

ASYMETRIA CZASU¹

ABSTRACT

W artykule analizowane jest rozróżnienie pomiędzy asymetrią w czasie procesów fizycznych i asymetrią samego czasu. Opierając się na założeniu, że każde rozwiązanie problemu asymetrii czasu, o ile ma być wiarygodne, powinno wyjaśniać obserwowane wokół nas asymetrie czasowe, tzn. to, dlaczego przeszłość jest ustalona a przyszłość wydaje się być otwarta, dlaczego nasza wiedza o przeszłości i przyszłości jest asymetryczna oraz dlaczego zdarzenia z przeszłości wpływają na zdarzenia przyszłe, chociaż odwrotnych zależności nie obserwujemy, dowodzi się następnie, że żadne z analizowanych w fizyce zjawisk wykazujących czasową asymetrię, takich jak wzrost entropii, procesy radiacyjne czy ekspansja wszechświata, nie może być podstawą do uznania asymetrii samego czasu. W artykule przedstawiona jest również argumentacja na rzecz tezy, iż nie istnieje zadowalające wyjaśnienie wspomnianych asymetrii, które nie opierałoby się jednocześnie na metafizycznym założeniu obiektywnego upływu czasu.

The paper analyzes the distinction between the asymmetry *in time* of physical processes and the asymmetry *of time*. Taking for granted that every plausible solution of the problem of the asymmetry of time should explain the observed temporal asymmetries, i.e. why the past seems to be fixed and determinate while the future does not, why causes precede their effects, and why our knowledge of the past and the future is asymmetric, it tries to show that physical asymmetries such as asymmetry of the entropy increase, the radiative arrow, and the expansion of universe cannot be assumed to form a basis for the asymmetry of time. It is further argued that the only plausible explanation of the observed asymmetries can be provided by the metaphysical theory of the objective passage of time.

¹ Artykuł ten przyjęty był do druku w „Zagadnieniach Naukoznawstwa” ale został stamtąd wycofany przez autora. Materiał w nim zawarty jest wykorzystany w pracy *Upływ czasu i ontologia*, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, 2011.

Słowa kluczowe: anizotropia czasu, asymetria w czasie, strzałka czasu, kierunek czasu, upływ czasu

1. WSTĘP

Asymetria (albo anizotropia) czasu, czyli posiadanie wyróżnionego kierunku – tzw. strzałki – wydaje nam się być jedną z jego fundamentalnych cech. Przeszłość jest ustalona i zamknięta, przyszłość traktujemy jako otwartą, pozostającą w sferze możliwości i dlatego jest ona przedmiotem naszych starań – naszych nadziei, ale też często obaw. Przeszłość pozostawia po sobie ślady, z których najważniejszą jest dla nas nasza pamięć, przyszłość możemy tylko przewidywać. Zdarzenia z przeszłości wpływają na te z przyszłości, odwrotnych związków przyczynowych nie znajdujemy. Problem asymetrii, lub strzałki czasu, polega na tym, aby znaleźć odpowiedź na pytanie, czy czas jest rzeczywiście anizotropowy, tak jak sugerują wspomniane zjawiska, a następnie wyjaśnić – w przypadku pozytywnej odpowiedzi na to pytanie – skąd się bierze ta asymetria i w szczególności wyjaśnić, jakie jest źródło wspomnianych wcześniej trzech podstawowych dla nas różnic pomiędzy przeszłością i przyszłością. Ktoś, kto daje negatywną odpowiedź na pytanie o asymetrię czasu, powinien nam z kolei wyjaśnić, dlaczego mimo tej symetrii postrzegamy czas jako anizotropowy. Podstaw dla postrzeganej przez nas asymetrii czasu można się bowiem doszukiwać zarówno w obiektywnym, realnym świecie, albo też – tak, jak to robią na przykład Mehlberg [1980a, b] i Horwich [1987] – zanegować jej realne istnienie, traktując ją tylko jako wytwór naszej świadomości.

Teoria, która adekwatnie wyjaśnia asymetrię czasu, może być podstawą do zredukowania relacji następstwa czasowego „wcześniej niż”, „później niż” do innych nieczasowych wielkości fizycznych. Jako przykład udanych teorii wyjaśniających pewne zjawiska fizyczne i stanowiących jednocześnie podstawę do redukcji pewnych wielkości fizycznych do innych można podać elektrodynamikę Maxwella, która pokazała nam, że światło nie jest niczym innym niż falą elektromagnetyczną o określonych długościach, czy też teorię grawitacji, która z kolei udowodniła, że kierunek góra – dół jest kierunkiem pola grawitacyjnego. Każda z tych teorii jest w stanie wyjaśnić wszystkie zjawiska, w których występują światło i kierunek góra – dół i tego samego powinniśmy oczekiwać od teorii wyjaśniającej asymetrię czasu, jeśli taka teoria istnieje.

W swoim artykule chciałbym pokazać najpierw dokładniej w drugiej jego części, na czym polega problem asymetrii *czasu*, i dlaczego należy odróżniać ją od asymetrii procesów zachodzących w *czasie*. Rozróżnienie takie pozwala m.in. zrozumieć, dlaczego mimo istnienia asymetrycznych w czasie procesów można kwestionować asymetrię samego czasu. W paragrafach 3 i 4 chciałbym przedstawić argumentację na rzecz tezy, że prawa fizyki, z termodynamiką włącznie, nie dają podstaw do uznania asymetrii czasu, przy czym termodynamika z jej słynną II zasadą ze względu na jej historyczne znaczenie dla tego problemu zanalizowana zostanie osobno w §4. W kolejnym paragrafie będę chciał natomiast pokazać, dlaczego mimo symetrii praw fizyki (*modulo* oddziaływania słabe) powinniśmy uznać asymetrię czasu i dlaczego powinniśmy szukać dla tej koncepcji metafizycznego fundamentu w postaci idei upływu czasu.²

2. ASYMETRIA CZASU I ASYMETRIA W CZASIE

Rozróżnienie asymetrii samego *czasu* i asymetrii procesów fizycznych w *czasie*, chociaż jest fundamentalne dla zrozumienia analizowanego problemu i obecnie powszechnie przyjęte, pojawiło się w filozofii stosunkowo niedawno.³ Huw Price [1997, s. 29], aby pokazać, na czym polega to rozróżnienie, odwołuje się do porównania czasu i zachodzących w nim procesów z długim i wąskim stołem, zastawionym do posiłku. Zastawa na obu końcach stołu może być różna, co nie przesądza jednak tego, czy obie części stołu są symetryczne, czy też nie. W tym przypadku, czym innym jest symetria (lub asymetria) samego stołu,

² Krytyczną analizę możliwości redukcji relacji czasowych do kauzalnych w tzw. kauzalnych teoriach czasu przedstawiam w osobnym artykule [2011c].

³ Pierwszą znaną mi pracą, w której rozróżnienie to pojawia się jest praca Sklara [1974]. Poza Sklarem [1974, 1993] rozróżnienia tego używają jeszcze m.in. Horwich [1987], Savitt [1995, 1996], Price [1997], nie jest ono natomiast obecne w starszych pracach (np. Reichenbach [1956], Mehlberg [1980a, b], Grünbaum [1973], Szumilewicz [1964], Augustynek [1970]), jakkolwiek rozważania Eddingtona [1949, s. 87-97], pokazujące że nie można wiązać kierunku upływu czasu (stawania się) ze wzrostem nieporządku w świecie (o czym piszę w §4) oraz Mehlberga, dowodzące z kolei, że nie można wiązać asymetrii czasu z pewnym *de facto* przebiegiem procesów fizycznych, dla których procesy odwrotne nie są zakazane przez prawa fizyczne, prowadziły wprost do tego rozróżnienia. Szumilewicz [1964] chociaż utożsamia zwrot czasu z kierunkiem upływem czasu (por. tytuł jej książki i przypis 1: „Terminów ‘zwrot czasu’ i ‘upływ czasu’ używamy wymiennie”) zainteresowana jest w swojej książce nie upływem czasu i jego kierunkiem, tylko asymetrią procesów fizycznych, czyli czymś co w niniejszym artykule określane jest terminem asymetria w czasie i na pewno nie jest tym samym, co kierunek upływu czasu.

symbolizująca symetrię (lub asymetrię) *czasu*, a czym innym asymetria zastawy i posiłków rozstawionych na stole, symbolizujących asymetrię *w czasie*. Wówczas, kiedy zastanawiamy się nad tym, skąd się bierze asymetria pomiędzy przeszłością i przyszłością i jak można ją wyjaśnić, chodzi nam oczywiście o to, co może nam wyjaśnić *asymetrię samego czasu*, albo *strzałkę czasu*, a nie o *asymetrię w czasie* tych czy innych procesów przebiegających w czasie. Chodzimy spać, na przykład, zazwyczaj *po* zachodzie słońca, raczej niż *przed*, ale przecież nie powiemy, że ustanawia to, czy też wyjaśnia, asymetrię samego czasu, tak jak ją doświadczamy na co dzień.

Nieco precyzyjniej ujmuje ten problem Horwich. Proponuje on, aby za podstawę dla rozstrzygnięcia problemu asymetrii czasu uznać istnienie *wewnętrznej* różnicy pomiędzy dwoma kierunkami czasu, która powinna manifestować się w asymetrii (względem odwrócenia czasu) praw fizyki. Przez wewnętrzne różnice obiektu, którym w tym wypadku jest czas, rozumie on takie własności, które nie wymagają włączania relacji do czegokolwiek innego niż sam obiekt i jego części [1987, s. 40 – 41] i to jest właśnie powód, dla którego Horwich odrzuca możliwość uznania asymetrii czasu na podstawie tego, jak realnie, albo *de facto* przebiegają procesy fizyczne, dlatego że w przypadku takich procesów musimy odwoływać się do czegoś zewnętrznego niż sam czas, mianowicie do warunków początkowych (lub brzegowych) pewnego układu fizycznego. Ponieważ Horwich jest jednocześnie eternalistą i odrzuca zdecydowanie ideę upływu czasu,⁴ to co mu pozostaje to odwołanie się praw fizyki i uznanie asymetrii czasowej dowolnego prawa za warunek *wystarczający* anizotropii czasu:

W ten sposób warunkiem wystarczającym do tego, żeby istniała wewnętrzna różnica pomiędzy kierunkami ku przyszłości i ku przeszłości jest to, żeby były one odróżniane przez prawa przyrody. A to będzie się manifestowało w pewnej różnicy pomiędzy sposobem, w jaki *wcześniej* i *później* funkcjonują w prawach przyrody. Innymi słowy, czas jest izotropowy, jeżeli dla pewnego prawa angażującego w jakiś sposób pojęcie *później niż*, konsekwencją zastąpienia tego pojęcia przez *wcześniej niż* jest to, że przestaje być ono prawem przyrody. [Horwich, 1987, s. 41 – 42]

⁴ Eternalizm, zwany też blokową teorią czasu, neguje upływ czasu i uznaje równorzędność ontologiczną przeszłości, teraźniejszości i przyszłości. Horwich jest eternalistą, dlatego że uznaje argument McTaggarta skierowany przeciwko realności czasu w tej jego części, która dotyczy realności upływu czasu - por. np. Horwich [1987, s. 4 – 5, 15 - 19, 37] oraz Gołosz [2010a].

Jest to dla niego warunek wystarczający, ale nie jest warunkiem koniecznym, dlatego że nie możemy wykluczyć – stwierdza [s. 42] – że jakieś przyszłe teorie fizyczne ujawnią nam pewne wewnętrzne własności *de facto* samego czasu.

W rozumowaniu powyższym pojawia się ważne dla problemu asymetrii czasu rozróżnienie pomiędzy *de facto*, albo warunkową nieodwracalnością procesów fizycznych, a ich nieodwracalnością na mocy prawa przyrody, czyli tzw. nieodwracalnością nomologiczną. Proces fizyczny przebiegający zgodnie z prawami fizyki jest *nomologicznie nieodwracalny*, jeśli proces odwrotny do niego, rozumiany jako odwrócony w czasie ciąg odwróconych w czasie stanów, nie może zajść zgodnie z pewnym prawem fizyki, co oznacza jednocześnie, że prawo to jest nie jest niezmiennicze ze względu na operację T odwrócenia czasu.⁵ Proces fizyczny jest zaś nieodwracalny *warunkowo* lub *de facto*, jeśli proces odwrotny do niego jest dopuszczony przez prawa fizyki, nie może zaś wystąpić ze względu na małe prawdopodobieństwo zaistnienia potrzebnych do tego warunków początkowych lub brzegowych. Jeżeli na przykład w rozdzielonym przegrodą na dwie części pojemniku mamy gaz tylko w jednej części i usuniemy przegrodę, nastąpi proces polegający na rozprzestrzenieniu się gazu w całym naczyniu, dla którego proces odwrotny jest możliwy nomologicznie (zgodny z prawami fizyki), ale który jest niesłychanie mało prawdopodobny, czyli taki, który chociaż jest nomologicznie odwracalny, *de facto* jest nieodwracalny.

Zaprezentowane powyżej stanowisko Horwicha oznacza, że nie chce on, aby *przypadkowe* warunki zajścia danego procesu - jego warunki początkowe lub brzegowe – miały rozstrzygać o asymetrii samego czasu. Horwich [1987, s. 46 – 47] krytykuje przy tym

⁵ Transformacji odwrócenia czasu, tak jak w wypadku wszystkich transformacji nieciągłych, możemy nadać tylko aktywny sens, dlatego że interpretacja bierna oznaczałaby odwrócenie biegu czasu. Różnica pomiędzy interpretacją bierną i czynną transformacji polega na tym, że w przypadku tej pierwszej nie zmieniamy samego układu fizycznego a zmieniamy tylko układ odniesienia, w którym opisujemy dany układ fizyczny (czyli zmieniamy jakby nasz punkt obserwacyjny), zaś w przypadku tej drugiej pozostawiamy ten sam układ odniesienia, zaś zmieniamy fizycznie sam układ ciał w taki sposób, aby w tym starym układzie odniesienia ten nowy układ ciał miał takie same współrzędne, jak w przypadku transformacji biernej nasz stary układ fizyczny miał w zmienionym układzie odniesienia (por. np. Sklar [1974, s. 361 – 367]). Jeżeli proces wyjściowy jest postaci $S_1, S_2, \dots, S_n$, to proces odwrotny do niego będzie miał postać $T(S_n), T(S_{n-1}), \dots, T(S_1)$, gdzie $T(S_i)$ oznaczają odwrócone w czasie stany wyjściowe, czyli np. takie same, jak pierwotnie przestrzenne układy cząsteczek, ale z odwróconymi prędkościami (por. np. Sklar [1974, s. 368]).

filozofów takich jak Grünbaum, którzy chcą szukać strzałki czasu w procesach asymetrycznych *de facto*. Mianowicie Grünbaum (1973, s. 211) argumentował, że rozróżnienie na prawa i warunki początkowe (lub brzegowe) nie jest ostre, a ma to być widoczne w kosmologii, na przykład wtedy, gdy pytamy o ogólne własności wszechświata. A skoro tak – twierdził Grünbaum - procesy asymetryczne *de facto* mogą być równie dobrze podstawą do ufundowania strzałki czasu. Odpowiadając na argument Grünbauma Horwich zauważa, że istnienie wątpliwych przypadków nie unieważnia rozróżnienia na prawa przyrody i innego rodzaju prawdy, a jedyne co wynika z rozumowania Grünbauma to to, że w takich wątpliwych przypadkach niepewność co do charakteru jakiegoś twierdzenia może się po prostu przenieść na nasze przekonanie o symetrii lub asymetrii czasu.

Przedstawioną powyżej wątpliwość Grünbauma co do ostrości podziału na prawa przyrody i warunki początkowe można by próbować wzmocnić przypominając, że Penrose [1996, s. 388 - 392] postulował, że jeśli przyszła kwantowa teoria ma wytłumaczyć, dlaczego wszechświat w chwili wielkiego wybuchu miał tak zaskakująco małą entropię,⁶ jaką spodziewamy się, że miał,⁷ to powinna to być teoria asymetryczna w czasie i to taka, która odrzuca rozróżnienie na prawa przyrody i warunki początkowe. Jednakże propozycję taką i jej znaczenie dla problemu strzałki czasu trudno jest ocenić dopóki nie doczeka się cząstkowej choćby jej realizacji. To, co można już teraz zauważyć to możliwe metodologiczne kłopoty związane z weryfikacją takiej teorii ze względu na pewnego typu szczególność i wyjątkowość oferowanego (potencjalnie) przez nią opisu świata; standardowe teorie są uniwersalne i dlatego można je sprawdzać w różnych sytuacjach i przy różnych warunkach początkowych (lub brzegowych), zaś ta postulowana przez Penrose'a znosi podział na część ogólnie obowiązującą i tę część, której zadaniem jest przystosowanie ogólnej teorii do szczególnych

⁶ Entropia – a będę się posługiwał w tej pracy wyłącznie entropią boltzmannowską, którą jej odkrywca zdefiniował jako $S = k \ln P$, (gdzie P - liczba konfiguracji, czyli ilość sposobów realizacji danego stanu makroskopowego, k - stała Boltzmanna) - jest, intuicyjnie rzecz biorąc, miarą nieuporządkowania danego układu. Porównanie entropii Boltzmanna i Gibbsa znaleźć można, na przykład, w Sklar [1974, rozdz. V oraz 1993, rozdz. 2], Prigogin, Stengers [1990, § 8.4], Huang [1987] .

⁷ Penrose [1996, s. 382] szacuje prawdopodobieństwo powstania wszechświata z tak małą entropią, z jaką powstał nasz, na $1: 10^{10^{123}}$.

warunków, i przez to może być trudna do sprawdzenia. W efekcie hipoteza Penrose’a może być postrzegana jako *ad hoc*.⁸

Innych argumentów, odwołujących się częściowo również do analogii z przestrzenią, przeciwko szukaniu podstaw asymetrii czasu w procesach nieodwracalnych *de facto*, używa Earman [1967, s. 544- 545; 1974, s. 30, 32]: czy z faktu, że istnieją obiekty niesymetryczne względem odbicia przestrzennego, takie jak na przykład my sami, mamy wnosić, że sama przestrzeń nie ma odpowiedniej symetrii? A czy z faktu, że desery jadamy przeważnie po głównym posiłku miałyby wynikać, że czas jest anizotropowy? Istota tego argumentu wydaje się być taka sama, jak argumentu Horwicha; nie możemy określać własności wewnętrznych przestrzeni i czasu przez *przypadkowy* przebieg procesów fizycznych.

Można by sądzić, że stanowisko takie, jak przedstawione wcześniej stanowisko Horwicha, zgodnie z którym asymetria czasu musi być oparta na *wewnętrznej* różnicy pomiędzy dwoma kierunkami czasu, pociąga za sobą zobowiązanie do substancjalizmu.⁹ Horwich [1987, s. 47] argumentuje, że jednak tak nie jest, dlatego że jeśli nawet negujemy ufundowanie asymetrii czasu w procesach *de facto*, zawsze jeszcze możemy szukać podstaw dla asymetrii czasu na przykład w prawach rządzących zachowaniem obiektów materialnych – tak jak to rzeczywiście robi Horwich – i po prostu sprawdzać, czy prawa te są asymetryczne w czasie. Podobnie Sklar, który broniąc nieco innego stanowiska niż Horwich uważał – o czym piszę poniżej – że niesymetryczne względem odwrócenia czasu prawa także nie stanowią podstawy dla ustanowienia na ich podstawie asymetrii czasu, argumentuje, iż takie stanowisko nie pociąga za sobą zobowiązania do substancjalizmu. Odrzucenie istnienia teorii redukującej asymetrię czasu do czasowo asymetrycznych praw oznacza tylko odrzucenie twierdzenia głoszącego, że „relacje poprzedzania czasowego należą do ‘teoretycznych fikcji’

⁸ Zwrócił na to uwagę Sklar [1993, s. 317]. Penrose [1996, s. 391] wiąże ten swój pomysł z tzw. hipotezą zerowej krzywizny Weyla, zgodnie z którą w bezpośredniej przyszłości początkowej osobliwości tensor Weyla, odpowiedzialny za odkształcenia pływowe sfery swobodnie spadających cząstek, powinien być równy zero. Gdyby istniały białe dziury, będące odwróceniami w czasie czarnej dziury (dla których tensor Weyla dąży do nieskończoności), hipoteza Penrose’a mogłaby być potwierdzalna. Jednakże, jak stwierdza Penrose [s. 391] osobliwość we wnętrzu białej dziury powinna być osobliwością początkową i spełniać hipotezę zerowej krzywizny Weyla, zatem białe dziury nie powinny istnieć.

⁹ Substancjalizm jest stanowiskiem, zgodnie z którym czas i przestrzeń (lub czasoprzestrzeń) są równorzędne ontologicznie względem obiektów materialnych (por. np. Sklar [1974]).

tego świata, co do których trzeba wykazać, że albo są redukowalne do innych relacji, albo też nie istnieją w ogóle” [Sklar, 1974, s. 411].

Horwich krytykował szukanie podstaw dla asymetrii czasu w procesach nieodwracalnych *de facto*, chciał je znaleźć natomiast w prawach, które nie są niezmiennicze względem odwrócenia czasu. Taka podstawa dla asymetrii czasu wydaje się jednak również zbyt słaba, jak pokazują argumenty Earmana¹⁰ oraz Sklara. Skupię się na tym ostatnim jako klarowniejszym. Załóżmy, mówi Sklar [1974, s. 401 – 402], że znajdziemy takie prawo, na mocy którego zakazane będą procesy odwrotne do zachodzących realnie - czy takie prawo nam cokolwiek wyjaśni, czy da nam jakkolwiek wgląd w to, czym jest kierunek czasu? Odpowiada na to pytanie negatywnie; to, co nam da taka teoria, to tylko pokazanie, że procesy odwrócone w czasie w stosunku do tych, które aktualnie zachodzą, nie są z nią zgodne, będziemy mogli sobie natomiast zawsze pomyśleć taki możliwy świat, w którym będą zachodziły procesy odwrotne do tych zachodzących realnie, i w którym będzie obowiązywało odpowiednie prawo opisujące te procesy, a będące odwróceniem w czasie prawa obowiązującego w naszym świecie. Jeżeli teraz zapytamy, które z tych praw jest tym właściwym dla naszego świata, to – jak sądzi Sklar – nie ma innej możliwości znalezienia odpowiedzi na to pytanie niż skonfrontowanie tych teorii z realnie przebiegającymi procesami.

Zanim jeszcze zilustruję rozumowanie Sklara przykładami chciałbym zwrócić uwagę na fakt, że argument Sklara łatwo jest uogólnić na przypadek procesów *de facto*: załóżmy, że znaleźliśmy jakiś proces, który jest nieodwracalny *de facto*, w rodzaju procesu polegającego na rozchodzeniu się koncentrycznych fal, tak jak to zawsze obserwujemy w kierunku od

¹⁰ “(...) suppose that some temporal asymmetry flows directly from a physical law which is not evidence of any literal temporal anisotropy, but which is an ultimate law relative to the current stage of development of science. By an ultimate law relative to the current stage of development of science, I mean to indicate one that cannot be explained by any other known laws and for which there appears no hope of getting an explanation within the currently accepted theoretical framework. If the request for an explanation of the temporal asymmetry under discussion is pushed back and back until this ultimate law is reached, one can do two things. One can simply say that no further explanation is possible, at least not at the current stage of science. Or one can say that the explanation is that ‘Time is anisotropic.’ It is clear, however, that this explanation is purely metaphorical; it is on a par with “How time flies!” as an explanation of psychological experience (...)” [Earman, 1974, s. 31]

centrum na zewnątrz.¹¹ Czy znajomość tego typu procesu dałby nam jakikolwiek wgląd w to, czym jest kierunek czasu? I czy gdyby, teoretycznie biorąc, udało nam się wywołać proces odwrotny pobudzając do drgań w skoordynowany sposób cząstki na obrzeżach obserwowanego obszaru uznalibyśmy, że czas zmienił swój kierunek?

Przedstawione rozumowanie Sklara może być zilustrowane dwoma przykładami: hipotezą Weingarda istnienia pola wprowadzającego uporządkowanie dla czasu oraz asymetrycznym czasowo prawem rządzącym oddziaływaniami słabymi. W swoim artykule z 1977r. Robert Weingard postuluje istnienie wyróżnionego i nieredukowalnego do innych wielkości wektorowego pola czaso-podobnego, wprowadzającego uporządkowanie dla czasu (*Time Ordering Field* – *TOF*), które miałyby być odpowiedzialne – wyjaśniając je tym samym – za obserwowane asymetrie, takie jak asymetrię kauzalną, asymetrię naszej wiedzy, czy asymetrię rozwoju biologicznego (np. rozwój od „ziarna do drzewa”) [1977, s. 128 – 131]. Otóż problem z powyższą hipotezą nie polega tylko na tym, że takiego pola dotychczas nie znaleziono, ale przede wszystkim na tym, że Weingard nie proponuje żadnego mechanizmu, który miałby być odpowiedzialny za to, iż jego *TOF* jest odpowiedzialne za asymetrię kauzalną i inne podstawowe dla nas asymetrie czasowe, nie wyjaśniając nam w ten sposób w żaden sposób, na czym polega asymetria czasu.

Prawo rządzące oddziaływaniami słabymi jest jedynym znanym obecnie prawem łamiącym symetrię względem odwrócenia czasu. Jak wiadomo w rozpadach słabych nie jest zachowana tzw. parzystość kombinowana *CP*, co ze względu na ze względu na zachodzenie symetrii *CPT* (twierdzenie Lüdersa – Pauliego),¹² jest równoważne złamaniu symetrii względem odwrócenia czasu *T*. Fakt, że w oddziaływaniach słabych – takich jak rozpady β czy też rozpady długożyciowych mezonów K^0 – nie jest spełniona symetria względem odwrócenia czasu, pozwala co prawda odróżnić od siebie oba kierunki czasu i relację wcześniej od relacji później, ale w żaden sposób nie wyjaśnia nam, czym jest kierunek czasu i dlaczego postrzegamy czas jako anizotropowy, o czym najlepiej świadczy fakt, że złamanie

¹¹ Procesy radiacyjne analizuję dokładniej w trzeciej części mojego artykułu.

¹² Operacja sprzężenia ładunkowego *C* zamienia cząstki na antycząstki, operacja inwersji przestrzennej *P* ($(x, y, z) \rightarrow (-x, -y, -z)$) zmienia natomiast układy prawoskrętne na lewoskrętne i odwrotnie. Twierdzenie Lüdersa – Pauliego mówi, że łączne działanie operacji *C*, *P*, *T* jest podstawową symetrią kwantowej teorii pola. Por. np. Davies [2002a, s. 233 - 239].

izotropowości czasu w oddziaływaniach słabych odnosi się do niewielkiej liczby procesów fizycznych, które wydają się być w większości zjawisk fizycznych, z którymi mamy do czynienia na co dzień, nieistotne. Gdyby okazało się z jakichś powodów (np. gdyby zweryfikowano wyniki eksperymentów lub samo twierdzenie Lüdersa – Pauliego), że jednak oddziaływania słabe są symetryczne w czasie, w naszym postrzeganiu anizotropii czasu niczego by to nie zmieniło. Wierzyć w to – stwierdza Sklar [1974, s. 399] – że „świat posiada, lub nie posiada, rzeczywistą i rozpoznawalną strzałkę czasu zależną od tych procesów, wydaje się absurdalne.”¹³

Złamanie symetrii czasowej w oddziaływaniach słabych stawia w kłopotliwej sytuacji Horwicha, który – jak już wspominałem – uznaje istnienie prawa asymetrycznego w czasie za warunek wystarczający anizotropii czasu i powinien w zasadzie uznać w związku z tym czas za asymetryczny mimo marginalnej – jak można sądzić - roli tych oddziaływań w otaczającym nas świecie. Wyjście, jakie wybiera [1987, s. 56], wydaje się jednak łamać logikę jego wywodów: Horwich stwierdza, że złamanie symetrii względem odwrócenia czasu T jest niepewne, dowodzone jest nie wprost¹⁴ i może mieć charakter *de facto*, zatem istnienie w tym wypadku prawa łamiącego symetrię względem odwrócenia czasu jest niewiarygodne. Pozwala mu to twierdzić, że „czas jest prawdopodobnie izotropowy na tej podstawie, że żadna anizotropia nie została jak dotąd odkryta.”¹⁵ Rozwiązanie takie wydaje się być jednak niezbyt eleganckim wyjściem z kłopotów spowodowanych przyjęciem przez niego założenia, iż warunkiem *wystarczającym* anizotropii czasu jest istnienie praw asymetrycznych względem odwrócenia czasu; należy tu przypomnieć, że wszystkie prawa mają status hipotez, i jeśli nawet prawo opisujące oddziaływania słabe jest mniej pewne niż inne, to autor powinien przyjąć raczej zgodnie z logiką swoich wywodów, że niepewność tego prawa przenosi się na wynikającą z jego założenia anizotropię czasu, niż kwestionować tę konsekwencję.

Wróć teraz do rozumowania Sklara, które lepiej – jak sądzę - pokazuje istotę problemu anizotropii czasu i jej związku z nomologiczną nieodwracalnością. Argumentacja ta jest przekonująca w przypadku klasycznych teorii fizycznych, które opisują zachowanie różnych obiektów fizycznych w czasie lub też dynamikę samej czasoprzestrzeni, może być

¹³ Podobnie Feynman [2000, s. 117 - 118] argumentuje, że strzałka czasu nie może zależeć od oddziaływań słabych ponieważ „słabe oddziaływania (...) w normalnych sytuacjach nie odgrywają niemal żadnej roli”.

¹⁴ Por. poprzedni akapit i przypis do niego.

¹⁵ Horwich [1987, s. 206]. Por. również rozdz. 3 jego książki.

jednak nieadekwatna w przypadku teorii fizycznych rozwijanych obecnie, w których na fundamentalnym poziomie nie ma czasu, a pojawiać się ma on dopiero z kwantowych korelacji w przejściu granicznym.¹⁶ Zweryfikować argument Sklara w kontekście wspomnianych teorii nowego typu można będzie dopiero po ich pełnym rozwinięciu, jeżeli zaś przyjąć ten argument, to mamy do wyboru albo przyjęcie anizotropii czasu i szukanie w takim przypadku uzasadnienia dla niej gdzieś indziej, niż w asymetrycznych czasowo teoriach naukowych, albo też przyjęcie, że czas jest symetryczny. W pierwszym wypadku możemy szukać jeszcze podstaw dla asymetrii czasu w asymetrycznych związkach kauzalnych – przypisując im jakąś dodatkową własność wprowadzającą do nich asymetrię - lub też przyjąć dla niej uzasadnienie w postaci metafizycznej idei upływu czasu. Asymetryczne kauzalne teorie czasu analizuję w innej pracy [2011c], tu natomiast chciałbym (w § 5) przedyskutować dwie pozostałe możliwości. Wcześniej jednak chciałbym rozważyć szczegółowe argumenty formułowane w związku z konkretnymi zjawiskami fizycznymi.

3. ASYMETRIA W CZASIE PROCESÓW FIZYCZNYCH

Wspominałem już o tym, że jedynym znanym obecnie prawem łamiącym symetrię względem odwrócenia czasu jest prawo rządzące oddziaływaniami słabymi. Przypomniałem też standardowe argumenty kwestionujące związek pomiędzy anizotropią czasu i asymetrią oddziaływań słabych: „słabe oddziaływania (...) w normalnych sytuacjach nie odgrywają niemal żadnej roli” (Feynman), ich asymetria nie wyjaśnia nam też w żaden sposób, dlaczego postrzegamy czas jako anizotropowy, tzn. dlaczego postrzegamy przeszłość jako ustaloną a przyszłość jako otwartą, ani dlaczego wiedza o przeszłości i przyszłości jest asymetryczna, ani dlaczego uważamy, że przyczyny poprzedzają w czasie swoje skutki. Zatem rozpady cząstek zachodzące poprzez oddziaływania słabe są asymetryczne w czasie i nie mogą być uznane za podstawę asymetrii samego czasu.

Z powyższego akapitu wynika wprost, że w niniejszym szkicu przyjęte jest konwencjonalne stanowisko, zgodnie z którym mechanika kwantowa (QM) traktowana jest jako teoria symetryczna względem odwrócenia czasu.¹⁷ Należałoby jednak tu przypomnieć,

¹⁶ Chodzi tu m.in. o teorie oparte na geometrii nieprzemiennej (por. np. Heller [1997]), bezczasową kwantową teorię grawitacji rozwijaną przez Rovelliego [2008] czy koncepcję czasu urojonego Hawkinga (por. np. Hawking [1990]). Por. również Healey [2002] oraz Davies [2002a].

¹⁷ Por. np. klasyczna praca Aharonov [*inter alia*, 1964] oraz Mehlberg [1980b] i Unruh [1995].

że niektórzy fizycy (i filozofowie), na przykład Penrose,¹⁸ uważają teorię tę za asymetryczną czasowo i wiążą tę asymetrię z procedurą pomiarową. Penrose [1996] w standardowy sposób rozróżnia dwie procedury: odpowiedzialną za ewolucję wektora stanu kwantowego danego układu i opisaną równaniem Schrödingera procedurę **U** oraz odpowiedzialną za pomiar *redukcję wektora stanu* **R**. Procedura **U** opisuje w sposób ciągły i deterministyczny ewolucję stanu układu jako superpozycji (z odpowiednimi amplitudami) możliwych stanów (tzw. stanów własnych) tego układu, natomiast wtedy gdy dokonujemy pomiaru lub obserwacji, następuje nieciągły i indeterministyczny przeskoc do jednego z możliwych stanów własnych, opisany procedurą **R**. Podczas gdy procedura **U** jest symetryczna w czasie, procedura **R** ma być, według Penrose'a, asymetryczna w czasie. Argumentacja Penrose'a [1996, s. 395 – 398] wygląda następująco: wyobraźmy sobie układ eksperymentalny złożony z lampy L (wyposażonej w licznik wysyłanych fotonów) i fotokomórki P, pomiędzy które wstawiono półprzepuszczalne zwierciadło nachylone pod kątem 45^0 do linii łączącej L i P. Lampa L wysyła w kierunku detektora P w przypadkowych odstępach czasu fotony, które z prawdopodobieństwem $\frac{1}{2}$ rejestrowane są przez ten detektor, zaś z prawdopodobieństwem $\frac{1}{2}$ odbijane są w kierunku punktu A, leżącego na prostopadłej do LP. Jeżeli teraz odwrócimy ten proces w czasie – argumentuje Penrose - i wyobraźmy sobie fotony wysyłane z P w kierunku L, to fotony te z prawdopodobieństwem $\frac{1}{2}$ dotrą do L i z takim samym prawdopodobieństwem $\frac{1}{2}$ zostaną odbite w kierunku punktu B, leżącego naprzeciwko punktu A. Z pozoru wydaje się, że procedura **R** (i tym samym QM) jest doskonale symetryczna w czasie, tak jednak nie jest, twierdzi Penrose [s. 397], ponieważ odwrócone w czasie pytanie powinno mieć postać:

Jeżeli wiadomo, że fotokomórka P zarejestrowała foton, to jakie jest prawdopodobieństwo, że zarejestrował go licznik lampy L?

A odpowiedź na tak postawione pytanie jest nie $\frac{1}{2}$ lecz 1.

Argumentacja Penrose'a spotkała się z krytycznymi reakcjami. Na przykład, Savitt zwraca uwagę na to, że Penrose posługuje się mocniejszym warunkiem niezmienniczości względem odwrócenia czasu, niż standardowo używany: teoria *T* jest niezmiennicza

¹⁸ Penrose w swojej znanej pracy *Nowy umysł cesarza* optuje za czasową asymetrią QM, chociaż wcześniej [Penrose, 1979] uważał tę teorię za czasowo symetryczną. Zwolennikami czasowej asymetrii procedury pomiarowej QM są również m.in. D. Albert [1994] oraz J. L. Lucas [1999].

względem odwrócenia czasu, wtw (wtedy i tylko wtedy) gdy, jeżeli stan S_i ewoluuje zgodnie z teorią T do stanu S_f , to $T(S_f)$ musi ewoluować do $T(S_i)$, gdzie $T(S_i)$ i $T(S_f)$ oznaczają ponownie (odpowiednio) odwrócone w czasie stany wyjściowy i końcowy początkowego procesu. Oczywiście rzeczą jest, że żadna indeterministyczna teoria, taka jak QM, nie może spełnić takiego warunku.¹⁹ Z punktu widzenia tej pracy ważniejsze jest jednak to, że nawet jeżeli Penrose ma rację, tak rozumiana asymetria procedury **R** (i QM) nie może ustanowić asymetrii czasu z tej prostej przyczyny, że procedura ta, wprowadzając pomiar, obserwację lub po prostu oddziaływanie fizyczne, które *powodują jako swoje następstwo* redukcję wektora stanu, oparta jest na asymetrycznej relacji następstwa czasowego, koniecznej do opisu przejścia *od* stanu ciągłej i deterministycznej ewolucji poprzez nieciągły i indeterministyczny przeskok *do* jednego z możliwych stanów własnych.²⁰ Warunkiem koniecznym tego, aby asymetryczna w czasie procedura **R** mogłaby być uznana za fundament asymetrii czasu, musiałoby być nie zakładanie przez nią żadnych *uprzednich* asymetrii czasowych. Zatem, zakładając nawet, że Penrose ma rację co do asymetrii procedury **R**, mamy tutaj ponownie do czynienia z pewną asymetrią w czasie.

Kolejnym zjawiskiem, w którym dopatrywano się źródła asymetrii (lub strzałki czasu) były procesy radiacyjne²¹: kamień wrzucony do wody powoduje rozchodzenie się koncentrycznych fal, które w miarę oddalania się od centrum słabną, odwrotnego zjawiska nie obserwujemy nigdy. Podobnie przyspieszane ładunki powodują powstanie rozchodzących się koncentrycznych fal elektromagnetycznych i ponownie odwrotnego zjawiska nie obserwujemy nigdy. Czy jednak zjawiska takie mogą być podstawą do uznania asymetrii czasu? Zdecydowanie nie; w obu przypadkach mamy do czynienia z pewną asymetrią *de facto*, zarówno prawa mechaniki klasycznej jak i prawa Maxwella rządzące zjawiskami elektromagnetycznymi są symetryczne w czasie i pozwalają na występowanie zarówno fal opóźnionych, które pojawiły się w moich przykładach, jaki i tzw. fal przedwczesnych, które

¹⁹ Savitt [1995, s. 14 - 18]. Argument Penrose'a był krytykowany również m.in. przez Unruha [1995, s. 46 – 49].

²⁰ Nie chcę przez to bynajmniej twierdzić, że Penrose popełnia *petitio principii*; w jego rozumowaniu pojawiają się (lub może powinny pojawić się – Penrose nie rozróżnia aktywnej i biernej interpretacji operacji odwrócenia w czasie i często pisze o „odwróceniu kierunku upływu czasu” – por. przypis 4) procesy i procesy odwrotne (odwrócone w czasie ciągi odwróconych w czasie stanów) i w każdym z nich możemy rozpatrywać redukcję wektora stanu.

²¹ Popper [1956] wiąże strzałkę czasu z asymetrią procesów radiacyjnych, nie rozróżniał on jednak asymetrii czasu i asymetrii w czasie.

zbiegałyby się koncentrycznie do centrum, a jeśli tych drugich nie obserwujemy, to dlatego, że do ich powstania potrzebne są warunki początkowe – skoordynowane w *fazie* drgania cząsteczek na obrzeżach rozpatrywanego pojemnika – które są niesłychanie mało prawdopodobne.²² Jako zjawiska czasowo asymetryczne *de facto*, procesy radiacyjne są asymetryczne w *czasie* i nie mogą być podstawą do uznania asymetrii samego czasu.

W związku z asymetrią promieniowania elektromagnetycznego wywiązała się interesująca dyskusja pomiędzy Einsteinem i Walterem Ritzem, który uważał, że istnieje nieodkryte jeszcze prawo fizyki – tzw. emisyjna teoria światła - które dopuszcza fale opóźnione, miałyby natomiast wykluczać fale przedwcześnie, i że to właśnie to prawo odpowiedzialne jest za asymetrię czasu.²³ Einstein był zdania, że za brak fal przedwczesnych odpowiadają nieprawdopodobne warunki początkowe potrzebne do ich zrealizowania, czyli był zwolennikiem stanowiska przedstawionego wcześniej. I nie wydaje się, żeby Ritz miał rację w tym sporze; nie tylko że nie znaleziono takiego prawa, ale też nie widać powodu, aby cokolwiek poza czystą statystyką miało wykluczać fale przedwcześnie. Co więcej, gdyby nawet takie prawo istniało – prawo opisujące czasowo asymetryczną emisję światła, spowodowaną przez *uprzednie* oddziaływania i przyspieszone ruchy ładunków w ich *następstwie*, co wynika z założonej asymetrii takiego prawa – opisywałoby tylko jedno z wielu możliwych zjawisk fizycznych *zakładając przy tym – raczej niż wyjaśniając - asymetrię czasową*, i byłoby tym samym odpowiedzialne tylko za pewną asymetrię w *czasie*.

Ostatnim procesem fizycznym, który chciałem omówić w tej części mojego artykułu, a z którym próbowano wiązać asymetrię czasu, jest ekspansja wszechświata. Jak wiadomo zgodnie z obowiązującą wiedzą wszechświat powstał w Wielkim Wybuchu ok. 13.7 miliardów lat temu i od tego czasu nieustannie rozszerza się. Co więcej, na podstawie obserwacji odległych supernowych stwierdzono w 1998r., że znajdujemy się obecnie w fazie przyspieszającej ekspansji. Niektóre ze starszych teorii wiążących asymetrię czasu z ekspansją wszechświata siłą rzeczy nie mogły brać pod uwagę tych najnowszych wyników

²² Również w przypadku alternatywnej teorii Wheelera – Feynmana [1945], wyjaśniającej promieniowanie elektromagnetyczne w kategoriach działania na odległość (standardowa teoria elektromagnetyczna wprowadza oddziaływania za pośrednictwem pola elektromagnetycznego) i przyczynowości wstecznej, mamy do czynienia z teorią symetryczną względem odwrócenia czasu i wyjaśnieniem asymetrii promieniowania poprzez odwołanie się do pewnych warunków początkowych – por. np. Sklar [1974, s. 373 – 378].

²³ Einstein, Ritz [1909]. Por. również Davies [2002a, s. 223 – 224].

obserwacyjnych, ale w tej krótkiej analizie tych koncepcji, którą zamierzam przeprowadzić, będę od tego abstrahował, nie to jest bowiem ich głównym problemem. Ten główny problem to symetria względem odwrócenia czasu praw rządzących ewolucją wszechświata, przede wszystkim ogólnej teorii względności (OTW).²⁴ Teoria ta dopuszcza bowiem modele kurczącego się wszechświata, a jeśli znaleźliśmy się akurat w takim, który się rozszerza, to stało się to za sprawą szczególnych warunków początkowych, w których powstał. Wynika stąd, że obserwowana przez nas asymetria procesu rozszerzania się wszechświata jest asymetrią *de facto* – czyli pewną asymetrią w czasie - i jako taka powinna budzić szczególny sceptycyzm przy próbach ustanowienia na jej podstawie asymetrii samego czasu.

Chciałbym pokazać na przykładzie koncepcji Thomasa Golda, na jak poważne problemy natrafiają – i jak duże trudności mają z pokonaniem go - teorie próbujące ustanowić asymetrię czasu w oparciu o rozszerzanie się wszechświata.²⁵ Gold zakładał zamknięty model wszechświata, w którym po fazie ekspansji i wzrostu entropii nastąpi faza kurczenia się wszechświata i spadku entropii, podczas której „przesunięte ku niebieskiej barwie światło pochodzące z zimnych obłoków gazu, z fotograficznych płyt, z siatkówek naszych oczu i ze wszystkich innych zimnych obiektów będzie biec ku gwiazdom i ogrzewać je”, co ma, zdaniem autora, oznaczać zmianę kierunku czasu.²⁶ To, co zwraca uwagę w tym rozumowaniu to to, że Gold nie rezygnując z dynamicznego modelu wszechświata ewoluującego w czasie i samego upływu czasu („promieniowanie będzie biec ku ciałom i ogrzewać je”) w rzeczywistości wprowadza dwie strzałki czasu: jedną *implicite*, pokazującą kierunek ewolucji od Wielkiego Wybuchu poprzez fazę, w której osiąga maksymalne rozmiary, aż do wielkiego kresu, i drugą - tę, która go szczególnie zajmuje - a która ma wskazywać od osobliwości w kierunku fazy maksymalnych rozmiarów. Oczywiście, wskazana przez Golda strzałka jest tylko strzałką w czasie.

Zwolennik tego typu teorii mógłby próbować zrezygnować z dynamiki i dosłownie rozumianej ewolucji w czasie - po to aby pozbyć się rywalki do miana strzałki czasu - i

²⁴ Przywołany wcześniej w cz. 2-iej Penrose ze swoją postulowaną ale nie odnalezioną jeszcze teorią asymetryczną względem odwrócenia czasu należy tutaj do nielicznych wyjątków.

²⁵ Gold [1962]. Zwolennikami redukcji strzałki czasu do kierunku ekspansji wszechświata, niezbyt popularnej obecnie, byli również Hoyle i Narlikar [1964].

²⁶ Gold [1962, s. 409]. Por. również Davies [2002a, s. 247 – 249].

wprowadzić statyczny model oparty na blokowej teorii czasu, w której nie ma miejsca na upływ czasu, a mamy po prostu symetryczny w czasie model z osobliwościami na obu końcach i maksimum w środku.²⁷ Cena, płacona za takie rozwiązanie, w postaci rezygnacji z dynamiki pierwszego modelu, byłaby bardzo wysoka, a i tak nie wystarczyłoby to do tego, aby rozwiązać wszystkie problemy, jakie związane są z ideą Golda. Na przykład Davies, który nie zauważa dwuznaczności pojęcia strzałki czasu u Golda, zwraca uwagę w swoich pracach na inną jej słabość, a mianowicie na to, że aby możliwa było zmniejszanie się entropii w fazie kontrakcji, potrzebne byłoby nieprawdopodobne warunki początkowe dla całego wszechświata – na przykład zaczynające się miliardy lat wcześniej przed fazą maksymalnych rozmiarów zbieganie się promieniowania elektromagnetycznego w kierunku gwiazd, czy też bardzo specjalnie dobrane prędkości i położenia początkowe wszystkich cząsteczek, tak aby w fazie maksymalnych rozmiarów wszystkie procesy zostały odwrócone.²⁸ Jeżeli z kolei Gold, aby uniknąć tego problemu, chciałby zrezygnować ze zmniejszania się entropii w fazie kontrakcji, nie widać dalej żadnego powodu, dla którego potencjalni mieszkańcy tego stadium wszechświata mieliby w dalszym ciągu próbować wiązać strzałkę czasu z kierunkiem od osobliwości ku fazie maksymalnych rozmiarów.

Zwolenników koncepcji typu Golda można zapytać jeszcze, czy w statycznym świecie postulowanym w 1917r. przez Einsteina, w którym nie byłoby ekspansji,²⁹ lub też we wszechświecie Golda w fazie maksymalnych rozmiarów, gdzie ekspansja byłaby zahamowana, ale w których przecież gwiazdy wciąż mogłyby poruszać się wokół centrów galaktyk a planety wokół swoich gwiazd, obracając się przy tym wokół swoich osi i *powodując* efekt znany nam jako pory dnia i pory roku, atomy zaś mogłyby promieniować *powodując* tym samym emisję promieniowania elektromagnetycznego, lub absorbować promieniowanie, i w którym jego potencjalni mieszkańcy mogliby, tak jak my, badać

²⁷ Gold [1962, s. 409 – 410] zauważa ten problem i proponuje alternatywny model swojego świata, oparty na blokowej teorii czasu.

²⁸ „Wszechświat musiałby więc być przedmiotem jakiegoś gigantycznego, ukrytego spisku, opartego na szczegółowej znajomości przyszłych zdarzeń (...)” [Davies, 2002a, s. 258]

²⁹ W dwa lata po przedstawieniu równań pola grawitacyjnego OTW Einstein [1917] zastosował swoją nową teorię do rozważań kosmologicznych. Będąc przekonany o statyczności wszechświata wprowadził do swoich równań stałą kosmologiczną, która miała odpowiadać za istnienie siły równoważącej przyciąganie grawitacyjne. W efekcie otrzymał statyczny model wszechświata, którego przestrzeń chwilowe są trójwymiarowymi sferami o stałej krzywiznie. Por. np. Heller [1985, rozdz. 1].

ewolucję kosmosu i zachowania entropii, czy taki świat różniłby się na tyle od naszego, że należałoby uznać, iż nie ma w nim ewolucji i nie ma w nim strzałki czasu? Czy odkrycie ekspansji wszechświata w jakikolwiek sposób wyjaśniło nam, dlaczego przeszłość wydaje się ustalona a przyszłość otwarta, przeszłość pozostawia ślady a przyszłość nie i dlaczego przeszłe zdarzenia mają pewne swoje konsekwencje w przyszłości a odwrotnej zależności nie obserwujemy?

Asymetria ekspansji wszechświata – obok asymetrii informacyjnej, radiacyjnej, termodynamicznej czy związanej z oddziaływaniami słabymi - jest, jak starałem się pokazać, tylko jednym z wielu procesów asymetrycznych w *czasie*, jakie obserwujemy wokół nas, nie stanowiąc dla nich podstawy ani nie wyjaśniając ich, a koncepcja Golda, chociaż wzbudziła spore zainteresowanie w tej swojej części, której celem było wyjaśnienie obserwowanej przez nas asymetrii wszechświata, nie wydaje się niczym więcej niż tylko niezbyt udaną wprawką w ćwiczeniu typu ‘co by było gdyby’.

Starałem się w tej części mojej pracy uzasadnić tezę, że rozpady cząstek w oddziaływaniach słabych, procesy radiacyjne oraz ekspansja wszechświata są tylko procesami asymetrycznymi w *czasie*.³⁰ W następnej części tego artykułu chciałbym zająć się specjalnym przypadkiem II zasady termodynamiki, z którą wiązano najwięcej nadziei na wyjaśnienie problemu asymetrii czasu.

4. TERMODYNAMICZNA ASYMETRIA W CZASIE

Okryta w XIX w. II zasada termodynamiki mówiła, iż w układach izolowanych entropia powinna stale wzrastać lub pozostać na tym samym poziomie (przy czym ten ostatni przypadek stosuje się tylko do rzadko zachodzących procesów odwracalnych). Mogłoby się wydawać, że zasada ta nie stosuje się do najważniejszych dla nas sytuacji, w których mamy do czynienia ze wzrostem porządku, na przykład, kiedy bierzemy pod uwagę powstawanie organizmów żywych czy gromadzenie wiedzy, ale nawet w tych przypadkach wzrost porządku odbywa się kosztem wzrostu entropii otoczenia i – w efekcie – wzrostu entropii całych układów. Właśnie ze względu na wszechobecność zjawisk, do których się stosuje i ich

³⁰ Asymetrią informacyjną, związaną z tym, że mamy ślady przeszłości (zdjęcia, filmy, zapisy historyczne, skamieniałości czy wreszcie nasza własna pamięć) a nie mamy śladów przyszłości analizuję się w swoich artykułach [2010a, b].

znaczenie w naszym życiu, zasada ta wydawała się idealnie pasować do roli teorii wyjaśniającej asymetrię czasu.

II zasada termodynamiki formułowana była jako fenomenologiczna teoria materii opisująca makroskopowe zachowanie się układów fizycznych. Próbę wyjaśnienia tej zasady w kategoriach mikroskopowych własności układów - jako dążenie tych układów do zajmowania stanów najbardziej prawdopodobnych, odpowiadających równowadze termodynamicznej - podjął w swoich pracach Boltzmann w ramach kinetycznej teorii gazów. Pierwszym krokiem na tej drodze było tzw. twierdzenie *H* przedstawione w 1872r. Boltzmann udowodnił w nim, że układy składające się z cząstek zachowujących się zgodnie z prawami mechaniki klasycznej, o ile tylko spełniają tzw. *założenie chaosu molekularnego*, mówiące że nie ma korelacji pomiędzy cząsteczkami, będą dążyły monotonicznie do stanu najbardziej prawdopodobnego – stanu równowagi termodynamicznej, odpowiadającej maksymalnej entropii - a z chwilą, kiedy zbliżą się do niego, nie opuszczą już go.³¹ Założenie chaosu molekularnego wydawało się Boltzmannowi tak naturalne, że sądził on, iż wszystkie układy muszą spełniać to założenie – a w konsekwencji i samo twierdzenie *H* – i że *dowiodł* w ten sposób II zasady termodynamiki.

Twierdzenie *H* spotkało się z ostrym atakiem: krytycy twierdzili, że Boltzmann nie mógł wydedukować asymetrycznego prawa z symetrycznej w czasie mechaniki klasycznej (Poincare, Zermelo), jeśli wyobrazimy sobie bowiem, na przykład, że w układzie zwiększającym swoją entropię prędkości wszystkich cząsteczek zostaną odwrócone, układ powinien wrócić do stanu wyjściowego z mniejszą entropią, przecząc tym samym twierdzeniu *H* (Loschmidt). Poincare udowodnił również słynne *twierdzenie o powrocie*, zgodnie z którym układ o skończonej energii i skończonej objętości powraca po dostatecznie długim czasie do dowolnie małego otoczenia prawie każdego zadanego stanu początkowego.³² Zgodnie z tym twierdzeniem zachowanie tego typu układów jest *quasi-periodyczne*, tzn. po upływie określonego czasu, zwanego czasem powrotu, wracają one do stanu dowolnie

³¹ Por. np. Huang [1978, s. 67 – 78, 85 – 91], Sklar [1974, s. 383 – 384; 1993, s. 32 – 34]. Założenie braku korelacji pomiędzy cząsteczkami oznacza, że prawdopodobieństwo ich zderzeń nie zależy od ich względnych pędów. Nazwa twierdzenia *H* wzięła się stąd, że Boltzmann posługiwał się w swoim rozumowaniu wielkością *H*, proporcjonalną do entropii, pomnożonej przez ‘-1’.

³² Jako „prawie każdy stan” należy rozumieć dowolny stan układu z wyjątkiem zbioru miary zero. Por. Huang [1978, s. 89].

bliskiemu stanowi początkowemu układu. Czas powrotu w cyklu Poincare jest niezwykle długi (rzędu 10^N , gdzie N jest liczbą cząstek układu),³³ ale to co jest istotne, to nie ten długi czas, ile symetryczne w czasie zachowanie układów dynamicznych opisanych twierdzeniem Poincare'go. Z chwilą postawienia tych zarzutów nietrudno już było znaleźć Boltzmannowi błąd w swoim rozumowaniu i poprawić go; asymetrię czasową wprowadził on do swojego rozumowania wraz z założeniem chaosu molekularnego – cząstki nie są skorelowane ze sobą tylko przed zderzeniami, które już wytwarzają pomiędzy nimi pewne korelacje.

Odrzucenie błędnego założenia i wprowadzenie do teorii analizy probabilistycznej prowadziło zmiany na tyle głębokiej, że można tu już mówić o przejściu od kinetycznej teorii gazów do teorii statystycznej, zgodnie z którą zachowanie się entropii jest *symetryczne w czasie*. O ile zgodnie z pierwszą teorią gaz nieznajdujący się w stanie nierównowagi termodynamicznej *musi* monotonicznie dążyć do stanu równowagi zwiększając tym samym swoją entropię, zgodnie z tą nową wcale tak być nie musi i analizowany układ może ewoluować zwiększając lub – choć jest to mało prawdopodobne - zmniejszając swoją entropię. Oznacza to, że II zasada termodynamiki przestała być ścisłym prawem przyrody mówiąc nam tylko o zachowaniach najbardziej prawdopodobnych. Jeżeli obserwowalibyśmy na przykład izolowany gaz dostatecznie długo, to zgodnie z tą nową symetryczną w czasie teorią, większość czasu będzie on spędzał w stanie bliskim równowagi termodynamicznej. Czasem jednakże gaz taki może spontanicznie ulegać fluktuacji, w czasie której jego entropia maleje, tym rzadszej jednak, im większa jest ta fluktuacja. W zachowaniu takim spadki i wzrosty entropii są równie częste a zachowanie entropii doskonale symetryczne w czasie. Jeżeli obserwujemy wokół siebie stały wzrost entropii, to dzieje się tak dlatego, że żyjemy w świecie, który powstał w stanie niesłychanie dalekim od stanu równowagi termodynamicznej.³⁴

Z punktu widzenia tej pracy najciekawszy jest związek, którym Boltzmann bardzo się interesował, pomiędzy obserwowanym przez nas w świecie stałym wzrostem entropii a asymetrią samego czasu. Boltzmann miał nadzieję, że uda mu się pokazać, że strzałka czasu

³³ Por. np. Huang [1978, s. 89]. W przypadku 1-ego mola gazu $N \approx 10^{24}$ a czas powrotu $T \approx 10^{10^{24}}$ jest wielokrotnie większy od wieku wszechświata, szacowanego na 10^{10} lat, niezależnie od tego, jakie jednostki czasu (sekundy, godziny czy też lata) zastosujemy przy obliczaniu czasu powrotu.

³⁴ Por. przyp. 6.

jest wyznaczona przez kierunek zmian entropii w świecie. Dopóki II zasada termodynamiki wydawała się być ścisłym prawem przyrody był on przekonany, że taka redukcja będzie miała charakter obiektywny. Ale nawet potem, kiedy już okazało się, że czasowa asymetria entropii jest tylko pewną asymetrią *de facto*, twórca mechaniki statystycznej nie poniechał prób takiej redukcji, a to, z czego jedynie zrezygnował, to obiektywny charakter takiej redukcji:

Mamy do wyboru dwa rodzaje opisu. Albo przyjmiemy, że cały wszechświat jest w obecnej chwili stanem wielce nieprawdopodobnym, albo też założymy, że eony podczas których trwa ów nieprawdopodobny stan, jak również odległość stąd do Syriusza są znikomo małe, w porównaniu z wiekiem i rozmiarami wszechświata. W takim wszechświecie, który jako całość znajduje się w równowadze cieplnej, a więc jest martwy, można tu i ówdzie wyodrębnić stosunkowo małe obszary o rozmiarach naszej galaktyki: obszary (nazwijmy je światami), które wykazują znaczne odstępstwo [fluctuate] od stanów równowagi cieplnej we względnie krótkich przedziałach tych 'eonów' czasu. Dla owych światów prawdopodobieństwa ich stanów (to znaczy entropia) mogą równie dobrze rosnąć, jak maleć. We wszechświecie jako całości dwa kierunki czasu są nieodróżnialne, tak jak tak jak w przestrzeni nie ma kierunków 'do góry' i 'na dół'. Niemniej, podobnie jak w pewnym miejscu na powierzchni Ziemi możemy pewien kierunek ku środkowi Ziemi nazwać kierunkiem 'na dół', tak i organizm żywy, który znajdzie się w takim świecie przez pewien okres, może określić kierunek czasu jako taki, który prowadzi od stanu mniej prawdopodobnego do bardziej prawdopodobnego (pierwszy będzie 'przeszłością', drugi zaś 'przyszłością') i na mocy tej definicji skonstatuje, że jego własny mały obszar oddzielony od reszty wszechświata, jest 'początkowo' zawsze w pewnym nieprawdopodobnym stanie. Sądzę, że ten sposób oglądu jest jedynym, który pozwala nam zrozumieć słuszność drugiej zasady oraz śmierć cieplną każdego jednostkowego świata bez odwoływania się do jednokierunkowej zmiany całego wszechświata od określonego stanu początkowego do pewnego stanu końcowego.³⁵

Boltzmann twierdzi w powyższym fragmencie, że kierunek czasu jako „organizmy żywe” określamy jako kierunek wzrastającej entropii, a racją po temu ma być koekstensywność relacji 'być później niż' oraz 'posiadać wyższą entropię niż' określonych dla tego obszaru świata, w którym żyjemy.

Przedstawiłem powyżej ogólne argumenty Horwicha, Earmana oraz Sklara przeciwko możliwości oparcia asymetrii czasu na asymetrycznych czasowo prawach i asymetrycznych *de facto* procesach i nie wydaje się, żeby Boltzmann przedstawił wystarczające racje po temu, aby można było sprowadzić jedną z tych relacji do drugiej, tak jak się – używając jego

³⁵ Boltzmann [1896 - 1898, s. 446-447]. Tłumaczenie przytaczam za Prigogine i Stengers [1990, s. 272]. W tej ostatniej pozycji, podobnie jak u Sklara [1974, 1993, 1995a], znaleźć można historię zmagania Boltzmanna z II zasadą termodynamiki.

analogii - sprowadza kierunek góra dół do kierunku działania siły grawitacji,³⁶ i to nawet wtedy, gdyby II zasada termodynamiki miała być ścisłym prawem przyrody. Przeciwnie takiemu twierdzeniu Boltzmanna można przedstawić szereg argumentów. Warto może zacząć od tego, który co prawda nie jest rozstrzygający, ale który jest ciekawy przez to, że zwraca uwagę na istotną odmienną relacji następstwa czasowego w stosunku do innych dostępnych nam poznawczo relacji zachodzących pomiędzy zdarzeniami, takich jak na przykład relacja kauzalna oraz relacja ‘znajdowania się w stanie większego nieporządku niż’ (związana z gradientem entropii). Mianowicie J. Mackie twierdził, że relacja ‘bycia później’ jest oparta na prostym, bezpośrednim doświadczeniu i jako taka jest pierwotna i niesprowadzalna do relacji kauzalnej.³⁷ W podobny sposób można argumentować, jak zauważa Sklar, iż wiemy też, czym jest organizacja (lub nieporządek) świata i wiemy doskonale, że relacja porównująca porządek świata (lub jakiegoś układu) w dwóch momentach czasu i relacja następstwa czasowego są to rzeczy ”kompletnie różne” i niesprowadzalne do siebie.³⁸ Możemy, jak pisze Mackie, stwierdzać następstwo czasowe zdarzeń niepowiązanych kauzalnie, możemy też, na przykład, porządkować zdewastowany z tego czy innego powodu obszar, na którym się znajdujemy zmniejszając jego entropię, i nie powiemy bynajmniej z tego powodu, że czas odwrócił swój kierunek.

Argumenty powyższe pokazują to, że następstwo czasowe - z jednej strony - oraz relacje kauzalne i relacje porównujące porządek danego układu fizycznego - z drugiej - poznajemy w inny sposób, czyli pokazują ich *epistemologiczną* odmienną. Jak jednak przekonuje Sklar [1981, s. 316 – 318; 1995b, s. 218 - 219], tego typu argumenty pokazują tylko niemożność *epistemologicznej* (lub filozoficznej) redukcji opartej na sposobie, w jaki rozważane typy relacji poznajemy, nie wykluczając możliwości *naukowej* redukcji. Można zilustrować to prostymi przykładami: barwę światła oraz własności fali elektromagnetycznej,

³⁶ Sklar [1981] krytycznie analizuje zaproponowaną przez Boltzmanna analogię pomiędzy kierunkiem w przestrzeni góra – dół i kierunkiem w czasie przeszłość - przyszłość.

³⁷ Mackie, jak pisze Sklar [1981, s. 315 – 316], stwierdza to w swoim nieopublikowanym artykule „Causal Asymmetry in Concept and Reality”.

³⁸ Sklar [1981, s. 315 – 316]. Można w tym miejscu też przypomnieć, że Eddington [1949, s. 97] poddając krytyce próby utożsamienia stawania się, czyli upływu czasu, z gradientem entropii argumentuje w podobny sposób: “Our trouble is that we have to associate two things both of which we more or less understand, and, so as we understand them, they are utterly different.”

takie jak długość i częstotliwość, poznajemy w inny sposób, wiemy jednak doskonale dzięki fizyce, że można je sobą identyfikować, podobnie kierunek góra – dół możemy dzięki fizyce *poprzez jej teorie* utożsamić z kierunkiem natężenia pola grawitacyjnego (czyli z gradientem potencjału grawitacyjnego), chociaż i bez jej pomocy wiemy doskonale, co to jest. Argument typu argumentu Mackie’go nie jest zatem rozstrzygający.

O jakiego rodzaju redukcji mógł myśleć Boltzmann? Nie wydaje się, żeby celem Boltzmanna była *redukcja przez definicję*, a w każdym razie tego typu redukcja jest nie do utrzymania; przy redukcji przez definicję II zasada termodynamiki, mówiąca o wzroście entropii wraz ze wzrostem czasu, byłaby tylko zdaniem analitycznym i pustym poznawczo. Nie wydaje się, żeby Boltzmann chciał przystać na to, aby w konsekwencji jego teorii należało traktować II zasadę termodynamiki jako tautologię. Zamierzeniem Boltzmanna była raczej, jak można sądzić, *naukowa redukcja*, ale jeśli tak – i tu dochodzimy za Sklarem [1981, s. 318- 323; 1995b, s. 221 - 222] do drugiego poważniejszego argumentu przeciwko boltzmannowskiej idei redukcji strzałki czasu do gradientu entropii - to powinno być możliwe, tak jak w przypadku redukcji kierunku góra - dół do kierunku siły grawitacji, wyjaśnienie wszystkich zjawisk związanych z tym, jak „organizm żywy może określić kierunek czasu”. W przypadku redukcji kierunku góra – dół do kierunku siły grawitacji wszystkie zjawiska związane z kierunkiem góra - dół (np. spadanie ciał cięższych od powietrza oraz wznoszenie się lżejszych, czy też nawet nasze wewnętrzne wyczucie tego kierunku poprzez fizjologiczne procesy zachodzące w naszym uchu) można wytłumaczyć odwołując się do siły grawitacji. Zatem jeżeli Boltzmann ma rację, powinno być możliwe entropijne wyjaśnienie następujących zjawisk:

- i) dlaczego traktujemy przeszłość jako ustaloną a przyszłość jako otwartą i dlaczego przedmiotem naszych zabiegów jest przyszłość a nie przeszłość?
- ii) dlaczego nasza wiedza o przeszłości i przyszłości jest asymetryczna – posiadamy ślady przeszłości a nie posiadamy śladów przyszłości?
- iii) dlaczego przeszłość oddziałuje kauzalnie na przyszłość a nie odwrotnie?

Ani problem (i), ani problem (iii) nie znajdują swojego wyjaśnienia na gruncie teorii redukcyjnych, a co więcej, w szczególnym przypadku punktu (iii), to, jak staram się udowodnić w swojej pracy [2011c], asymetria kauzalna znajduje zadawalające wyjaśnienie

jedynie przy uprzednim założeniu asymetrycznej relacji następstwa czasowego, co zauważył już Hume [1977].

Jeżeli zaś chodzi o punkt (ii), to entropijna próba wyjaśnienia czasowej asymetrii naszej wiedzy podjęta przez Reichenbacha [1956, s. 150 – 151], Grünbauma [1973, s. 235 – 236, 281 – 289] i Smarta [1967, 2005, s. 469], zgodnie z którą ślady przeszłości to nic innego, niż rejony obniżonej entropii jako następstwo wcześniejszego oddziaływania z innym układem, zostały poddane przekonującej krytyce przez Earmana.³⁹ Earman pokazał odwołując się do różnych argumentów, że to nie rozważania na temat zachowania entropii dostarczają nam wiedzy o przeszłości. Ślady, takie jak na przykład zdjęcia czy nasza pamięć, dają nam dużo więcej i to na ogół bardziej szczegółowych informacji na temat przeszłości, niż wynikałoby z ujęcia entropijnego. W dodatku pojęcie entropii stosuje się tu – bez precyzowania go – często poza obszarem, dla którego to pojęcie zostało wypracowane (termodynamika statystyczna), a podukłady, do których się je stosuje, często nie spełniają warunku quasi-izolacji, co jest szczególnie widoczne w przypadku ludzkiej pamięci. Istnieją też przypadki, np. pozostawiający dobrze rozpoznawalne ślady wybuch bomby, które związane są ze wzrostem entropii w danym podukładzie i przez to nie podpadają w ogóle pod zaproponowany schemat. Earman zauważa również [1974, s. 41], że w każdą analizę entropijną śladów uwikłane jest pewne rozumowanie przyczynowo-skutkowe i to zakładające *asymetryczny w czasie* związek przyczynowo - skutkowy; przyjmuje się w takich analizach, że zmniejszenie entropii ma pewną swoją *wcześniejszą* przyczynę - jest spowodowane oddziaływaniem z innym podukładem - wykluczając z góry np. przyczynowość wsteczną, a założenie, że zmniejszenie entropii ma pewną swoją *wcześniejszą* przyczynę, budzi podejrzenie, iż całe rozumowanie uwikłane jest w błędne koło.

Fakty, na które wskazuje Earman, mają bardzo poważne konsekwencje dla zwolennika entropijnej teorii asymetrii czasu. Po pierwsze, Earman pokazuje, że w analizie zmian entropii układów fizycznych wykorzystujemy asymetryczny czasowo związek kauzalny, co oznacza, że nadzieje adherentów takiego podejścia na wyjaśnienie obserwowanej przez nas asymetrii związku przyczynowo – skutkowego przez odwołanie się do asymetrii entropii są bezpodstawne. Po drugie zaś, tym bardziej bezpodstawne będą nadzieje na tego typu wyjaśnienie za pośrednictwem naszej asymetrycznej wiedzy poprzez następujące

³⁹ Earman [1974, s. 34 – 45]. Problem ten, i argumentację Earmana, analizuję obszerniej w swojej pracy [2010b].

rozumowanie: asymetria entropii wpływa na asymetrię naszej wiedzy, z ta dopiero ma decydować o tym, czym różnią się przyczyny od skutków. Problem z takim rozumowaniem polega na tym, że nie tylko nie da się ugruntować asymetrii naszej wiedzy w entropijnej asymetrii, ale jeszcze, jak pokazuje rozumowanie Earmana, wyjaśnień zależności pomiędzy zmianami entropii i asymetrią związku kauzalnego należy szukać raczej w odwrotnym kierunku.

Wracając zaś ponownie do boltzmannowskiego wyjaśnienia, to jego ocena wypada jeszcze gorzej, jeżeli weźmiemy pod uwagę rzeczywisty status II zasady termodynamiki i czasową symetrię mechaniki statystycznej. Teoria ta mówi nam, że układ znajdujący się *początkowo* w stanie nierównowagi termodynamicznej będzie z dużym prawdopodobieństwem *ewoluował* w kierunku stanów bardziej prawdopodobnych, tzn. w kierunku równowagi termodynamicznej, zwiększając tym samym swoją entropię, zaś entropia układu znajdującego się w równowadze termodynamicznej może spontanicznie *fluktuować* w kierunku większego porządku. Dzieje się tak, dlatego że, chociaż przypadkowe ruchy cząsteczek będą na ogół *prowadziły* do stanów o większym prawdopodobieństwie, mogą czasami - ale bardzo rzadko - *stworzyć* stan mniej prawdopodobny. Tego typu teoria zakłada *dynamiczną* ewolucję układu: w miarę upływającego czasu układ może trwać w stanie równowagi lub fluktuować najpierw zmniejszając a potem zwiększając swoją entropię. Ale jakie właściwie ma to konsekwencje dla boltzmannowskiej koncepcji strzałki czasu?

Mamy tutaj dwie możliwości: albo mówiąc o fluktuacjach (ze stanu równowagi termodynamicznej), związanych ze wzrostem lub maleniem entropii, i trwaniem w stanie równowagi cieplnej jakiegoś świata, zakładamy już obiektywny upływ czasu, albo też odrzucamy jego istnienie. Jeżeli zakładamy obiektywny upływ czasu, wtedy to, co Boltzmann mówi o tych fluktuacjach i trwaniu w stanie równowagi jest zrozumiałe, ale też wtedy jego czysto *subiektywna* w takiej sytuacji strzałka czasu staje się artefaktem nadbudowanym nad *obiektywną* strzałką czasu związaną z upływem czasu – czasami z nią zgodną, a czasami (w stanie równowagi i w okresie zmniejszania się entropii) – niezgodną - i cała boltzmannowska koncepcja strzałki czasu po prostu przestaje być *adekwatna* jako teoria asymetrii samego czasu. W drugim przypadku upływu czasu (a tym samym drugiej, *obiektywnej* strzałki czasu) co prawda nie zakładamy, ale wtedy z kolei *zajście fluktuacji* (a raczej *obecność* lub *występowanie tych fluktuacji*) we wszechświecie, który trwa, w sensie beztensowego (bez wprowadzonych kategorii czasu przeszłego, teraźniejszego i przyszłego) istnienia, w stanie

równowagi cieplnej, przestaje mieć zrozumiały sens, podobnie jak cała boltzmannowska idea *dochodzenia* do stanu równowagi poprzez dążenie układu do zajmowania stanów najbardziej prawdopodobnych.

Sposób myślenia, który daje się zauważyć w powyższym rozumowaniu Boltzmanna, jest typowy dla wszystkich zwolenników idei zredukowania relacji czasowych („następstwa”, „poprzedzania”, „pomiędzy”) do innych, bardziej „podstawowych” relacji fizycznych (kauzalnych, entropijnych itp.)⁴⁰; rozumowanie to nie polega, tak jak powinno, na pokazaniu, jak można procesy *dynamicznie zachodzące w czasie* wyjaśnić w eksplikansie *bez* odwoływania się do pomocy dynamicznych procesów przy pomocy tylko i wyłącznie statycznych i symetrycznych w czasie interakcji pomiędzy ciałami a, wręcz przeciwnie, w swój eksplikans Boltzmann nieustannie wplata dynamiczne i jednokierunkowe procesy (trwanie tego samego *endurującego*, czyli obecnego w całości w każdym momencie czasu, układu *ku* przyszłości, uleganie fluktuacji i naprzemienne zmniejszanie i zwiększanie swojej entropii - co szczególnie wyraźnie widoczne jest w angielskim przekładzie cytowanego fragmentu). Rozumowanie takie w najlepszym razie jest niezrozumiałe i nie daje tego, co obiecuje, natomiast odczytywane wprost może być podejrzewane o błąd *petitio principii*.

Boltzmannowska koncepcja redukcji strzałki czasu do gradientu entropii była modyfikowana i rozwijana przez Reichenbacha.⁴¹ Reichenbach deklaruje za Boltzmannem, że teoria kierunku czasu jako statystycznego trendu odpowiadającego przechodzeniu od mniej do bardziej prawdopodobnych konfiguracji cząsteczek stanowić musi „jądro teorii upływu czasu” [1956, s. 55]. Jako teorię taką proponuje on tzw. hipotezę rozgałęzionej struktury (*branch structure*) [1956, §16]. Zgodnie z tą hipotezą wszechświat, mający obecnie małą, ale wzrastającą entropię, składa się ze zbioru (*space-ensemble*) przestrzennie rozdzielonych i dynamicznie niezależnych podukładów. Wiele z tych podukładów (*branch systems*) przez

⁴⁰ Ten sam typ rozumowania występuje, na co wskazywałem wcześniej uwagę (§ 3) u Golda. Można go też spotkać w próbach entropijnego wyjaśnienia asymetrii naszej wiedzy u Reichenbacha, Grünbauma i Smarta. Por. również Gołosz [2010b].

⁴¹ Reichenbach [1956]. Koncepcję Reichenbacha zmodyfikował z kolei Grünbaum [1973]. W odróżnieniu od Reichenbacha nie wprowadza on entropii dla całego wszechświata (entropia dla wszechświata, który byłby nieskończony, nie byłaby pojęciem dobrze określonym), tylko dla pewnego ograniczonego świata, dla którego przyjmuje, zgodnie z tym, co obserwujemy, początkową niską entropię. Por. np. Szumilewicz [1964], Earman [1974], Horwich [1987].

pewien okres czasu jest oddzielonych (izolowanych lub quasi- izolowanych) od układu głównego, niemniej na obu końcach wspomnianego odcinka czasu są one połączone z głównym układem. W olbrzymiej większości podukładów ukierunkowania w stronę wyższej entropii zgodne są ze sobą i z kierunkiem zmian w głównym układzie. Zwrot czasu określony jest jako dominujący statystycznie kierunek wzrostu entropii. Ponieważ Reichenbach akceptuje symetryczną w czasie mechanikę statystyczną, dopuszcza zarówno przypadki, kiedy kierunek gradientu entropii wszechświata, i tym samym kierunek czasu, mogą się zmieniać,⁴² jak i przypadki, kiedy w pewnych podukładach entropia może zmaleć na skutek fluktuacji lub na skutek wcześniejszego oddziaływania z innym podukładem. Ten ostatni przypadek ma miejsce na przykład wtedy, kiedy przechodzień zostawia odcisk stopy na piasku.⁴³

Zaletą koncepcji rozgałęzionej struktury jest to, że umożliwia ona analizowanie zachowanie entropii w różnych podukładach wszechświata i ich zróżnicowany wpływ na siebie i na entropię całego wszechświata. Koncepcja ta pozwala Reichenbachowi dzięki temu zmierzyć się z problemem śladów przeszłości i asymetrii naszej wiedzy. Czy jednak reichenbachowska „teoria upływu czasu”, czy też „kierunku czasu” jest zadawalająca? Niestety, nie. Reichenbach podnosi jeden z aspektów upływu czasu – obserwowany powszechnie wzrost entropii – do rangi konstytutywnej podstawy dla swojej teorii kierunku czasu, nie wyjaśniając nam przy tym ani dlaczego przeszłość traktujemy jako ustaloną a przyszłość jako otwartą, ani dlaczego traktujemy przeszłość jako wpływającą kauzalnie na przyszłość a nie odwrotnie, ani też nie proponując zadawalającego wyjaśnienia asymetrii naszej wiedzy. Swoją próbę wyjaśnienia tej ostatniej asymetrii, jak zauważył Earman i o czym pisałem wcześniej, Reichenbach opiera na przyjmowanej *implicite* – chociaż *explicite* w analizowanej pracy [1956] deklaruje jej symetrię⁴⁴ - asymetrycznej czasowo relacji kauzalnej

⁴² „There is no necessity for the existence of a unique direction of total time; whether there is only one time direction, or whether time directions alternate, depends on the shape of the entropy curve plotted by the universe.” [Reichenbach 1956, s. 128] Reichenbach pisał w związku z tym o sekwencyjnym charakterze strzałki czasu.

⁴³ Przypadek ten służy Reichenbachowi [1956, s. 150 – 151] do entropijnego wyjaśnienia asymetrii naszej wiedzy. Krytyczną analizę rozumowania Reichenbacha przeprowadza, o czym wcześniej pisałem Earman [1974]. Por. również Gołosz [2010b].

⁴⁴ W swoich wcześniejszych pracach (np. [1958] - jest to angielski przekład książki z 1928r.) Reichenbach przyjmował, że relacja przyczynowo – skutkowa jest asymetryczna. Por. np. Gołosz [2011c].

czyniąc tym samym swoje wyjaśnienia – mówiąc najłagodniej – niewiarygodnymi. W dodatku, podobnie jak w koncepcji Boltzmann, proponowana przez Reichenbacha „teoria upływu czasu” i strzałki czasu prowadzi do tego, że dynamika układów statystycznych – ich dochodzenie do stanów równowagi i fluktuacje – staje się po prostu niezrozumiała.

Staralem się pokazać w swojej pracy, iż fizyka oparta jest na teoriach, które są symetryczne względem odwrócenia czasu, a te procesy fizyczne, które wykazują asymetrię względem czasu – związane, na przykład, ze wzrostem entropii - są asymetryczne w *czasie* i jako takie nie mogą być przyjęte jako podstawa do uznania asymetrii samego *czasu*. Czy wobec tego należy uznać, że czas izotropowy, tzn. nie wyróżnia żadnego kierunku, wbrew temu, co mówi nam całe nasze codzienne doświadczenie?

5. CZY CZAS JEST IZOTROPOWY?

Pozytywnie na tak postawione pytanie odpowiadają Mehlberg [1980a, b] i Horwich [1987]. Racją, na którą powołują się obydwaj, jest, jak już pisałem wcześniej, symetria praw fizyki. Z tego samego powodu także Price [1997] uważa, że istniejące procesy asymetryczne w *czasie* nie mogą stanowić dla nas podstawy do tego, żeby stwierdzić asymetrię samego *czasu*. Stanowisko takie, aby mogło być zaakceptowane, musi być jednak podparte wyjaśnieniem, skąd bierze się tak ogromna czasowa asymetria w naszym postrzeganiu świata, tzn. dlaczego mamy ślady przeszłości, chociaż nie mamy śladów przyszłości, dlaczego uważamy, że przeszłe zdarzenia wpływają na przyszłe, ale nie odwrotnie i dlaczego traktujemy przeszłość jako ustaloną a przyszłość nie, i dlaczego zabiegamy w związku z tym o tę ostatnią. Zwykła deklaracja, iż pochodzenie jej jest czysto subiektywne, jest tutaj zwyczajnie niewystarczająca. Niestety wyjaśnienia takiego, które byłoby jednocześnie wiarygodne, jak spróbuję pokazać, brakuje.

Mehlberg poświęca niewiele uwagi próbom wytłumaczenia, skąd się bierze obserwowana przez nas asymetria czasu. Stwierdza tylko krótko [1980b, s. 200 – 202], iż

- i) organizmy żywe dzielą pewną wspólną czasową orientację, która konieczna była do przeżycia i ewolucji. Wiedza o przeszłości umożliwia człowiekowi przeżycie; z pewnością byłby on niezdolny do życia, gdyby posiadał takie same zdolności poznawcze w odniesieniu do przeszłości i przyszłości

- ii) nieodwracalność pewnych procesów, na przykład biologicznych, zgodna jest z czasową symetrią praw fizyki i chemii rządzących ewolucją życia na Ziemi, i tak samo „nikt nie mógłby zawrócić planet w ich biegu na orbicie” [s. 202]
- iii) zwroty, takie jak ‘teraźniejszy’, ‘przeszły’ i ‘przyszły’ mają wyłącznie charakter okazjonalny (podobnie jak ‘tutaj’, ‘tam’) i używamy ich tylko ze względu na konwencję językową i wygodę
- iv) ktoś może pragnąć także tego, co należy do mojej przeszłości, tak jak zwykle pragniemy osiągnąć pewne rzeczy w przyszłości, a to ma świadczyć na rzecz symetrii przeszłości i przyszłości

Oceniając argumentację Mehlberga należałoby powiedzieć, że argument (iii) nie wyjaśnia sam w sobie w żaden sposób naszego odmiennego podejścia do przeszłości i przyszłości, a analogie użyte w (ii) i (iv) są mylące; po pierwsze, odwracalność procesu, takiego jak ruch planet w układzie słonecznym nie oznacza bynajmniej zawracania ich w biegu, tylko fizyczną możliwość istnienia układu z odwróconymi prędkościami i odwróconą kolejnością poszczególnych stanów w stosunku do tego, co ma miejsce w naszym układzie planetarnym, i w tym sensie jest to proces odwracalny. Po drugie zaś, jeżeli ktoś pragnie czegoś z naszej przeszłości, to na ogół pragnie tego czegoś w swojej własnej *przyszłości* (ewentualnie *teraźniejszości*) ale przecież nie pragnie przywrócenia naszej przeszłości i wie, co więcej, doskonale, że to jest niemożliwe. Może również *żałować* czegoś, co zaszło w jego własnej przeszłości i pragnąć, aby była inna, ale przecież *nie* z realną intencją osiągnięcia tego w przeszłości.

Argument (i) jest ciekawszy i był używany potem jeszcze przez Horwicha [1987, s. 196 – 198], ale również nie jest konkluzywny; jeżeli ktoś twierdzi, że zabieganie o (lub zmiany ukierunkowane na) przyszłość (a nie na przeszłość) mają wartość przystosowawczą, to stwierdza dokładnie tyle, że przyszłość jest otwarta, podczas gdy przeszłość jest ustalona i niezmienna, oraz że warto w związku z tym o tę pierwszą troszczyć się, czyli stwierdza dokładnie to, co miało stać się przedmiotem wyjaśnień. Aby zaproponowane rozumowanie nie wpadało w błąd *petitio principii*, powinno zostać uzupełnione o wyjaśnienie, dlaczego nasze starania zwrócone ku przeszłości są bezowocne chociaż te ku przyszłości nie są, *bez zakładania* asymetrii ustalona przeszłość – otwarta przyszłość. Takie wyjaśnienie nie może też odwoływać się do empirycznych faktów, gdyż te są już czasowo asymetryczne.

Horwich podejmuje jeszcze inną próbę wyjaśnienia asymetrii naszej wiedzy, czyli tego, dlaczego wiemy tak wiele o przeszłości mając jej ślady, niż o przyszłości, której śladów nie posiadamy. Fenomen śladów ma być, według niego, pewnym szczególnym przypadkiem podpadającym pod ogólny schemat asymetrii widełkowej (*fork asymmetry*); ślady przeszłości są pewnymi skorelowanymi makroskopowymi stanami, dla których możemy poszukiwać wspólnych przyczyn, ale które nie muszą mieć, i na ogół nie mają, wspólnych skutków, czyli tworzą właśnie coś w rodzaju widełek.⁴⁵ Na przykład, w analizowanym wcześniej przykładzie rozchodzącej się fali jedno centralne zaburzenie może być źródłem drgań cząsteczek w różnych miejscach, do których dociera fala. Asymetria widełkowa ma miejsce oczywiście mimo symetrii praw fizyki jako pewna asymetria *de facto*.

Czy Horwichowi udało się wyjaśnić fenomen istnienia śladów przeszłości na gruncie swojej koncepcji symetrycznego czasu? Nie wydaje się, żeby tak było. Problem polega na tym, że jakkolwiek czasami mamy do czynienia ze zdublowanymi, lub nawet wielokrotnymi śladami pewnych zdarzeń z przeszłości, istnieją również ślady, które nie są zwielokrotnione i, tak naprawdę, ślady, aby być śladami, *nie muszą* być zwielokrotnione. I tak, na przykład, pamiętam, jak każdy z nas, o czym myślałem wczoraj, i przedwczoraj itd., i nie potrzebuję żadnych więcej dowodów na to, żeby wiedzieć, co było treścią moich rozmyślań. Antropolog może znaleźć pojedynczą skamieniałą kość sprzed kilku milionów lat, która może spowodować rewolucję w naszej wiedzy, nawet jeżeli nie znajdziemy innych skamieniałości z tego okresu. Podobnie, pojedyncze zdjęcie, czy też nagranie może być również źródłem istotnej wiedzy o przeszłości. Przykłady te pokazują, jak sędzę dobrze, że próba Horwicha wyjaśnienia fenomenu śladów - i asymetrii naszej wiedzy - przeszłości poprzez idę powiązania przyczynowego skorelowanych zdarzeń jest chybiona.⁴⁶

Z kolei Price uważa, że za nasze asymetryczne postrzeganie przeszłości i przyszłości w tym konkretnym aspekcie, którym jest fenomenologiczna asymetria przyczynowości (poprzedzanie skutków przez przyczyny), odpowiedzialny jest pewnego rodzaju „perspektywizm” i „antropocentryzm” naszego sposobu patrzenia na świat jako podmiotów działających w tym świecie; działamy, aby osiągnąć pewne cele i w ten sposób – według referowanego poglądu – „asymetria przyczynowości odzwierciedla asymetrię istniejącą w nas

⁴⁵ Horwich [1987, s. 84 - 90]. Dokładniej rozumowanie Horwicha analizuję w moim artykule [2010b].

⁴⁶ Por. również Healey [1991, s. 128].

samych a nie w świecie zewnętrznym”.⁴⁷ Oprócz tego konwencjonalnego, czy też subiektywnego składnika przyczynowość u Price’a ma też swój składnik „quasi-obiektywny” wynikający z naszego przypadkowego ulokowania w świecie, w którym istnieje pewna *termodynamiczna asymetria*.⁴⁸ Jak zatem wyglądają nasze działania i na czym polega ich asymetria według Price’a? Autor pisze o dwóch „komplementarnych” sposobach wyjaśnienia tej asymetrii, z których pierwszy polegałby na „określeniu asymetrii w kategoriach formalnego procesu rozważania (*deliberation*)” [s. 200] z perspektywy atemporalnej, co miałoby umożliwić wskazanie jego inherentnej asymetrii względem czasu. Australijski filozof niestety nie rozwija tej koncepcji, w związku z czym nie można jej poddać analizie. Drugie uzupełniające podejście ma mieć charakter fenomenologiczny i wygląda następująco:

„(...) z obiektywnego punktu widzenia, w wielkim przybliżeniu, podmiot działający to po prostu układ naturalny, korelujący dane wejściowe z danymi wyjściowymi. Dane wejściowe to informacje ze środowiska, a dane wyjściowe to zachowanie. Szczegóły tych korelacji różnią się w zależności od stanu wewnętrznego podmiotu działającego, a on z kolei może się zmieniać w reakcji na dane wejściowe. Terminy „wejście” i „wyjście” sugerują, rzecz jasna, istnienie ukierunkowania w czasie, lecz jest to nieistotne. Z atemporalnego punktu widzenia liczy się to, że zdarzenia po jednej „stronie” czasowego pudełka korelują ze zdarzeniami po jego drugiej „stronie”. Nie ma znaczenia, że jedną z nich uważa się za wcześniejszą, a drugą za późniejszą. A zatem z dostatecznie oderwanej perspektywy proces rozważania wydaje się wyraźnie symetryczny w czasie - podmiot działający to po prostu „czarna skrzynka”, doprowadzająca do pewnych, skądinąd nieprawdopodobnych, korelacji tego rodzaju. Z pewnością działania modeli roboczych mogą zależeć od asymetrii czasowej w tym sensie, że realne podmioty działające wymagają istnienia gradientu termodynamicznego, ale można scharakteryzować, co robi taki układ, przynajmniej w ramach przybliżonego modelu czarnej skrzynki, bez określania kierunku osi czasu. [1997, s. 200]

Przedstawione tu przez Price’a wyjaśnienie asymetrii naszych działań i naszej wiedzy budzi jednak zasadnicze wątpliwości. Spróbujmy bowiem popatrzeć na Price’a jako na podmiot działający – ową symboliczną czarną skrzynkę – z czasowo symetrycznego „archimedesowego”, czy też atemporalnego punktu widzenia, bez określania kierunku osi

⁴⁷ Price [1997 s. 192]. Autor przyjmuje *agencjonistyczną* (lub *manipulacjonistyczną*) teorię przyczynowości, zgodnie z którą przyczyna jest środkiem do osiągnięcia lub wywołania skutku [Price, 1997, s. 186 – 187]. Definicji takiej stawia się często zarzut błędnego koła, dlatego że „działanie” oraz relację „środek – cel” rozumiemy w kategoriach przyczynowych.

⁴⁸ Price [s. 198 – 200]. Por. również Savitt [1996, s. 364 – 365] oraz Gołosz [2010a].

czasu.⁴⁹ Z jednej strony tejże czarnej skrzynki mamy pewne dane – jakieś obserwacje i prace innych autorów – a z drugiej mamy książkę Price’a. Czy rzeczywiście mamy tu do czynienia z symetrią czasową i równie dobrze jak rzeczywisty proces możemy rozważać z „atemporalnego punktu widzenia” proces odwrotny, w którym najpierw powstaje książka Price’a a potem krytykowane przez niego koncepcje (np. metafizyczna koncepcja obiektywnego upływu czasu)?

Zgodnie z tym, co Price twierdzi, subiektywną asymetrię do tego procesu może wprowadzić asymetria środków i celów, ale istnienie tej subiektywnej asymetrii w symetrycznym świecie powinno być wyjaśnione i nie może być przesłanką w tym rozumowaniu. Jedynym obiektywnym czynnikiem, który może tu wprowadzić asymetrię czasową jest, według niego, termodynamiczna asymetria świata, ponieważ to ona ma być, zgodnie z tym co twierdzi, odpowiedzialna za obserwowaną przez nas asymetrię kauzalną.⁵⁰ Jednakże, jak pokazał Earman i o czym wcześniej pisałem,⁵¹ rozważania na temat zachowania entropii nie dostarczają nam wiedzy o przeszłości i nie wyjaśniają asymetrii naszej wiedzy. Co więcej, Earman pokazał, że próby wykorzystania asymetrii termodynamicznej do wyjaśnienia asymetrii naszej wiedzy opierają się na założonej uprzednio czasowej asymetrii kauzalnej, co oznaczałoby dla Price’a błędne koło w rozumowaniu. Ujmując ten sam problem trochę inaczej: chociaż kierunek zmian entropii zgodny jest z kierunkiem zachodzenia procesów kauzalnych w naszym świecie, to asymetria termodynamiczna nie jest w stanie wyjaśnić nam ani asymetrii kauzalnej, ani też asymetrii naszej wiedzy i asymetrii naszych działań; jest raczej odwrotnie – to analizę zmian termodynamicznych układów fizycznych przeprowadzamy na podstawie znajomości relacji kauzalnych.

Staralem się pokazać analizując koncepcje Mehlberga, Horwicha i Price’a, że ich oparte na symetrycznej teorii czasu próby subiektywnego (lub subiektywnego ze składnikiem quasi-obiektywnym - użyję tu terminu Price’a – w postaci termodynamiki lub ewolucji) wyjaśnienia obserwowanej przez nas asymetrii czasu zawodzą. Co nam w takim razie

⁴⁹ Price powołuje Archimedesę na patrona proponowanego przez siebie punktu widzenia. Jest to niewątpliwie świetny chwyt komercyjny, trudno jednak dopatrzeć się jakichkolwiek podobieństw pomiędzy fizycznymi rozważaniami Archimedesę oraz spekulacjami Price’a.

⁵⁰ Być może zatem należałoby potraktować książkę Price’a jako efekt fluktuacji termodynamicznej.

⁵¹ Argumentację Earmana [1974], zignorowaną przez Price’a, przedstawiałem w § 4 oraz w [2010b].

pozostaje? Wydaje się, że są tylko dwie możliwości: jedna to parcie się na pierwotnej i nieanalizowanej relacji następstwa czasowego, co proponuje Sklar [1974], druga to bliska naszej codziennej intuicji koncepcja obiektywnego upływu czasu.

Sklar nie tylko analizuje w swoich pracach niepowodzenia kauzalnych i termodynamicznych prób redukcji relacji czasowych; starał się również dowieść ogólnie, jak przypomniałem w 2-jej części swojej pracy, że poszukiwania teorii asymetrycznej względem odwrócenia czasu nie pomogą nam w wyjaśnieniu obserwowanej asymetrii czasu. W jednej ze pierwszych i jednocześnie chyba najlepszej ze swoich prac [1974] proponuje też pewne pozytywne rozwiązanie tego problemu. W gruncie rzeczy, jak twierdzi [1974, s. 399, 410 – 411], takiej teorii kierunku czasu w ogóle nie potrzebujemy. Wierzmy w to, że w świecie istnieją pewne obiekty i zachodzą pomiędzy nimi pewne relacje. Jeśli w ogóle mamy mieć epistemiczny dostęp do świata, przynajmniej niektóre z tych relacji muszą być dostępne dla nas bezpośrednio, a nie być wyprowadzalne z (czy redukowalne do) innych relacji. Jeżeli zakładamy już w teorii względności taką bezpośrednią dostępność i nieredukowalność relacji czasoprzestrzennej koincydencji i ciągłości zbiorów zdarzeń, możemy także przypuszczać, że asymetryczna relacja poprzedzania (lub następstwa) czasowego należy również do takich relacji.

Przedstawiona hipoteza Sklara ma wiele zalet. Zgodna jest ona z naszym codziennym i jak się wydaje pierwotnym doświadczeniem następstwa zdarzeń oraz wyjaśniałaby niepowodzenia podejmowanych wciąż na nowo prób redukcji tej relacji do innych, rzekomo bardziej pierwotnych. Hipoteza ta wyjaśnia nam również, dlaczego mamy prawo podążając za Hume'm odróżniać przyczyny od skutków jako te zdarzenia (lub fakty), które są wcześniejsze, mimo symetrii (*modulo* oddziaływania słabe) oddziaływań fizycznych. Hipoteza Sklara nie wyjaśnia jednak wszystkiego tego, co powinna. Zaczynając od relacji kauzalnej; hipoteza Sklara, o ile ją przyjmiemy, *pozwała nam na odróżnianie* przyczyn od skutków, nie wyjaśnia jednak, *dlaczego* uważamy, że przyczyny poprzedzają w czasie skutki. Nie pokazuje też, jakiego rodzaju mechanizm miałby decydować o tym, że proponowana przez niego relacja prowadzi do tego, że przeszłość zostawia ślady a przyszłość nie (i prowadzi w ten sposób do asymetrii naszej wiedzy), i nie wyjaśnia nam również, dlaczego jesteśmy przekonani, że przeszłość jest ustalona, a przyszłość nie. Samo założenie o istnieniu pierwotnej, asymetrycznej relacji poprzedzania czasowego tutaj nie wystarcza; taka relacja mogłaby, na przykład, manifestować się większą ilością śladów przyszłości, albo ich większą

trwałością, albo brakiem przerw w historii (w odróżnieniu od ‘dziurawej’ przyszłości) – możliwości jest tu w zasadzie nieskończenie wiele i surowa hipoteza Sklara nie daje nam żadnych przesłanek, ażeby wybrać którąkolwiek z nich. Co więcej, założenie o jej pierwotności i nieredukowalności może utrudnić dalszą analizę lub wręcz uczynić ją niemożliwą. I jest to powód, dla którego sadzę, że powinniśmy szukać rozwiązania problemu asymetrii czasu w innym kierunku.

Sugerowałem wcześniej, że taką ideą może być idea obiektywnego upływu czasu. Jeżeli istnieje obiektywny upływ czasu, to jest rzeczą oczywistą, że będzie on wyznaczał pewien kierunek czasu – od przeszłości do przyszłości. Dzięki wysiłkom filozofów takich, jak Broad, Eddington, Sellars, Prior, Merricks czy Hinchliff wiemy, jak sformułować taką koncepcję w sposób wolny od błędnego koła i regresu do nieskończoności, i w dodatku tak, aby idea ta była zgodna z teorią względności; upływ czasu to *stawanie się zdarzeń lub rzeczy* [Broad, 1938; Eddington, 1949; Sellars, 1962],⁵² które trwają w czasie zachowując soją tożsamość i będąc w całości obecne w każdej chwili czasu, czyli *endurując* [Merricks, 1995; Hinchliff, 1996]. Tak rozumiany upływ czasu nie należy rozumieć jako ruchu *Teraz*, dlatego że – jak pokazywał Prior [1970] - terażniejszość to to, co istniejące, czyli nie należy traktować pojęć istnienia i terażniejszości jako niezależnych od siebie. W centrum tak pojmowanego upływu czasu znajduje się idea *dynamicznego istnienia* albo *stawania się*; rzeczy nie tyle statycznie i beztensowo *są*, ile raczej – jak uczyli nas Heraklit i Bergson – nieustannie *stają się* dynamicznie ewoluując, i to właśnie to dynamiczne istnienie świata *in statu nascendi* obserwujemy jako upływ czasu, w każdorazowym *Teraz* próbując uchwycić to, co nieustannie zmienia się.

Dosyć długa (i należałoby dodać, że niekompletna) lista zwolenników teorii obiektywnego upływu czasu, która znalazła się w powyższym ustępie, nie powinna mylić; takie rozwiązanie problemu upływu czasu i jego asymetrii nie cieszy się popularnością. Jest to pewnym paradoksem, że koncepcja tak – wydawałoby się - naturalna i przy tym bliska naszemu codziennemu doświadczeniu, jest odrzucana przez większość fizyków i filozofów. Powodów takiego stanu rzeczy jest kilka, a te główne to brak teorii fizycznej wpływającego czasu i poważne trudności ze sformułowaniem adekwatnej teorii metafizycznej, wyjaśniającej

⁵² Broad przypisywał stawanie się zdarzeniom, natomiast Sellars uważał, że “stawanie się” w sensie “wchodzenia w istnienie” przysługuje raczej rzeczom niż zdarzeniom.

czym on jest, oraz problemy z pogodzeniem idei obiektywnego upływu czasu z teorią względności. Analizą i obroną – m.in. wobec zarzutów płynących ze strony teorii względności – tak pojmowanego upływu czasu zajmowałem się w innych swoich pracach [2010b, 2011a, c], tutaj natomiast chciałbym tylko krótko omówić dwa pierwsze, powiązane ze sobą zarzuty, i wrócić zaraz potem do głównego wątku tego artykułu, tzn. do problemu asymetrii czasu i pokazać, że metafizyczna koncepcja obiektywnego upływu czasu właściwie rozwiązuje ten problem.

Zaufanie, jakim obdarzamy fizykę wtedy, kiedy interesuje nas opis realnego i obiektywnie istniejącego świata, sprawia, że skłonni jesteśmy negować obiektywne istnienie obiektów czy też zjawisk, które nie występują w prawach fizyki.⁵³ Błąd, który pojawia się w tego typu rozumowaniu polega nie tylko na tym, że zakłada się, że fizyka jest w stanie dostarczyć nam kompletnego opisu całego realnie istniejącego materialnego świata (pomijam w tej chwili problem nieadekwatności fizyki do opisu świata naszej psychiki), ale bardziej jeszcze na tym, że przyjmuje się, że fizyka opisuje świat nie opierając się na żadnych założeniach. Fizyka rzeczywiście mówi nam, z czego zbudowane są obiekty fizyczne i jak będą się one zachowywały wtedy, kiedy poddane zostaną działaniu pewnych sił, próbuje nam również pokazać, na czy polegają same oddziaływania i w jaki sposób ciała fizyczne mogą wpływać na „arenę” zdarzeń, czyli czas i przestrzeń, oraz analizuje nam pewne strukturalne własności tej areny. Jeżeli jednak fizyk opisuje ewolucję pewnego układu ciał, co których zakłada, że są to *wciąż* te same ciała, lub przynajmniej, że jest to *wciąż* ten sam układ,⁵⁴ a których *identyczność* ustala na podstawie pewnych kryteriów, takich jak na przykład czasoprzestrzenna ciągłość, lub kiedy przyjmuje, że dane zdarzenie może wywierać wpływ *tylko na przyszłe* zdarzenia, to oznacza to, że dokonuje pewnych rozstrzygnięć metafizycznych i to na ogół nie zdając sobie nawet z tego sprawy, że to robi i dlaczego to robi. Takie głębokie założenia metafizyczne wychodzą czasami na jaw w przypadku kryzysu, który zmusza do zweryfikowania złoża, na których opierają się przyjęte teorie, lub w

⁵³ Por. na przykład dyskusja Carnapa z Einsteinem dotycząca istnienia obiektywnego rozróżnienia przeszłość – teraźniejszość – przyszłość oraz upływu czasu przedstawiona w Carnap [1963] oraz Davies [2002b].

⁵⁴ W mechanice kwantowej występuje dobrze znany problem nieodróżnialności cząstek tego samego rodzaju, np. elektronów czy protonów, oraz spory wokół problemu, czy obiekty takie należy uważać za indywidua (por. French 2006), ale nawet wtedy analizując zachowanie jakiegoś układu zakładamy, że wciąż jest to *ten sam* układ. W szczególnym przypadku takim układem może być nawet cały wszechświat.

przypadku, kiedy ktoś - mimo braku widocznych oznak kryzysu - potrafi zakwestionować istniejącą ortodoksję, wprowadzając nowe idee, tak jak to miało miejsce na przykład w przypadku Wheelera i Feynmana, którzy zaproponowali teorie, w których pojawia się przyczynowość wsteczna i obiekty poruszające się wstecz w czasie.⁵⁵ Twierdzenie zatem, że brak teorii fizycznej opisującej upływ czasu przesądza negatywnie kwestię jego istnienia, jest pozbawione podstaw, można bowiem argumentować, że szukano go w niewłaściwym miejscu – w równaniach fizyki zamiast w jej metafizycznych fundamentach. Co więcej, można podać poważne racje – powszechne zainteresowanie nauk empirycznych różnego typu układami dynamicznymi - na rzecz tezy, iż nauki te opierają się na metafizycznym założeniu upływu czasu.⁵⁶

Wracając teraz do problemu asymetrii czasu; co właściwie daje nam tutaj metafizyczna teoria obiektywnego upływu czasu? Pierwszą i natychmiast narzucającą się implikacją tej teorii jest to, że wyjaśnia ona zarówno to, dlaczego obserwujemy wokół siebie stałe następstwo zdarzeń, nawet w przypadku, kiedy te nie są powiązane przyczynowo, jak i to, dlaczego Sklar mógł przyjąć, że relacja następstwa czasowego nie jest redukowalna ani do relacji kauzalnych, ani do gradientu entropii, ani do żadnych innych oddziaływań fizycznych. Następstwo zdarzeń jest po prostu bezpośrednią konsekwencją *nie-statycznego* sposobu istnienia rzeczy, które nas otaczają i nas samych, a które polega na ich *stawianiu się* albo *wchodzeniu w istnienie*. Kolejne zdarzenia następują wtedy, gdy dynamicznie istniejące rzeczy tracą, nabywają lub zmieniają swoje własności. Wbrew zarzutom Lewisa [1986] nie prowadzi to jednak do sprzeczności z prawem Leibniza, mówiącym o *nieodróżnialności identycznych*, dlatego że przedmiot istnieje wraz ze swoimi własnościami zawsze tylko w jednym momencie czasu – w *teraźniejszości* – i w żaden sposób nie może popadać w sprzeczność z sobą samym, chociaż trochę innym, w przyszłości i przeszłości.⁵⁷

Stające się rzeczy mają swoją *ustaloną* i *nie dającą się zmienić* historię i nie dokonaną jeszcze, otwartą – jak można sądzić - przyszłość, co jest zgodne z tym, jak postrzegamy świat

⁵⁵ Por. Wheeler i Feynman [1945] oraz Feynman [1965]. Nie zamierzam bynajmniej bronić żadnej z tych teorii; nie każda z nowo proponowanych teorii musi odnieść taki sukces, jaki miał miejsce w przypadku teorii względności Einsteina.

⁵⁶ Tezy takiej bronię w swoim artykule [2010b].

⁵⁷ Por. Merricks [1995], Hinchliff [1996].

wokół nas; obserwujemy wszędzie wokół nas *ślady przeszłości*, gdyż każda z rzeczy niesie ze sobą pewną historię swojej przeszłości i zdarzeń, które doprowadziły do tego, że jest, jaka jest. Wierzmy też, być może łudząc się pod tym względem, w otwartą przyszłość. Nie przesądza to jednak z góry sporu determinizmu z determinizmem, gdyż to, co przed nami, może być w całości, lub przynajmniej w części, zdeterminowane historią i prawami rządzącymi światem, w którym żyjemy.

Dynamicznie istniejące, lub stające się rzeczy mogą wpływać na inne rzeczy w bezpośrednich oddziaływaniach lub na odległość – czego rozstrzygnięcie należy do fizyków – a konsekwencje tych oddziaływań obserwujemy w przyszłości tychże rzeczy jako ich skutki. Takie następstwo przyczyn i skutków znamy doskonale z własnego doświadczenia i zostało ono wykorzystane przez Hume’a w jego słynnej definicji związku przyczynowo – skutkowego.⁵⁸ Proponowana hipoteza metafizyczna nie jest zgodna z istnieniem przyczynowości wstecznej, w przypadku której skutki poprzedzają w czasie przyczyny, ma jednak tą przewagę nad podejściem Hume’a, że nie wyklucza takiej możliwości *a priori* – poprzez definicję związku przyczynowo – skutkowego. Przyczynowość „w przód” (następowanie skutków *po* przyczynach) jest tu wniesiona do związku przyczynowo – skutkowego niejako „z zewnątrz” – z niezależnej metafizycznej hipotezy upływającego czasu, co oznacza, że możemy teoretycznie rozpatrywać możliwość istnienia przypadków przyczynowości wstecznej i jeżeli tylko znaleźlibyśmy jakiś nie budzący wątpliwości przypadek przyczynowości wstecznej należałoby po prostu tę hipotezę odrzucić.

Zaletą hipotezy obiektywnego upływu czasu jest również to, że łatwo wytłumaczyć jest na jej gruncie efekt taki, jak omawiana wcześniej asymetria widelkowa. Do powstania tego efektu mogą prowadzić dwa główne typy procesów. Procesy pierwszego typu polegają na tym, że rzeczy które nas otaczają, a które są obiektami złożonymi na ogół z mniejszych jeszcze obiektów (atomy, kwarki, leptoni), mogą rozpadać się na mniejsze, również dynamicznie istniejące. Jako efekt takich rozpadów (lub zderzeń) otrzymujemy

⁵⁸ „Ten więc związek, który nasz umysł *czuje*, to nawykowe przenoszenie się wyobraźni z jednego przedmiotu na drugi, który tamtemu stale towarzyszy – oto owo odczucie, oto impresja, na podstawie której tworzymy ideę siły czy koniecznego związku. (...) Zatem zgodnie z tym doświadczeniem można zdefiniować przyczynę *przedmiot, po którym następuje przedmiot inny, przy czym po wszystkich przedmiotach podobnych do pierwszego następują przedmioty podobne do drugiego* (...)” [Hume, 1977, s. 92, 93].

zwielokrotnione skutki – pojawienie się produktów takich rozpadów (lub zderzeń) w różnych miejscach. Procesy tego typu wyjaśniają przy okazji często spotykane efekty *przedeterminowania* (*overdetermination*) przeszłości przez przyszłość,⁵⁹ dlatego że każda z rzeczy powstałych w pewnym zdarzeniu również niesie ze sobą pewną historię swojej przeszłości i zdarzenia, które doprowadziło do jego powstania. Na przykład, znajomość położenia i prędkości *tylko niektórych* z produktów rozpadu (zderzenia) pozwolić może na odtworzenie miejsca i przyczyny rozpadu (zderzenia). W drugim ze wspomnianych typów procesów nie musi dochodzić do rozpadów, tylko do zmiany fizycznych własności obiektów złożonych, takich jak kształt, czy rozkład prędkości i energii dla poszczególnych części obiektu. Jako przykład można podać tu falę na wodzie wzbudzoną przez centralne zaburzenie. Tutaj również własności wycinków koncentrycznej fali mogą pozwolić domyślić się, przynajmniej w jakiejś części, przeszłej historii i przyczyny późniejszych zdarzeń.

Hipoteza obiektywności upływu czasu nie jest w stanie wytłumaczyć – i nie ma oczywiście takich ambicji zostawiając to zadanie fizykom - dlaczego nasz świat powstał w stanie niskiej entropii. Zakładając jednak taki stan początkowy jako pewien dany fakt, hipoteza ta pomaga nam zrozumieć ewolucję świata w kierunku wyższej entropii zgodnie z fundamentalną ideą Boltzmann'a dążenia układów do zajmowania stanów najbardziej prawdopodobnych; jeżeli mamy, na przykład, gaz zamknięty w jakimś pojemniku, to chaotyczne ruch cieplne cząsteczek takiego gazu będą prowadziły, statystycznie biorąc, do stanów bardziej prawdopodobnych dla tego gazu, jakkolwiek nie wykluczone tu są również fluktuacje do stanów mniej prawdopodobnych i zwiększających jego porządek. Tylko w przypadku dynamicznych, ewoluujących układów fizycznych boltzmannowska idea ma sens, i to samo dotyczy rozwiniętej na jej podstawie symetrycznej względem odwrócenia czasu mechaniki statystycznej, dopuszczającej dynamiczne fluktuacje dla ewoluującego systemu.

I ostatnie wyjaśnienie, które może nam zaoferować hipoteza obiektywnego upływu czasu. Nie dotyczy ono może tak ważnej sprawy, jak poprzednie, ale na pewno warto jest uwagi. Otóż przyjmuje się powszechnie, że transformacji odwrócenia czasu możemy nadać tylko aktywny sens, dlatego że interpretacja bierna oznaczałaby odwrócenie biegu czasu:

⁵⁹ Por. Lewis [1979]. *Asymetria przedeterminowania* polega na tym, że zdarzenia mają często w swojej przyszłości wiele zdarzeń, które je determinują (jednoznacznie określają), a bardzo mało takich zdarzeń w swojej przeszłości.

Po pierwsze, jest to ważne, żeby sobie uświadomić, że transformacja odwrócenia czasu jest nieciągłą transformacją, w konsekwencji czego nie istnieje bierna interpretacja tej symetrii. A to oznacza, zakładając, że mamy pewien szczególnie izolowany system, w którym zachodzi ewolucja, że nie istnieje taki obserwacyjny punkt widzenia, który odpowiadałby „odwróconej w czasie” ewolucji.⁶⁰

W przypadku statycznych koncepcji czasu, takich jak eternalizm, nie ma żadnego powodu, dla którego nie można byłoby przyjąć „takiego obserwacyjnego punktu widzenia, który odpowiadałby ‘odwróconej w czasie’ ewolucji” z tej prostej przyczyny, że żaden z kierunków czasu nie byłby wyróżniony jego ewentualnym upływem. Wykluczenie transformacji biernej staje się zrozumiałe dopiero wtedy, gdy weźmiemy pod uwagę fakt upływu czasu i naszą niemożność jego odwrócenia.

6. UWAGI KOŃCOWE

Staralem się w tym artykule pokazać, na czym polega problem asymetrii *czasu* i czym różni się on od problemu asymetrii *w czasie*, oraz dlaczego żadna z istniejących teorii fizycznych nie rozwiązuje problemu asymetrii samego czasu. Przypomniałem też poważne argumenty Sklara i Earmana zdające się wskazywać na to, że nie powinniśmy raczej oczekiwać, iż przyszłe teorie fizyczne coś tu mogą zmienić. Z drugiej strony starałem się też pokazać, że oparte na przekonaniu o symetrii czasu subiektywistyczne próby wyjaśnienia postrzeganej przez nas asymetrii czasu, tzn. próby wyjaśnienia, dlaczego przeszłość pozostawia o sobie ślady, a przyszłość nie, która to przyszłość z kolei w przeciwieństwie do przeszłości wydaje się być otwarta.

Właściwym rozwiązaniem problemu asymetrii czasu jest, jak starałem się pokazać, metafizyczna hipoteza obiektywnego upływu czasu. Można pokazać, że nie jest ona sprzeczna z fizyką,⁶¹ wyjaśnia za to bardzo dobrze asymetrię naszej wiedzy (liczne ślady przeszłości wobec braku śladów przyszłości), ustanawia metafizyczna bazę dla naszego przekonania o tym, że przyszłość jest otwarta, chociaż przeszłość jest ustalona, oraz wyjaśnia dlaczego i Hume i zdecydowana większość spośród nas może przyjmować, że przyczyny odróżnia od skutków relacją poprzedzania czasowego. Hipoteza ta daje nam nawet znacznie więcej; wyjaśnia dynamiczny rozwój świata, objawiający się m.in. stałym wzrostem entropii, choć dopuszczającym w zgodzie z mechaniką statystyczną również jej spadki, oraz często

⁶⁰ Sklar [1974, s. 367]. Por. również przypis 4.

⁶¹ Por. Gołosz [2010b, 2011a].

występujące wokół nas zjawiska asymetrii widelkowej oraz asymetrii przedeterminowania przeszłości przez przyszłość.

Trudności z akceptacją tej hipotezy, mimo jej zgodności z naszym codziennym doświadczeniem, są oznaką nie tyle – jak sędzę – jej słabości, ale raczej wynikają z faktu, iż spodziewaliśmy się znaleźć rozwiązanie tak fundamentalnego problemu w fizyce raczej niż w filozofii. Jeżeli jednak zdolności wyjaśniające danej hipotezy, oprócz jej niesprzeczności, mają być miarą jej wartości, to powinniśmy tę hipotezę potraktować jak najbardziej poważnie.

Bibliografia

- Aharonov, Y., Bergman, P., Lebowitz, J. L. [1964], “Time Symmetry in the Quantum Process of Measurement”, *Physical Review*, 134B, s.1410 – 1416.
- Albert, D. [1994], “The Foundations of Quantum Mechanics and the Approach to Thermodynamic Equilibrium”, *British Journal for the Philosophy of Science*, 45, s. 669-77.
- Augustynek, Z. [1970], *Własności czasu*, PWN, Warszawa.
- Boltzmann, L. [1896 - 1898], *Lectures on Gas Theory*, transl. S. Brush, University of California Press, [1964], Berkeley.
- Broad, C. D. [1938], *Examination of McTaggart's Philosophy*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Carnap R. [1963], „Carnap's Intellectual Biography”, [w:] P. A. Shilpp (red.), *The Philosophy of Rudolf Carnap*, Open Court, La Salle IL.
- Davies, P. [2002a], *Czas. Niedokończona rewolucja Einsteina*, tłum. L. Kallas, Prószyński i Spółka, Warszawa.
- Davies, P. [2002b], „Zagadka upływającego czasu”, *Scientific American*, 11, s. 24 – 29.
- Dorato, M. [2000], “Becoming and the Arrow of Causation”, *Philosophy of Science*, 67, (Proceedings), s. S523 - S534.
- Earman, J. [1967], “Irreversibility and Temporal Asymmetry”, *Journal of Philosophy*, 64, s. 543 – 549.
- Earman, J. [1974], “An Attempt to Add a Little Direction to ‘The Problem of the Direction of Time’”, *Philosophy of Science*, 41, s. 15 – 47.

- Earman, J. [2002], "What Time Reversal Is and why It Matters", *International Studies in the Philosophy of Science*, 16, s. 245- 264.
- Eddington, A. S. [1949], *The Nature of Physical World*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Einstein, A., Ritz, W. [1909], "Zum gegenwärtigen Stand des Strahlungsproblems", *Physikalische Zeitschrift*, 10, s. 323 - 324.
- Einstein, A. [1917], „Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie”, *Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften*, s. 142 – 152.
- Feynman, R. P. [1965], wykład noblowski.
- Feynman, R. [2000], *Charakter praw fizyki*, przeł. P. Amsterdamski, Prószyński i S-ka, Warszawa.
- French, S. (2006), "Identity and Individuality in Quantum Theory", <http://plato.stanford.edu/entries/qt-idind/>
- Gold, T. [1962], "The Arrow of Time", *American Journal of Physics*, 30, s. 403 - 410.
- Gołosz, J. [2010a], "Eternalizm i problem iluzji upływu czasu", *Kwartalnik Filozoficzny*, 38, s. 105-122.
- Gołosz, J. [2010b], „Czy istnieje upływ czasu?”, *Filozofia Nauki*, 4, s. 97 – 120.
- Gołosz, J. [2011a], "Upływ czasu i teoria względności", *Filozofia Nauki*, 1, s. 95 – 132.
- Gołosz, J. [2011b], „'Thank Goodness That's Over'”, *Principia*, 54 – 55, s. 75 – 97.
- Gołosz, J. [2011c], „Kauzalne teorie czasu”, niepublikowany.
- Grünbaum, A. [1973], *Philosophical Problems of Space and Time*, D. Reidel, Dordrecht (jest to II poszerzone wyd. pracy z 1963r.).
- Hawking, S. [1990], *Krótką historia czasu*, Wydawnictwo „Alfa”, Warszawa.
- Healey, R. [1991], "Review of Paul Horwich's *Asymmetries in Time*", *The Philosophical Review*, 100, s. 125 -130.
- Healey, R. [2002], "Can Physics Coherently Deny the Reality of Time", [w:] C. Callender (red.) *Time, Reality & Experience*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Heller, M. [1985], *Ewolucja kosmosu i kosmologii*, PWN, Warszawa.
- Heller, M. [1997], „Osobliwości kosmologiczne i geometria nieprzemienialna”, *Filozofia Nauki*, 19, s. 5 – 14.
- Hinchliff, M. [1996], "The Puzzle of Change", *Philosophical Perspectives*, 10, *Metaphysics*, s. 119- 136.

- Hoyle, F., Narlikar, J.V. [1964], "Time Symmetric Electrodynamics and the Arrow of Time", *Proceedings of the Royal Society (London) A*, 277, s. 1- 23.
- Horwich, P. [1987], *The Asymmetries in Time: Problems in the Philosophy of Science*, The MIT Press, Cambridge MA.
- Huang, K. [1978], *Mechanika statystyczna*, przeł. Z. Hajduk, M. Cieplak, PWN, Warszawa.
- Hume, D. [1977], *Badania dotyczące rozumu ludzkiego*, przekł. J. Łukasiewicz, K. Twardowski, PWN, Warszawa.
- Lewis, D. [1979], "Counterfactual Dependence and Time's Arrow", *Nous*, 13, s. 455 – 476.
- Lewis, D. [1986], *On the Plurality of the Worlds*, Basil Blackwell, Oxford.
- Lucas, J. R. [1999], "A Century of Time", [w:] J. Butterfield (red.), *The Arguments of Time*, Oxford University Press, Oxford.
- McTaggart, J. M. E. [1908], "The Unreality of Time", *Mind*, New Series, 68, s. 457-484.
- Mehlberg, H. [1980a], *Time, Causality and the Quantum Theory*, R. S. Cohen (red.), t. 1, D. Reidel, Dordrecht (tom ten zawiera angielski przekład "Essai sur la théorie causale du temps" z lat 1935 – 1937).
- Mehlberg, H. [1980b], *Time, Causality and the Quantum Theory*, R. S. Cohen (red.), t. 2, D. Reidel, Dordrecht, eseje: "Philosophical Interpretations of Quantum Physics", "Laws of Nature and Time's Arrow" (zawiera dwie prace z lat 1961, 1969), "The Symmetry of Time and the Branch Hypothesis" [1962].
- Mellor, D. H. [1998], *Real Time II*, Routledge, London.
- Merricks, T. [1995], "On the Incompatibility of Enduring and Perduring Entities", *Mind*, 104, s. 523-531.
- Penrose, R. [1979], „Singularities and Time-asymmetry”, [w:] red. S. Hawking, W. Israel, (red.) *General Relativity. An Einstein Centenary Survey*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Penrose, R. [1996], *Nowy umysł cesarza*, PWN, Warszawa.
- Popper, K. R. [1956], „The Arrow of Time”, *Nature*, 177, s. 538.
- Price, H. [1997], *Strzałka czasu i punkt Archimedes*, tłum. P. Lewiński, Wydawnictwo Amber.
- Prigogin, I., Stengers, I. [1990], *Z chaosu ku porządkowi*, tłum. K. Lipszyc, PIW, Warszawa.
- Prior, A. [1970], "The Notion of the Present", *Studium Generale*, 23, s. 245-248.
- Reichenbach, H. [1956], *The Direction of Time*, M. Reichenbach (red.), University of California Press, Berkeley.

- Reichenbach, H. [1958], *The Philosophy of Space and Time*, Dover Publications (jest to angielskie tłum. *Philosophie der Raum-Zeit-Lehre* z 1928r.).
- Rovelli, C. [2008], "Forget time", [arXiv:0903.3832v3](https://arxiv.org/abs/0903.3832v3) [gr-qc].
- Savitt, S. [1995], "Introduction", [w:] S. Savitt (red.), *Time's Arrow Today*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Savitt, S. [1996], 'The Direction of Time', *British Journal for the Philosophy of Science* 47, 347- 370.
- Savitt, S. [2001], "Being and Becoming in Modern Physics", [w:] *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Edward N. Zalta (red.), URL = <http://plato.stanford.edu/archives/fall2008/entries/spacetime-bebecome/>>).
- Sellars, W. [1962], "Time and the World Order", [w:] H. Feigl, G. Maxwell (red.), *Scientific Explanation, Space, and Time*, Minnesota Studies in the Philosophy of Science, University of Minnesota Press, Minneapolis.
- Sklar, L. [1974], *Space, Time, and Spacetime*, University of California Press, Berkeley.
- Sklar, L. [1981], "Up and Down, Left and Right, Past and Future", *Nous*, 15, s. 111 – 129, [przedruk. w:] L. Sklar, (1985), *Philosophy and Spacetime Physics*, University of California Press, Berkeley, s. 305 - 326.
- Sklar, L. [1993], *Physics and Chance: Philosophical Issues in the Foundations of Statistical Mechanics*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Sklar, L. [1995a], "The Elusive Objective of Desire: in Pursuit of the Kinetic Equations and the Second Law", [w:] S. Savitt (red.), *Time's Arrow Today*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Sklar, L. [1995b], "Time in Experience and in Theoretical Description of the World", [w:] S. Savitt (red.), *Time's Arrow Today*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Smart, J. J. C. [1967, 2005], "Time", *Encyclopedia of Philosophy*, t. 9, Macmillan, New York.
- Szumilewicz, I. [1964], *O kierunku upływu czasu*, PWN, Warszawa.
- Tooley, M. [1997], *Time, Tense, and Causation*, Clarendon Press, Oxford.
- Tooley, M. [1996, 2005], "Causation: Metaphysical Issues", *Encyclopedia of Philosophy*, D. M. Borchert (red.), II wyd., Thomson Gale, Detroit, New York.
- Tooley, M. [2005], "Causal Approaches to the Direction of Time", *Encyclopedia of Philosophy*, D. M. Borchert (red.), II wyd., Thomson Gale, Detroit, New York.
- Unruh, W. [1995], "Time Gravity, and Quantum Mechanics", [w:] S. Savitt (red.), *Time's Arrow Today*, Cambridge University Press, Cambridge.

- Weingard, R. [1977], "Space-Time and the Direction of Time", *Nous*, 11, s. 119 – 131.
- Wheeler, J., Feynman, R. [1945], "Interaction with the Absorber as the Mechanism of Radiation", *Reviews of Modern Physics*, 17, s. 157 - 161.