpaść.

Taki oto kształt przyjmuje wspomniane konieczne wyjaśnienie, w jaki sposób pogodzić nasze językowe intuicje z ich formalizacją za pomocą języka L . Ale czy jest to wyjaśnienie wystarczające? Mam co do tego poważne wątpliwości. Zadajmy sobie bowiem pytanie, jakie jest źródło rozróżnienia możliwości na „abstrakcyjne” i „konkretne”? Dzięki czemu takie rozróżnienie jest w ogóle możliwe?

Możliwość „konkretna” to możliwość zajścia „konkretnego” zdarzenia, możliwość „abstrakcyjna” zaś odnosi się do zbioru „konkretnych” możliwości. By więc mówić o tych dwóch rodzajach możliwości, musimy mówić o „konkretnych” zdarzeniach. „Konkretne” zdarzenia z kolei to zdarzenia zrelatywizowane do momentu (w BST do punktu czasoprzestrzeni). Możliwości stają się „konkretne” i niepowtarzalne w czasie, bo zdarzenia wiążą się z konkretnymi momentami¹⁹ w strukturze BT i same stają się niepowtarzalne w czasie. W tej sytuacji okres warunkowy W naturalnie staje się fałszywy, bowiem w istocie znaczy on:

(W') Jeśli w chwili t istnieje możliwość rozpadu-jądra- X -w-momencie- m^* i nie została ona zrealizowana, to w chwili t' nie istnieje możliwość rozpadu-jądra- X -w- m^* (gdzie $t < t'$).

Możliwość ta nie może istnieć w t' , bowiem w t' nie jest już „dostępna” (nie jest częścią przyszłości) historia zawierająca moment m^* . Ale czy naprawdę zdarzenia nie mogą powtarzać się w czasie lub poszczególnych momentach? Dlaczego istnieć mają wyłącznie zdarzenia w ten sposób „konkretne”?

¹⁹ Pomijam tutaj całkowicie problem rozstrzygnięcia, które elementy struktury BT są odpowiednikami zdarzeń. Wielu autorów, m.in. Belnap i Xu, uważa, że rolę zdarzeń (*event*) w BT i BST pełnią raczej pewne podzbiory historii (interwały lub tzw. tranzykcje), zaś z momentami należy jedynie utożsamiać stany rzeczy (*state of affairs*) (por. Xu [1997] s. 147 i n.). Moje wywody zachowują ważność także i w tej sytuacji.

Kryterium indywidualizacji zdarzeń

„Konkretne” możliwości wymierają, bo wiążą się z „konkretnymi” zdarzeniami, a te wiążą się z konkretnymi momentami konkretnych historii. Wobec tego, by wyjaśnić na gruncie L problem z niewymieralnością niektórych możliwości, należy przyjąć, że istnieją wyłącznie „konkretne”, niepowtarzalne zdarzenia, a następnie dzięki temu rozróżnić na możliwości „abstrakcyjne” i „konkretne”. Lecz z jakiego powodu mielibyśmy coś takiego przyjmować? Oczywiście poza chęcią wykazania, że język L dobrze radzi sobie z ujmowaniem sposobów, na jakie opisujemy rzeczywistość.

Jakiegoś wsparcia dostarcza tutaj fizyka. W teorii względności wprost mówi się o zdarzeniach punktowych, które składają się na czasoprzestrzeń. Położenie w czasoprzestrzeni dostarcza więc narzędzia do indywidualizacji zdarzeń – nie będą się one powtarzać ani w czasie, ani w przestrzeni. Zdarzenie tu i teraz będzie z pewnością czymś innym niż zdarzenie tam i później. Skoro BST posługuje się pojęciem czasoprzestrzeni, indywidualizacja zdarzeń poprzez czas i miejsce jest narzucającym się rozwiązaniem. W BT zadowolimy się zaś jedynie indywidualizacją przez momenty, czyli zabronimy powtarzać się zdarzeniom w czasie. No i mamy powody, by przyjąć istnienie „konkretnych” zdarzeń.

Szkopuł w tym, że nie są to powody wystarczające. Wciąż bowiem możemy zapytywać, dlaczego nawet na gruncie fizyki przyjmujemy, że żadne zdarzenie nie powtarza się w czasie? I czy powołanie się na indywidualność punktów czasoprzestrzeni wystarczy, by to wyjaśnić? Trzeba przy tym zauważyć, że intuicje fizyka i filozofa mogą się tutaj radykalnie różnić. To, co fizyk przyjmuje za dobrą monetę, kierując się wygodnym do opisu swojej dziedziny badań formalizmem, niekoniecznie zyska poklask w oczach filozofa. Tego ostatniego interesuje bowiem przede wszystkim, na ile momenty czy punkty czasoprzestrzeni stanowią *konieczny* składnik kryterium indywidualizacji zdarzeń. Zwłaszcza, gdy ma to znaczenie dla rozstrzygnięcia problemu adekwatności pewnego rachunku logicznego.

Tak więc, by uwierzyć w stosowność języka L, należałoby podać powody, dla których zdarzenia wystarczy identyfikować (w BT) powołując się na momenty

historii (czy jakieś większe jej fragmenty), co gwarantuje zdarzeń niepowtarzalność. Naturalnie stwierdzenie, że w strukturze BT nie ma lepszych kandydatów do indywidualizacji zdarzeń nie stanowi z pewnością żadnego wytłumaczenia. Skoro tak, być może struktura ta w ogóle nie nadaje się do pełnienia roli adekwatnego narzędzia opisu świata?! W takim razie, potrzebne jest coś więcej.

W sukurs wydaje się przychodzić nasze zdroworozsądkowe przekonanie, że w rzeczywistości nic dwa razy się nie zdarza. Żadne zdarzenie nie może powtarzać się w tej samej historii – jądro tego samego atomu nie rozpada się dwa razy, nikt dwa razy się nie rodzi itp. Oczywiście utożsamienie zdarzeń z momentami, dzięki unikalności momentów w BT, pociąga za sobą pożądaną unikalność zdarzeń. Ale czy wyjaśnianie w ten sposób przyjęcia wymierania możliwości nie jest w istocie drogą na skróty?

O ile rozsądne jest przyjąć, zgodnie z tą intuicją, że w obrębie tej samej historii zdarzenia w momencie m nie są na pewno tymi samymi zdarzeniami, co zdarzenia w momencie m' , o tyle nie jest to już takie oczywiste w przypadku zdarzeń w różnych historiach. A jeszcze mniej oczywiste jest, dlaczego możliwość jakiegoś zdarzenia w momencie m historii h nie może być tą samą konkretną możliwością, co możliwość tego zdarzenia w m' tej samej historii. Czy wobec tego cena płacona za zaspokojenie zdrowego rozsądku nie jest zbyt wysoka?

Ponownie pojawia się wobec tego problem wyjaśnienia, dlaczego koniecznym składnikiem kryterium identyfikacji zdarzeń w BT mają być momenty (czy jakiś większy wycinek historii). I dlaczego za pomocą momentów powinno się odróżniać od siebie zdarzenia również w przypadku różnych historii. Wyjaśnień takich próżno jednak szukać w pracach poświęconych branching.

Warto na koniec dodać jeszcze jedną rzecz. Przyjmijmy, że rzeczywiście, z jakichś nieznanych nam ważnych powodów, zdarzenia nie powtarzają się w momentach. Momenty indywidualizują zdarzenia. Czy musi to pociągać za sobą, że momenty indywidualizują w ten sam sposób także możliwości? Czy na przykład zdrowy rozsądek pouczający nas w sprawie powtarzalności zdarzeń w czasie ma to samo do powiedzenia na temat powtarzalności *możliwości* tych

samych zdarzeń w czasie? Wydaje mi się, że nie. Ewentualna „konkretność” możliwości wydaje się być zupełnie niezależna od ewentualnej „konkretności” zdarzeń. Przecież z tego, że żadne zdarzenie nie zawiera się w dwóch różnych momentach nie wynika, że żadne zdarzenie nie może *być możliwe* w dwóch różnych momentach. Przyjmując L przyjmujemy więc coś, co wymaga dalszych wyjaśnień, nawet jeśli istnieją wyłącznie „konkretne” zdarzenia. Trzeba czegoś więcej, by utrzymać rozróżnienie pomiędzy „abstrakcyjnymi” i „konkretnymi” możliwościami.

Liczba możliwych zdarzeń

Następna trudność jest innego rodzaju. Niestabilne jądro atomowe zasadniczo może rozpaść się w dowolnej chwili. Przyjmując rozróżnienie na „abstrakcyjne” i „konkretne” możliwości, przyjmujemy, że skoro każdej chwili odpowiada inna „konkretna” możliwość, na „abstrakcyjny” rozpad jednego i tego samego jądra X składa się ogromna ilość „konkretnych”, możliwych zdarzeń, z których tylko jedno zostanie zrealizowane. Pozostałe multum możliwości wymrze.

Konsekwencją utrzymywania T4 jest wobec tego pogląd, iż w świecie istnieje ogromna liczba możliwych zdarzeń. To nie wszystko jednak. Są to przecież *różne* zdarzenia polegające np. na rozpadzie *tego samego* jądra X! Te różne zdarzenia coś łączy – jądro X. Wygląda na to, iż potrzebujemy wprowadzić do BT jakieś kryterium identyfikacji tych wszystkich licznych „konkretnych”, a w poszczególnych chwilach (momentach) możliwych zdarzeń!²⁰ Czy jest więc sensowne najpierw utożsamiać je z różnymi momentami w historiach i tym samym postulować, że są to różne „konkretne” zdarzenia?!

Jak widać, przyjęcie T4 zmusza nas w konsekwencji do przyjęcia rozrzutnej i zupełnie nieintuicyjnej ontologii, gdzie roi się od możliwych zdarzeń. I są to zdarzenia jak najbardziej „konkretne”. Rodzi ono także konieczność uzupełnienia modelu o kolejne kryterium identyfikacji. Ale czy nie prościej jest po prostu

²⁰ Dodatkowy problem polega na tym, że nie zawsze mamy do czynienia z jakimś konkretnym indywiduum, które można by wykorzystać do tego celu. Czy możliwe zdarzenie polegające na opadzie deszczu łączy się z jakimś indywiduum, które potencjalnie mogłoby gwarantować mu tożsamość z innymi „podobnymi” możliwymi zdarzeniami?

przyjąć, że w przypadku rozpadu promieniotwórczego jądra mamy do czynienia nie z ogromną liczbą różnych możliwych zdarzeń, ukrywających się za jakąś „abstrakcyjną” możliwością rozpadu, lecz raczej jednym i tym samym konkretnym zdarzeniem, które jest *możliwe* w różnych momentach czasowych?

Zwróćmy też uwagę, że chodzi tu o to samo konkretne zdarzenie *możliwe* w różnych momentach, a nie o to samo zdarzenie *faktycznie zachodzące* w różnych momentach. Jeżeli mówienie o możliwości zachodzenia zdarzenia rozumiemy inaczej niż w definicji M1, niekoniecznie skazani jesteśmy na powtarzanie się konkretnego zdarzenia w różnych momentach różnych historii. Wciąż możemy więc utrzymywać, jeśli tylko chcemy, że w skład kryterium identyfikacji zdarzeń wchodzi momenty. Wciąż możemy mieć w BT „konkretne” zdarzenia, unikając przy tym postulowania rozróżnienia na możliwości „abstrakcyjne” i „konkretne”. By to osiągnąć, musimy jednak, co zaraz pokażę, wprowadzić do L kolejne pojęcie możliwości i tym samym odrzucić WYM.

Niewiedza

Z językiem L wiąże się jeszcze jedna trudność, o której warto wspomnieć. Wynika ona z sugerowanego przez aparat tego języka poziomu wiedzy na temat opisywanego przez nas świata. Jak wspomniałem, przyjęcie, że istnieją jedynie wymierające możliwości, oznacza, że zdaniem *możliwe jest (jeszcze), aby jądro X się rozpadło* stwierdzamy istnienie jedynie pewnej „abstrakcyjnej” możliwości rozpadu. „Abstrakcyjnej” dlatego, że „konkretne” możliwości wymierają, i co „konkretnie” możliwe było przed chwilą, możliwe być już nie może. Nietrywialna prawdziwość tego zdania wynika więc z istnienia jeszcze jakiejś „konkretnej” możliwości rozpadu X-a w przyszłości. Lecz czy nie sugeruje się tym samym, że w jakiś sposób wiemy, że pewna („konkretna”) możliwość wymiera, a pewna jest jeszcze dostępna? I że zgodnie z tą potencjalną przynajmniej wiedzą przebiega wartościowanie zdań dotyczących możliwości?

Jeśli BT rozumiemy jako teorię ontologiczną, jako model świata, nic nie stoi na przeszkodzie by przyjąć, że odpowiednie zdarzenia będą w strukturze BT „na odpowiednich miejscach”. Stąd, w danym momencie określone zdarzenie rozpadu

będzie z pewnością obiektywnie możliwe lub nie. Cała informacja potrzebna do odtworzenia wszystkich możliwych historii *świata* zostaje bowiem z założenia zapisana w zbiorze *W*. Lecz kiedy BT staje się podstawą dla modelu mówienia o świecie, zakładanie istnienia takiej zapisanej informacji, wynikające z rozróżnienia na „konkretne” i „abstrakcyjne” możliwości, wydaje się być nadużyciem.

Na co dzień, mówiąc o możliwym rozpadzie jądra promieniotwórczego pierwiastka, działamy w warunkach niepewności. Nie mamy żadnej wiedzy na temat obiektywnych możliwości. Nie wiemy bowiem tego, co w zasadzie „wiedzieć” może struktura BT, czyli tego, gdzie w możliwych historiach „siedzą” odpowiednie zdarzenia. Jeśli taka struktura ma być modelem dla naszej językowej praktyki i ona nie powinna tego „wiedzieć”.

Kiedy stwierdzamy na przykład, że *możliwe jest (jeszcze), aby jądro X się rozpadło*, niekoniecznie w przyszłości musi zawierać takie zdarzenie. Bardzo często bowiem opisując rzeczywistość stwierdzamy istnienie pewnych możliwości wydarzeń, nie mając, wydaje się, żadnej wiedzy na temat aktualizowanych ciągów przyczynowych. Jednak nasz opis nie traci przez to na znaczeniu.

Rzeczywistość zawsze opisujemy nie mając o niej pełnej wiedzy. Co więcej, jej obraz wynika wprost z braku niektórych informacji²¹ i formalizacja języka, który wytwarza ten obraz powinna ów fakt respektować. Tymczasem w *L* prawdziwość zdania stwierdzającego istnienie możliwości jakiegoś zdarzenia uzależniona jest od istnienia tego zdarzenia pośród alternatyw rozwoju wydarzeń. Taki warunek jest więc chyba zbyt restrykcyjny. Wydaje się, że powinniśmy zachować sposobność mówienia o możliwości rozpadu jądra *X*, nawet jeśli sam Bóg tak zmanipulował jądro, że *obiektywnie* rozpaść się ono już nie może. Opisując świat posługujemy się po prostu nie tylko i wyłącznie pojęciem możliwości obiektywnej. Język *L* nie przekazuje więc całej prawdy o tym opisie²².

²¹ Temperatura może być przykładem fenomenu fizycznego, którego istnienie jest wynikiem braku dostępu do pewnych istniejących informacji. W niektórych sytuacjach temperatura jest pochodną braku wiedzy na temat kwantowych korelacji (Smolin [2001] s. 95-106).

²² Oczywiście istnieją także takie możliwości, dla których zawsze posiadamy stosowne informacje. Jeśli dzisiaj jest 8 maja 2004 roku, wiem, że wczoraj *mogłem wstać dzisiaj nieco wcześniej*, lecz dzisiaj nie mam już tej możliwości. Nie zmienia to jednak faktu, że istnieją również takie realne, jak się

Jak widzimy, język L trudno jest uważać za właściwą formalizację sposobu, w jaki opisujemy rzeczywistość fizyczną i w jaki mówimy przynajmniej o niektórych możliwych zdarzeniach. By ominąć wymienione powyżej trudności, trzeba L uzupełnić o kolejne pojęcie możliwości. One zaś stają się argumentem na rzecz takiej właśnie modyfikacji L.

Możliwość fizyczna w branching

Zdefiniowanie w L wyłącznie pojęcia obiektywnej możliwości (definicja M1) najwyraźniej nie wystarcza, by sformalizować w L wszystkie wypowiedzi na temat możliwości pewnych zdarzeń, z którymi mamy do czynienia opisując świat. Z jakiego jednak powodu w L definiujemy wyłącznie pojęcie obiektywnej możliwości? Po pierwsze, być może rolę grają względy „ekonomiczne” – chcemy mieć jak najprostszy, adekwatny rachunek logiczny. Po drugie, powodem będzie również chęć opowiadania tylko o tym, co *obiektywnie* jest możliwe w danym momencie. To zaś wynika chyba z pewnego pomieszania, biorącego się z występowania struktury BT w podwójnej roli – semantyki dla L i modelu rzeczywistości.

Wymienione powody nie stanowią wobec tego jakiegoś silnego uzasadnienia za przyjmowaniem w L wyłącznie pojęcia obiektywnej możliwości. By L „objął” wszystkie możliwości, których istnienie stwierdzamy, zdefiniujemy w nim takie pojęcie możliwości, które nie będzie zrelatywizowane do momentów (choć formuły zawierające operator logiczny odpowiadający temu pojęciu będą naturalnie spełniane w momencie i historii, tak jak wszelkie inne formuły w branching). Nie wszystkie możliwe zdarzenia będą wobec tego wymierające.

Nowa definicja nie będzie brać pod uwagę wyłącznie alternatywnych wersji przyszłości. Skoro przynajmniej niektóre możliwe zdarzenia mają nie wymierać, oceniając to, co jest *jeszcze* możliwe, pod uwagę będziemy brać taki zbiór historii, który się nie zmienia (wciąż to samo jest możliwe). Będzie to po

wydać, możliwości, co do których nie mamy pewności, że wymarły albo nie wymarły i nigdy takiej pewności nie uzyskamy.

prostu zbiór W , czyli wszystkie alternatywne historie wchodzące w skład naszego świata. Nowa definicja obejmie wszystkie te historie. Oto ona.

[M2] $M, m/h \models_{\text{fiz}} p$ wtw $\exists h' [h \cap h' \neq \emptyset \text{ i } \exists m' [M, m'/h' \models p]]$

Definicja ta mówi nam tylko tyle, iż w danym momencie m jakiejś historii h zdarzenie jest możliwe, o ile ma ono miejsce w dowolnym momencie m' jakiejś innej historii h' posiadającej z h niepuste przecięcie. Na mocy postulatu *wspólnego pnia* wiemy, że przecięcie to będzie wspólnym odcinkiem przeszłości dwóch historii.

W sytuacji, kiedy do L dołączymy $M2$, zdanie *jądro X może się rozpaść* niekoniecznie będziemy łączyć z sugestią, że wiemy coś istotnego o przeszłości czy przyszłości świata. Coś, co pozwala nam identyfikować zdarzenia w różnych alternatywnych historiach i twierdzić, iż zdarzenie rozpadu X -a wciąż znajduje się w przyszłości. Wszystko, co mamy na myśli mówiąc to zdanie, zamyka się w stwierdzeniu, że istnieje gdzieś w obrębie jednej z wielu możliwych historii mających wspólną przeszłość z naszą historią zdarzenie rozpadu jądra X .

O ile pojęcie możliwości dane definicją $M1$ nazwalismy możliwością obiektywną, o tyle najlepiej byłoby pojęcie możliwości dane $M2$ nazwać po prostu możliwością fizyczną. Przyjęcie $M2$ w ramy L oznaczać będzie, iż niektóre rzeczywiste możliwości, o istnieniu których chcemy mówić, nie są już obiektywnymi możliwościami, choć wciąż są możliwościami fizycznymi. Pewne możliwe zdarzenia są nadal możliwe i nie wymierają, nawet jeśli odpowiadające im momenty (momenty, w których zdarzenia te miały miejsce) należą do tych historii, które nie mogą być już zrealizowane.

W ten sposób, gdy opisując zjawiska fizyczne mówimy *jądro X wciąż może się rozpaść*, mówimy czasami po prostu o tym, co jest fizycznie możliwe, a nie zaś o tym, co jest możliwe obiektywnie. Wobec tego, przyjmując L nie ma już potrzeby utrzymywać, że stwierdzenie istnienia pewnych możliwości, to stwierdzenie istnienia pewnych „abstrakcyjnych” możliwości. Sens rozróżnienia na „abstrakcyjne” i „konkretne” możliwości zaczyna upadać.

Z $M2$ i $M1$ wynika, że zdarzenie fizycznie możliwe w momencie m , niekoniecznie jest możliwe obiektywnie (ale obiektywnie możliwe w m koniecznie

jest możliwe fizycznie, co zgadza się z intuicją). Jednak mówiąc „możliwe, że p”, zawsze stwierdzamy coś o jakimś jednym, zlokalizowanym w konkretnym momencie pewnej historii zdarzeniu. Choć czasem moment ten nie należy już do przyszłości.

Co z trudnościami?

Przyjęcie M2 usuwa wszystkie wymienione trudności. Pierwsza z nich polega na kłopotach z wyjaśnieniem wymierania niektórych stwierdzanych przez nas możliwości. Wyjaśnienie musiało się opierać na rozróżnieniu pomiędzy „abstrakcyjnymi” i „konkretnymi” zdarzeniami (oraz możliwościami), z których jedynie te ostatnie w jakimś sensie są rzeczywiste. Rozróżnienie to zaś oznaczało, że w skład kryterium identyfikacji zdarzeń *koniecznie* wchodzi momenty i historie. Żadne zdarzenie nie powtarza się więc w czasie. Jednak to ostatnie stwierdzenie domagało się uzasadnienia, gdyż to ono wraz z definicją M1 prowadziło do konieczności utrzymywania, iż wszystkie rzeczywiste, a więc „nie-abstrakcyjne” możliwości wymierają. Co z kolei kłóciło się z naszymi intuicjami.

W sytuacji, gdy pozbywamy się T4, nie musimy już jakoś specjalnie wyjaśniać, dlaczego przyjęliśmy takie, a nie inne kryterium identyfikacji zdarzeń. Nie od niego bowiem zależy już adekwatność języka L. Oczywiście problem rozstrzygnięcia, co wchodzi w skład kryterium indywidualizacji zdarzeń wciąż pozostaje interesujący dla filozofa i czekający na rozwiązanie, ale brak wymierania możliwości przestaje być już kwestią od tego rozwiązania zależną. Niektóre możliwości nie wymierają, nawet jeśli odnoszą się do zdarzeń mających miejsce w konkretnych momentach, a nie zdarzeń powtarzalnych. Dzieje się to naturalnie dzięki wprowadzeniu do L dodatkowego pojęcia możliwości fizycznej.

Druga omawiana trudność wiązała się z pierwszą. Z powodu rozróżnienia na „abstrakcyjne” i „konkretne” możliwości, za brakiem wymierania możliwości („abstrakcyjnej”) pewnego zdarzenia stała duża liczba wymierających „konkretnych” możliwości. Po przyjęciu M2 niewymierająca możliwość rozpadu jądra X nie jest już zbiorem wielu różnych, „konkretnych” możliwości rozpadu. Może być ona bowiem rozumiana jako jedna konkretna możliwość fizyczna –

możliwość, która zachodzi jednak w wielu momentach i wielu historiach, a więc nie jest wymierająca.

Trzecia trudność wiązała się z naszą nieznaną obiektywnych realiów. Możliwość fizyczna respektuje tę nieznaną. Stwierdzenie *możliwe*, że p nie musi już oznaczać znajomości obiektywnej tkanki świata. Traktujemy je po prostu jako wypowiedź na temat tego, co fizycznie jest możliwe

Konsekwencje

Przyjęcie M2, choć wydaje się krokiem w kierunku uzyskania adekwatnej formalizacji języka opisującego możliwe zdarzenia, wiąże się również z pewnymi kosztami. Oczywiście jest, że rezygnujemy z T2 i T3. Zdarzenia możliwe w semantyce branching to nie tylko zdarzenia obiektywnie możliwe. Rezygnujemy również naturalnie z T4. Możliwości fizyczne nie wymierają, o czym łatwo się przekonać zastępując w WYM operator \diamond_{hist} operatorem \diamond_{fiz} . To jednak nie wszystko.

Skoro uważamy, że np. możliwy rozpad jądra X jest rzeczywistą, lecz czasami jedynie fizyczną możliwością, nie sposób dalej utrzymywać prawdziwości T1. Jeżeli nie wszystkie *istniejące* możliwości wymierają, to roli rzeczywistości w danym momencie m nie powinien już grać pęk historii rozgałęziających się „nad” m . Musimy odrzucić T1, a także definicję R. Interpretacja ontologiczna struktury BT ulega zmianie.

W sytuacji, kiedy za uznaniem istnienia niektórych możliwości stoi możliwość fizyczna, nie pozostaje nam nic innego jak przyznać, że w skład rzeczywistości wchodzi również te historie, w których „znajdują się” owe fizycznie możliwe zdarzenia. O ile stwierdzenie istnienia w świecie obiektywnej możliwości wymagało przyjęcia realnego istnienia wykluczających się alternatyw przyszłości, o tyle pojęcie możliwości fizycznej bardziej nadszarpuje nasze intuicje. Tutaj musimy bowiem przyjąć, iż w skład rzeczywistości wchodzi również *byłe* alternatywne przyszłości, tj. te historie, które kiedyś mogły się zrealizować (należały do przyszłości), lecz się nie zrealizowały. Jeśli więc chcemy

mówić w L o rzeczywistych zdarzeniach fizycznie możliwych w sensie M2, definicja R przybiera następującą postać:

[R'] Rzeczywistością w branching jest zbiór wszystkich historii $\{h: h \subset W\}$.

W tej sytuacji, tworząc formalny model dla języka, którym opisujemy rzeczywistość fizyczną, a w szczególności mówiąc o możliwych zdarzeniach, odrzucamy zdroworozsądkowy pogląd, iż rzeczywistość stanowi wyłącznie teraźniejszość, przeszłość i alternatywy przyszłości. W skład świata wychodzą wszystkie alternatywne wersje rozwoju wydarzeń. Jest to więc inna interpretacja ontologiczna struktury BT, niż ma to miejsce w przypadku modelu rzeczywistości stworzonego za jej pomocą

Czy to ma sens? Czy nie ma czegoś absurdalnego w przyjęciu, że świat to nie tylko alternatywne wersje przyszłości, lecz także np. alternatywne wersje przeszłości? Trudno powiedzieć. Na pewno R' nie doprowadzi nas do jawnie nieintuicyjnego wniosku, że mamy wiele przeszłości. Nawet bowiem jeżeli za reprezentację fizycznej rzeczywistości w branching będziemy uważać zbiór wszystkich historii, postulat *braku wstecznych rozgałęzień* gwarantuje nam, że dla każdego momentu czasowego w danej historii mamy dokładnie jedną przeszłość. Przyjęcie R' zupełnie nic w tej mierze nie zmienia. Wyrażamy tym raczej pogląd, iż wciąż *jakoś istnieją* alternatywne wersje przeszłości (a raczej alternatywne wersje rozwoju wydarzeń w świecie od jego początku do końca), do których oczywiście nie mamy dostępu w sensie, w jakim dostęp mamy do alternatyw przyszłości²³.

Istnienie to, moim zdaniem, nie stanowi żadnego poważnego argumentu przeciwko definicji M2. Zmusza nas jedynie do przyjęcia, że obraz świata, jaki wynika z logiki opisującego go języka, jest bardziej niezwykły, niż na pierwszy rzut oka się wydaje. Upływ czasu bowiem nie odbiera niezrealizowanym historiom całej ich realności. Różni się on także od obrazu struktury świata, jaki wypływa ze współczesnych teorii fizycznych.

²³ Struktura BT zyskuje więc interpretację, której nie życzyłaby sobie, jak mniemam, większość autorów piszących o BT. Interpretacja ta zmierza w istocie w stronę realizmu modalnego (czy wieloświatowej interpretacji mechaniki kwantowej w wydaniu Everetta).

Logika i rzeczywistość

Logika języka, którym opowiadamy o możliwych zdarzeniach, daje się modelować za pomocą struktury BT (i BST). Jednak, co pokazałem, z wielu powodów struktura ta nie może być interpretowana dokładnie w ten sam sposób, jak struktura BT (i BST) używana w roli ontologicznego modelu rzeczywistości. Logika języka, którym opowiadamy o możliwych zdarzeniach, zmusza nas do przyjęcia, że – o ile BT postanawiamy w ogóle traktować jako odbicie struktury rzeczywistości – rzeczywistość składa się także z niezrealizowanych możliwych historii. Skoro konstruując w oparciu o BT model dla naszej praktyki językowej wszystkie alternatywne wersje rozwoju wydarzeń musimy uważać za w równym stopniu realne, powstaje pytanie, na ile model taki jest uprawniony. I czy BT w ogóle w jakimś stopniu może grać rolę modelu świata?

Z pewnością semantyka branching ma coś z ontologicznej rozrzutności semantyki możliwych światów. Tam i tu postuluje się istnienie niezrealizowanych aktualnie możliwości. Jednak mieszanie modelu semantycznego, modelu wartościowania dla pewnego języka sztucznego (który z kolei ma modelować nasze sposoby mówienia o fizykalnym świecie, w szczególności o możliwych zdarzeniach) z modelem świata jest błędem. Nie powinno być wątpliwości, że struktura BT wchodząca w skład semantyki dla języka L jest jedynie użytecznym narzędziem analizy logicznej.

Logika języka, którym opowiadamy o możliwych zdarzeniach, nakazuje nam rozrzutną interpretację ontologiczną struktury, która dostarcza dla niego semantyki. Jednak kto nakazuje nam w ogóle nadawać jej ontologiczną interpretację? Moim zdaniem mamy tutaj do czynienia z podobnym błędem, jaki popełniono w przypadku rachunków logiki modalnej i semantyką możliwych światów. W obu przypadkach interpretowanie pewnych elementów modelu wartościowania, np. pewnych zbiorów w kategoriach światów czy historii jest pomocne, jako ilustracja działania modelu. Jest wygodną protezą myślową, choć niewiele wspólnego ma z rzeczywistością.

Pouczające są rozważania logików, którzy w rozpędzie wywodzą różne wnioski na temat istnienia równoległych wszechświatów (np. co do ich liczby) na

podstawie aparatu logicznego, mieszając tym samym rozważania na temat języka z rozważaniami fizycznymi. Ma to oczywiście długą tradycję wywodzącą się ze starożytności, widoczną choćby na przykładzie problemu tzw. determinizmu logicznego.

Mnie osobiście przekonanie, że w teoriomnogościowym modelu wartościowania jakiegoś sztucznego języka może być zawarta ważna informacja na temat struktury czy natury rzeczywistości, wydaje się naiwnością. Nie dlatego mamy (ewentualnie) wolną wolę, że akceptowany przez nas model wartościowania pewnego rachunku logicznego nie pozwala jednoznacznie określić wartości zdań o przyszłości. Mamy ją z innych powodów, biologicznych, fizycznych, psychologicznych, lecz nie językowych. Nie logicznych. I podobnie, w skład rzeczywistości wchodzi niezrealizowane możliwe zdarzenia, nie dlatego, że nasze aktualnie używane narzędzie logiczne to sugeruje. Mówimy, wydaje się, jakby takie elementy rzeczywistości istniały. Ale mówienie od istnienia dzieli spory dystans.

Z drugiej strony, gdyby zastosować inny sposób ujęcia naszych sposobów mówienia, bez odwoływania się do struktury BT (czy BST), być może nie mielibyśmy powodów, by wierzyć w niezrealizowane możliwe historie.

Uwagi końcowe

Branching space-time to ścisły, aksjomatyczny sposób połączenia czasoprzestrzeni Minkowskiego z (lokalnym) indeterminizmem. Struktura, o której opowiada ta teoria, uważana bywa za model rzeczywistości. Moje argumenty, o ile są poprawne, pokazują jednak, że aby przy użyciu tej samej struktury stworzyć model mówienia o rzeczywistym świecie, strukturę tą musimy przestać uważać za odpowiednik rzeczywistości, albo uznać, że rzeczywistość zawiera więcej elementów, niż zdrowy rozsądek jest w stanie zaakceptować. Zbliżamy się bowiem w ontologicznej rozrzutności do osławionej menażerii możliwych światów. Moje argumenty pokazują więc, że pobożnym życzeniem było zawieranie przez fizycznie uprawniony model świata oraz model języka, którym o świecie mówimy, tak samo rozumianej struktury BT (i BST).

Jeśli przyjąć, że realizm modalny to stanowisko utopijne, zaprezentowane rozważania mogą w swej istocie stać się argumentem przeciwko uprawianiu ontologicznych interpretacji semantyki, w szczególności semantyki opartej o strukturę BT. Semantyka żadnego rachunku logicznego nie powinna być traktowana jako coś więcej, niż jedynie *pochodna* językowego obrazu świata.

Podziękowania

Jestem wdzięczny Tomaszowi Plackowi, który przeczytał pierwszą wersję pracy, za komentarz i zachętę do dalszych badań. Dziękuję również anonimowemu recenzentowi za inspirację do ponownego przemyślenia artykułu i poprawienia kilku kłopotliwych nieścisłości.

Bibliografia

- Belnap [1992] – N. Belnap, *Branching space-time*, „Synthese” (92) 1992.
- Belnap [2001] – N. Belnap, M. Perloff, M. Xu, *Facing the Future*, Oxford University Press, Oxford 2001.
- Belnap [2002] – N. Belnap, *EPR-like „funny business” in the theory of branching space-time*, w: *Non-locality and Modality*, red. T. Placek i J. Butterfield, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 2002.
- Horty [2001] – J. Horty, *Agency and Deontic Logic*, Oxford University Press, Oxford 2001.
- McCall [1994] – S. McCall, *A Model of the Universe*, Oxford University Press, Oxford 1994.
- Müller [2002] – T. Müller, *Branching space-time, modal logic and the counterfactual conditional*, w: *Non-locality and Modality*, red. T. Placek i J. Butterfield, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 2002.
- Placek [2000] – T. Placek, *Is Nature Deterministic?*, Wydawnictwo UJ, Kraków 2000.
- Prior [1967] – A. Prior, *Past, Present, and Future*, Clarendon Press, Oxford 1967.
- Smolin [2001] – L. Smolin, *Trzy drogi do kwantowej grawitacji*, tłum. J. Kowalski-Glikman, CIS, Warszawa 2001.
- Thomason [1984] – R. Thomason, *Combinations of Tense and Modality*, w: *Handbook of Philosophical Logic*, vol. II, red. D. Gabbay i F. Guenther, Reidel, Dordrecht 1984.
- Xu [1997] – M. Xu, *Causation in branching time (I): transitions, events and causes*, „Synthese” (112) 1997.