

DAMIAN LUTY

Argument dziury – jego rola i konsekwencje w filozofii czasoprzestrzeni

Wstęp

Argument dziury stanowi jeden z donioślejszych problemów w fizyce i filozofii czasoprzestrzeni: był powodem dwuletniego opóźnienia w tworzeniu Ogólnej Teorii Względności (OTW) przez Alberta Einsteina; w tym kontekście stanowił przedmiot intensywnych badań historycznych na przełomie lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych. Stał się narzędziem w debatach nad ontologicznym statusem czasoprzestrzeni (substancjalizm *versus* relacjonizm), rolą transformacji dyfeomorficznych, zagadnieniami zależności od tła i indywiduacji punktów czasoprzestrzennych, czy wreszcie nad kwestią determinizmu.

W niniejszym tekście argument dziury zostanie przedstawiony w ujęciu historyczno-krytycznym. Skupię się jednakże na nowszych podejściach. Sam argument zostanie zrekonstruowany: wyjdę od przedstawienia trzech podstawowych jego wersji – Einsteina z regionem ograniczonym, Davida Hilberta z problemem warunków początkowych, wreszcie – teoriomodelową wersję Earmana i Nortona bazującą na wersji Hilberta. Opiszę konsekwencje argumentu dziury dla sporu substancjalistów z relacjonistami. Przedstawię, w jaki sposób argument wymusił poszukiwania „trzeciej drogi” pomiędzy wymienionymi powyżej stanowiskami. Chciałbym zaprezentować dwie tezy:

1. Spór substancjalistów z relacjonistami można gruntownie zmodyfikować, czyniąc go sporem epistemologicznym, co stanowi skutek poważnego potraktowania argumentu dziury.

2. (In)determinizm w ramach rozwoju jednostronnego sporu staje się zaniedbywalny ze względu na formalną równoważność z niedookreśleniem odniesienia przedmiotowego dla modeli w teoriomodelowej interpretacji OTW.

I

Argument dziury został pierwotnie sformułowany przez Alberta Einsteina. Dążąc do uogólnienia zasady względności na wszystkie układy odniesienia (w Szczególnej Teorii Względności zasada względności dotyczyła wyłącznie inercjalnych układów odniesienia, a grupą niezmienniczych transformacji była podgrupa niehomogenicznej grupy Poincarégo, czyli grupa Lorentza), Einstein potrzebował odpowiednio szerszej grupy transformacji. Współpraca z Grossmanem pozwoliła mu wykorzystać rachunek tensorowy (pozwalający objąć dowolne układy współrzędnych) w uzyskaniu teorii ogólnie niezmienniczej. Wybierając tensor metryczny jako reprezentację pola inercjo-grawitacyjnego, Einstein chciał również uczynić zadość wyznawanej przez siebie zasadzie Macha, głoszącej, że masy we Wszechświecie powinny wzajemnie i wyczerpująco określać swój ruch; w języku Einsteina: wzajemnie się determinować. O ile udało się uzyskać równanie, które wiązało ze sobą tensor metryczny i tensor energii-pędu przy użyciu niepłaskiej rozmaiłości różniczkowej [Norton 1993, s. 801], to poczynione przez niego spostrzeżenie dotyczące sposobu traktowania współrzędnych i przypisywania ich punktom czasoprzestrzennym w kontekście „zachowania się” nieszytywnego (nie zaś jak w STW) pola metrycznego zablokowało uzyskanie teorii ogólnie niezmienniczej. Einstein i Grossmann w 1912 roku zaprezentowali równania grawitacyjne, które nie były ogólnie niezmiennicze. Wspomniane spostrzeżenie było właśnie argumentem dziury (*lochbetrachtung*) wymierzonym przeciwko ogólnej niezmienniczości, która miała udaremniać determinizm; co prze-

jawiało się na przykład w niemożliwości odzyskania w granicy (to znaczy przy odpowiednio słabym polu grawitacyjnym) teorii newtonowskiej¹ [zob. Einstein, 1914].

Argument dziury Einsteina jest zależny od współrzędnych (w przeciwieństwie do współczesnych sformułowań, które raczej bazują na niezależności od współrzędnych, to znaczy wykorzystują tzw. aktywne przekształcenia dyfeomorficzne, [zob. Wald, 1984, s. 439]).

Niech G oznacza tensor metryczny, x natomiast czterowymiarowy układ współrzędnych. Niech $G(x)$ reprezentuje pewne rozwiązanie układu równań pola. Jeżeli zarówno współrzędne, jak i składniki tensora metrycznego są poddane transformacji

$$x \rightarrow x' = f(x)$$

przenoszącej współrzędne x do układu współrzędnych x' , to $G'(x')$ reprezentuje to samo rozwiązanie w innym układzie współrzędnych. Lecz skoro równania pola są ogólnie niezmiennicze, to $G'(x)$ również musi być rozwiązaniem równań pola.

Niech H oznacza „dziurę” – dowolny, zamknięty region czterowymiarowej rozmaitości różniczkowej, będący zbiorem zamkniętym, w którym wartości tensora energii pędu wynoszą $T_{\mu\nu} = 0$, a także niech źródła $T_{\mu\nu}$ dla pola $G(x)$ będą określone wszędzie poza i na brzegu H . Okazuje się, że mimo takiego wyczerpującego określenia nie da się wskazać unikalnego rozwiązania matematycznego dla obszaru wewnątrz dziury. Pasywne transformacje dyfeomorficzne nie zmieniają $T_{\mu\nu}$, więc wszędzie poza obszarem dziury $G(x)$ i $G'(x)$ są sobie matematycznie równoważne, lecz nie w niej samej. Oznacza to, że ogólna niezmienniczość jest zbyt szeroką grupą symetrii – wytwarza ona bowiem sytuację, gdzie mamy region cza-

¹ Jak to dało się zrobić w STW, gdzie na przykład współczynnik lorentzowski, posiadający rozszerzenie fourierowskie, a więc będący analitycznym, pozwalał na wskazanie granicy, w której przewidywania STW pokrywały się z przewidywaniami teorii newtonowskiej.

soprzestrzeni, który nie jest „zdeterminowany”² przez źródła tensora energii-pędu (czyli źródła grawitacyjne) [Stachel, 2014, s. 10–11].

Po dwóch latach od sformułowania argumentu dziury Einsteinowi udało się uzyskać ogólnie niezmiennicze równania pola – okazało się, że musiał porzucić ukryte założenie, że punkty czasoprzestrzeni są określone przed specyfikacją pola metrycznego. Innymi słowy – transformacje dyfeomorficzne przenoszą wszystkie relacje i własności niezależnie od samych punktów, które zyskują określenie dopiero, gdy znane jest całe pole metryczne³. Rozwiązania $G(x)$ i $G'(x)$ reprezentują jedynie alternatywnie matematycznie opisy tej samej sytuacji fizycznej.

Formę argumentu dziury, która stanowi podstawę współczesnych jego sformułowań, a więc również punkt wyjścia dla wyzwań, które argument stawia, przedstawił David Hilbert [1917], zainteresowany problemem unifikacji grawitacyjno-elektromagnetycznej. Inaczej niż Einstein, Hilbert postawił problem argumentu dziury jako problem warunków początkowych, wykorzystując foliację czasoprzestrzeni z przestrzennopodobnymi hiperpowierzchniami, wskazując, że nie istnieje dobrze postawiony problem Cauchy’ego dla teorii ogólnie niezmienniczych (interpretowanych pasywnie), to znaczy zbiór początkowych wartości nie określa jednoznacznie „przyszłych” wartości.

Renesans OTW na przełomie lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych sprawił, że argument dziury został przypomniany – również filozofom. John Stachel [1979] jako pierwszy wyczerpująco odtworzył historię mo-

² U Einsteina determinizm zatem związany jest tutaj z zasadą Macha i żądaniem unikalności rozwiązania równań pola w każdym miejscu gładkiej rozmaitości różniczkowej ze względu na rozkład źródeł tensora energii-pędu.

³ Einstein sformułował kontrargument wobec argumentu dziury, tak zwany argument z korelacji punktów (*point-coincidence argument*), który jest przyczynkiem do słynnej konstatacji Einsteina, że „czasoprzestrzeń nie posiada właściwego sobie istnienia, stanowi ona strukturalny aspekt pola”. Kretschmann odrzucał ogólną niezmienniczość jako taką, twierdząc, że nie niesie ona ze sobą żadnej fizycznej treści, w rezultacie czego powstały tak zwane współrzędne Kretschmanna-Komara, które jednak w świetle uzyskania tensora Einsteina nie odegrały już większej roli [zob. Norton, 1993], chociaż zarzut Kretschmanna będzie pobrzmiwał w filozofii fizyki jeszcze na początku XXI wieku w zarzutach wobec transformacji cechowania – że stanowią „matematyczną węgę”, formalny naddatek [zob. Maudlin, 2002].

zolnej drogi Einsteina do ogólnie niezmienniczej teorii grawitacji, na której kluczową przeszkodą był właśnie argument dziury. Stachel postawił sobie za cel przede wszystkim rekonstrukcję argumentu, niedługo później pojawiło się pierwsze jego wykorzystanie w próbie rozstrzygnięcia sporu między relacjonistami a substancjalistami dotyczącego statusu ontologicznego czasoprzestrzeni⁴.

II

Argument dziury zaprezentowany przez Johna Earmana i Johna Nortona [1987] niewątpliwie przyniósł najbardziej owocną debatę, toczącą się do dzisiaj. Ta jego wersja posłużyła do szczegółowych analiz problemów, spośród których kilka zostanie poniżej omówionych. Earman i Norton zaproponowali użycie argumentu dziury jako argumentu przemawiającego za stanowiskiem relacjonistycznym, a przynajmniej jako argumentu przeciwko pewnej formie substancjalizmu, mianowicie substancjalizmu różniczkowej (różniczkowej) [Friedman 1983]. Earman i Norton stwierdzają, że jest to właściwa postać substancjalizmu czasoprzestrzennego, jeżeli charakter sporu ma zostać zachowany i substancjaliści mają bronić niezależnego istnienia czasoprzestrzeni, co oznacza traktowanie jej jako „areny” zdarzeń, czyli jako „pojemnika”.

Bazuje się tutaj na Hilberta wersji argumentu dziury oraz na teoriomodelowym podejściu do ogólnie niezmienniczych, lokalnych teorii czasoprzestrzeni (do tej klasy teorii, zdaniem Earmana i Nortona, należy OTW); treść fizyczną związaną z danym rozwiązaniem równań grawitacyjnych ujmuje się jako model teorii: na tym poziomie abstrahuje się od wymienia-

⁴ Słownik tego sporu we współczesnej formie ustalił Lawrence Sklar [1974], jego istota jest natomiast zbliżona do tego, na czym zasadzał się spór Leibniza z Clarkiem (reprezentującym poglądy newtonowskie) dotyczącym natury przestrzeni (czy jest „pojemnikiem” na rzeczy, czy też jest jedynie relacyjną strukturą pomiędzy rzeczami, tj. rzeczy są pierwotne, a nie przestrzeń, jak w stanowisku pierwszym. Dyskusja o naturze przestrzeni (i czasu) miała jednak wiele wątków (można skoncentrować się na zagadnieniu ruchu lub podnieść problem tego, jak w *Scholium* sam Newton traktował absolutną przestrzeń – jako „innego rodzaju substancję”, gdy idzie o kwestie ontologiczne) i nie chciałbym się nimi zajmować tutaj.

nia wszystkich składników tensorowych i skupia się na samych transformacjach dyfeomorficznych. Argument Earmana i Nortona dotyczy zatem relacji między modelami w różnych „momentach czasu”: laplacowski determinizm (który Earman i Norton uznają⁵) oznacza, że model $Mod(t_0) = Mod'(t_i)$ dla $i = 1, \dots, n$, jeżeli modele Mod i Mod' są dyfeomorficznie równoważne.

Składniki argumentu dziury Earmana i Nortona są następujące:

1. *Model*: Modelem lokalnej teorii czasoprzestrzeni niech będzie $\langle M, O_1, \dots, O_n \rangle$, gdzie M oznacza rozmierność różniczkową posiadającą standardową strukturę (na przykład koneksję afiniczną), a $O_1, \dots, O_n$ to n obiektów geometrycznych, określonych wszędzie na M dla dodatnich liczb całkowitych. Niech każdy model ma rozwiązania równań pola dla swoich obiektów geometrycznych; niech obiekty geometryczne będą tensorami; niech istnieje możliwość zanikania pewnego podzbioru obiektów geometrycznych (na przykład zerowanie się tensora energii-pędu).

2. *Warunek zupełności*: Jeżeli teoria czasoprzestrzeni posiada modele zgodne z powyższą charakterystyką, to każdy $n+1$ model, dla którego istnieją rozwiązania równań pola, także jest modelem tej teorii.

3. *Twierdzenie o cechowaniu (ogólna niezmienniczość)*: Jeżeli $\langle M, O_1, \dots, O_n \rangle$ jest modelem lokalnej teorii czasoprzestrzeni i h jest dyfeomorfizmem z M na M , wtedy każdy model o postaci $\langle M, h * O_1, \dots, h * O_n \rangle$ jest również modelem tej teorii.

4. *Równoważność Leibniza*: Modele powiązane transformacją dyfeomorficzną są tym samym modelem. Rozmieszczenie tensorów na rozmierności („przesuwanie” pola metrycznego) nie zmienia sytuacji fizycznej: dwa modele odmienne matematycznie opisują tę samą sytuację fizyczną. Substancjalizm rozmiernościowy ma polegać, zdaniem Earmana i Nortona, na odrzuceniu równoważności Leibniza (punkty rozmierności na których

⁵ Zaznaczając, że taki determinizm jest „kruchy” i przytaczając przykład załamania się takiego determinizmu w fizyce newtonowskiej, do którego dochodzi wskutek dopuszczenia oddziaływań na odległość: brakuje kresu górnego dla prędkości rozchodzenia się sygnałów [zob. Earman, Norton, 1987, s. 523, Earman, 2004a].

definiuje się obiekty geometryczne, są niezależne od tych obiektów oraz „sztywne”).

Na tej podstawie Earman i Norton [1987, s. 522–523] formułują dwa dylematy, z którymi muszą zmierzyć się substancjaliści:

I. Dylemat weryfikacjonisty. W istocie polega na niedookreśleniu: modele dyfeomorficzne są różne jedynie matematycznie, odnoszą się natomiast do tej samej sytuacji fizycznej, to znaczy zawartość fizyczna związana z obserwablami dotyczy wyłącznie klasy modeli ekwiwalentnych dyfeomorficznie. Obserwable są niezmiennicze względem dyfeomorfizmów; punkty rozmaitości, którym przypisuje się współrzędne, nie są w ten sposób niezmiennicze. W rezultacie, według Earmana i Nortona, substancjalista uznający niezależne od pola metrycznego (pól tensorowych) istnienie punktów czasoprzestrzennych musi:

a) uznać, że dwa modele różne matematycznie opisują dwie różne sytuacje fizyczne, które jednak są obserwacyjnie nieodróżnialne, a więc zaprzeczyć równoważności Leibniza, czyli – z jednym modelem połączyć dokładnie jedną sytuację fizyczną, gdyż każde „przesunięcie” współrzędnych w metryce uznawane jest za wygenerowanie nowego modelu, jako że wraz z przesunięciem współrzędnych, według substancjalisty rozmaitościowego, nic się nie zmienia dla punktów rozmaitości;

albo

b) porzucić stanowisko substancjalistyczne.

II. Dylemat indeterministy. Do sformułowania tego dylematu potrzebne jest:

Twierdzenie o następstwie dziury, które jest powtórzeniem Einsteinowskiej wersji argumentu dziury, które to sformułowanie odnosi się do poszczególnego modelu lokalnej teorii czasoprzestrzeni.

Niech czasoprzestrzeń będzie globalnie hiperboliczna i niech pojawi się wymóg spełnienia determinizmu laplacowskiego. Wtedy zbiór wartości opisujących sytuację fizyczną powinien jednoznacznie wyznaczać przyszły stan tej sytuacji. Jeśli jednak czasoprzestrzeń jest substancjalna, to dwa takie same matematycznie modele mogą opisywać tę samą sytuację fizyczną, lecz w pewnym dowolnym punkcie w przyszłości wyjściowej hiperpowierzchni S można umieścić dziurę, która wymusza uznanie radykalnego

indeterminizmu, to znaczy braku jednoznacznego wyznaczenia stanu fizycznego, jeżeli przyjąć, że dana sytuacja fizyczna ma przyporządkowany jeden model (opis matematyczny). Zaakceptowanie równoważności Leibniza, czyli zgoda na to, że fizyczna treść teorii nie pojawia się w modelu, a w klasie modeli dyfeomorficznie ekwiwalentnych, pozwala usunąć ten problem.

W rezultacie substancjalista musi:

- a) uznać indeterminizm lokalnych teorii czasoprzestrzeni,
- b) odrzucić swój substancjalizm.

Jako przesłanie i lekcję z tak sformułowanego argumentu dziury Earman i Norton [1987, s. 524] wskazują:

Jest wiele sposobów, na jakie determinizm może się załamać [...]. Idzie nam jednak o coś takiego: jeżeli metafizyka zmuszająca wszystkie nasze teorie, aby były deterministyczne, jest niedopuszczalna, to również niedopuszczalna jest metafizyka, która automatycznie przesądza o indeterminizmie [teorii]. Determinizm może zawieść, lecz jeśli tak, to powinno to mieć miejsce z powodów fizycznych. Nie wtedy natomiast, gdy decydujemy się na uznanie substancjalnych własności [czasoprzestrzeni], które mogą być wyrugowane bez naruszenia empirycznych konsekwencji teorii.

III

Reakcje na tak sformułowany argument dziury, który *explicite* został wymierzony przeciwko danemu stanowisku filozoficznemu, były ze strony substancjalistów różne: istotne było, aby wykazać, że substancjalizm jako taki bądź nie generuje konsekwencji w postaci radykalnego indeterminizmu, bądź argument dziury jest neutralny względem pewnych wersji substancjalizmu. John Earman utrzymywał przez dłuższy czas, że argument dziury jednoznacznie rozstrzyga spór substancjalistów z relacjonistami na rzecz tych drugich [Earman 1989]⁶. Tim Maudlin [1993] przyjął wersję substancjalizmu w formie tak zwanego esencjalizmu metrycznego, to znaczy uznał, że adekwatną reprezentacją czasoprzestrzeni jest pole metryczne

⁶ Zarazem sformułował mocną tezę, że OTW jednoznacznie wskazuje na relacjonistyczną interpretację [por. również Viter, 2006].

i to właśnie je powinniśmy traktować realistycznie; substancjalizmu rozmaitościowego nikt tak naprawdę nie uznaje i jest to chimera, przeciwko której argument dziury ma być wymierzony, nie zaś rzeczywiście bronione stanowisko, nawet przez Friedmana, na którego Earman i Norton się powołują. Sformułowanie Maudlina jest jednak o tyle osobliwe, że przyjmuje formę realistycznego selektywizmu⁷, to znaczy stawia się tutaj pytanie, którą matematyczną strukturę teorii fizycznej mamy traktować jako adekwatną reprezentację; jednakże należy odróżnić realizm teoriopoznawczy od substancjalizmu, jak i absolutyzm od substancjalizmu. W swoich późniejszych pracach [Maudlin, 2010; 2012] Maudlin zdaje się przejawiać konsekwencje powyższego pomieszania: mariaż realizmu z substancjalizmem wymaga wyjaśnienia, dlaczego właściwie powinniśmy uznać metrykę za adekwatną reprezentację czasoprzestrzeni i co w tej reprezentacji skłania nas do nazwania tego czegoś substancjalnym. Maudlin stwierdza, że realistyczne potraktowane pole metryczne pozwala uznać, że geometria czasoprzestrzeni jest w związku kauzalnym⁸ z materialną zawartością Wszechświata i pełni w związku z tym rolę eksplanacyjną (w odniesieniu do ruchu czy określenia wzajemnych relacji między ciałami na podstawie odległości)⁹. Co ciekawe, Maudlin, argumentując za swoją wersją substancjalizmu, pracuje głównie na czasoprzestrzeniach neo-newtonowskich (Einsteina-Cartana) oraz czasoprzestrzeniach Minkowskiego z sygnaturą Lorentza¹⁰. OTW jest znacznie trudniejsza do takiej adaptacji, zwłaszcza

⁷ Selektywizm może pojawiać się również w kontekście relacjonizmu i taka selektywistyczna forma relacjonizmu miała być prezentowana przez Earmana; Saunders [2003] podjął próbę przedstawienia nieredukcjonistycznego relacjonizmu.

⁸ Co może być poważnym zarzutem; Nerlich [2010] stara się rozdzielić eksplanacyjny charakter substancjalnej czasoprzestrzeni od kauzalnej jej interpretacji.

⁹ Problem kauzalnej i eksplanacyjnej roli czasoprzestrzeni wiąże się z ryzykiem popadnięcia w platonizm dotyczący statusu ontologicznego struktur matematycznych teorii fizycznej. Przeciwnieństwo takiej formy substancjalizmu można znaleźć chociażby u Browna i Pooleya [Brown, Pooley, 2006; Brown, 2005], gdzie jednoznacznie odmówione jest czasoprzestrzeni jakiegokolwiek istnienie – są tylko rzeczy materialne. O ile Brown nie nazywa sam siebie relacjonistą i jego poglądy ukute są w ramach dynamicznej interpretacji STW, która jest formą neolorentzowskiej wersji STW, to jednak, ze względu na czynione *explicite* zobowiązania ontologiczne, można go również nazwać relacjonistą [zob. Pooley, 2013, s. 48].

¹⁰ Podobna linia obrony substancjalizmu jest w: Pooley, 2013, s. 48.

gdy odrzuca się grupę transformacji dyfeomorficznych jako grupę cechowania, a w rezultacie klasę ekwiwalencji modeli jako nośnika informacji o („autentycznych” [por. Earman, 2005]) obserwablach [zob. Maudlin, 2002]¹¹. Ciekawsze wykorzystanie podejść związanych z realizmem pojawia się w kontekście ontologii strukturalnych dla teorii czasoprzestrzeni, o nich jednakże za chwilę.

Inną wersją odrzucenia substancjalizmu różnicowości może być zrewidowanie podziału na „pojemnik” i „zawartość”, czyli na czasoprzestrzeń i „umieszczone” w niej zdarzenia-punkty. Tak określony substancjalizm jest substancjalizmem dualistycznym. Schaffer [2009] przedstawia natomiast monistyczną wersję substancjalizmu czasoprzestrzennego, gdzie wszystkie własności, które można orzekać o „zawartości” czasoprzestrzeni, należą do czasoprzestrzennej charakterystyki tej zawartości. Dokładniej – każdy element czasoprzestrzeni utożsamia się z jakimś regionem czasoprzestrzeni. Jest to jeden ze sposobów traktowania „zawartości” czasoprzestrzeni, próbuje on także uczynić zadość kartezjańskiemu ujęciu tego, co materialne, jako rozciągłe i geometryczne. Taka próba uniknięcia ontologii relacjonistycznej jako skutek zastosowania argumentu dziury niewiele jednak wnosi: być może jest ciekawym stanowiskiem metafizycznym, lecz w dużej mierze gubi połowy charakter OTW jako teorii czasoprzestrzeni, która jest w tym kontekście rozpatrywana, co więcej – nie wiadomo, co miałyby znaczyć „przyszpilanie własności materialnej zawartości czasoprzestrzeni do czasoprzestrzeni samej”. Pomijając wątpliwości dotyczące utożsamienia „rzeczy” z regionami czasoprzestrzennymi (Schaffer jest tu dość swobodny terminologicznie), nie ma mowy nigdzie o tym, jak właściwie w ramach OTW należałoby odtworzyć formalnie taką ontologię, czyli przykładowo określić relewantny związek między różnicowością a tensorem energii-pędu. Najpewniej nic by z tego nie wyszło – Schaffer nic nie

¹¹ Z drugiej strony istnieją próby rehabilitacji relacjonizmu Macha w odniesieniu do nowszych teorii, jak i do fizyki klasycznej za sprawą Juliana Barboura (zob. na przykład Barbour, 2010). Nie dziwi natomiast próba ratowania substancjalizmu w oparciu o STW – dla tej teorii po prostu nie da się sformułować argumentu dziury (ze względu na „sztywność” pola metrycznego z wyróżnionymi układami oraz odpowiednio rygorystyczną grupę symetrii, w STW jest to niehomogeniczna grupa Poincarégo, która w nowszym sformułowaniu jest dziesięcioparametrową grupą Liego).

mówi o matematyczno-formalnych aspektach swojej propozycji, co znacząco utrudnia ewaluację jego stanowiska.

Celem uniknięcia niefortunnych następstw argumentu dziury można wykorzystać inną strategię niż ta, w której zmienia się przedmiot predykcji egzystencjalnej. Carl Hoefer i Nancy Cartwright [1993] odmawiają argumentowi dziury mocy przypisywanej mu przez Earmana i Nortona. Cartwright i Hoefer atakują końcową część argumentu dziury, gdzie jego autorzy stwierdzają, że to, czy da się utrzymać determinizm, zależy od „powodów fizycznych”, co jest interpretowane tutaj jednoznacznie jako testy empiryczne [Hoefer, Cartwright, 1993, s. 28]. Cartwright i Hoefer zgadzają się natomiast co do tego, że na poziomie teorii substancjalizm generuje indeterminizm i to dla dość dużej klasy teorii, przy jednoczesnym niedodaniu niczego do predykcji opartych na teorii¹². Formułują jednak wobec Earmana i Nortona dwa zarzuty: po pierwsze, nie można po prostu odrzucić punktów czasoprzestrzennych, bowiem związana z nimi jest podstawowa własność rozłączności/rozdzielności/separowalności¹³. Po drugie: testowalność teorii powinna rozstrzygać o determinizmie jako takim, co ma skłaniać do nieprzedkładania preferencji filozoficznych nad wnioski z wąskiego, testowalnego fragmentu teorii. Na podstawie tych dwóch zarzutów Cartwright i Hoefer słusznie rozdzielają determinizm dotyczący świata od determinizmu dotyczącego teorii i postulują, aby debata ontologiczna między substancjalistami i relacjonistami była, owszem, toczona

¹² Zob. również Butterfield, 1989 i Teller, 1991.

¹³ Pada tu również stwierdzenie, że coś takiego jest „empirycznym faktem”, któremu, jeżeli OTW nie jest w stanie uczynić zadość, to OTW jest niekompletna; widać tutaj pomieszczenie „sensowności empirycznej” z „sensownością fizyczną” i sugerowanie, że modele teoretyczne, w oparciu o teorię których sformułowany został przez Earmana i Nortona argument dziury, podlegają krytyce ze względu na niebycie modelami empirycznymi, wydaje się nietrafne. Co więcej, nazywanie istnienia punktów czasoprzestrzeni empirycznym faktem jest jeszcze bardziej ryzykowne. Sama różnorodność różniczkowa jest ugruntowana w teorii mnogości, w ramach której Cantor [1955] na przykład interpretował elementy zbioru jako dobrze określone, odrębne indywidua i odniesienie takiej charakterystyki do punktów czasoprzestrzeni przy nazwaniu tego „faktem empirycznym” każe zapytać, czy rzeczywiście mamy tutaj do czynienia z empiryzmem, czy jednak z wyłącznie metafizyczną próbą ugruntowania lokalności jako warunku przeprowadzania pomiarów/obserwacji i testowania teorii w ogóle, jak to pojawia się u Maudlina [2007] i Healeya [2002] pod nazwą tezy o empirycznej inkohereencji w nauce.

w odniesieniu do zagadnienia determinizmu, zastrzegając jednak, że filozofowie winni się zwrócić w stronę badań empirycznych.

Dean Rickles [2005b], wspominany już Tim Maudlin [2002] oraz Jeremy Butterfield [1989] podważają argument dziury również ze względu na to, że uznanie dyfeomorfizmów jako grupy cechowania OTW przekłada się na odtworzenie tej grupy w ramach hamiltonowskiego sformułowania OTW. Argument dziury i przyjmowane stanowisko relacjonizmu (przynajmniej w pewnej formie) wiążą się z radykalnym uznaniem aktywnej ogólnej niezmienniczości, a to właśnie oznacza zaklasyfikowanie dyfeomorfizmów jako grupy transformacji cechowania. Na tym gruncie formuluje się tak zwane więzy pierwszego stopnia, które odtwarzają grupę symetrii cechowania OTW. Pośród „autentycznych wielkości” – obserwabli [por. Earman, 2003], to znaczy wartości, które są niezmiennie w hamiltonowskiej dynamice, nie znajduje się czas. Innymi słowy: argument dziury, który ma sugerować wybór relacjonistycznej ontologii, zmusza do przyjęcia takiego formalizmu, w ramach którego czas na fundamentalnym poziomie nie płynie, a sama dynamika jest w istocie „zamrożona”¹⁴, co jest przez antagonistów relacjonizmu określane jako skutek gorszy od indeterminizmu. Koniec końców, Rickles uznaje earmanowskie D-serie opisujące kontekstualne ujęcie czasu, a więc akceptuje *formalizm* zamrożonej dynamiki, lecz umieszcza je na gruncie ontologii strukturalistycznych¹⁵, stwierdzając, że upływ czasu jest możliwy, lecz musi być radykalnie odmiennie ujęty.

Inne reakcje na argument dziury podjęły zadanie gruntownej przebudowy stanowiska substancjalistycznego, wskutek czego powstały nowe substancjalizmy: wysublimowany substancjalizm (*sophisticated substantivalism*) Pooleya [2006; 2012] oraz dynamiczny realizm strukturalistyczny (*dynamic structural realism*) Stachela [2006; 2014]. Oba stanowiska wychodzą od włączenia zreinterpretowanego na potrzeby filozofii czasoprze-

¹⁴ Zob. Earman [2002], gdzie pojawia się próba ściśle korelacyjnego ujęcia czasu w ramach tzw. D-serii.

¹⁵ Choć próżno szukać prostego rozwiązania tej kwestii na przykład w kontekście intensywnie poszukiwanej teorii kwantowej grawitacji, która powinna być niezależna od tła, jak na przykład teoria pętlowej kwantowej grawitacji, zob. Rovelli, 2004.

strzeni terminu *haecceitas* [Teller, 1998], zapożyczonego ze scholastyki, który oznacza jednostkową odróżnialność, co jest odmienne od posiadania „wewnętrznego” wyindywiduowania. W nowych substancjalizmach przyjmuje się antyheketyzm, głoszący, że nie istnieje sposób odróżniania indywiduów od siebie (dotyczy to sytuacji, w której zaniedbywalne bądź niepoznawalne są cechy jednostkowe, lecz można zaklasyfikować gatunkowo dany byt/indywiduum). Heketyzm natomiast miał wymuszać indywiduację punktów czasoprzestrzennych niezależnie od pola metrycznego, co generowało indeterminizm demaskowany przez argument dziury zastosowany do substancjalizmu różnaitościowego¹⁶. Antyheketyzm został przyjęty w ramach ontologii strukturalistycznych przeciwstawionych ontycznemu strukturalizmowi. Oba stanowiska należą do nurtu „metafizyki naukowo doinformowanej” (*scientifically informed metaphysics*). Ontyczny strukturalizm odmawiał punktom (na przykład czasoprzestrzennym) posiadania inherentnej własności wyindywiduowania oraz odróżnialności – co ciekawe, stanowisko to jest w znacznym stopniu oddzielne od relacjonizmu. Strukturalizm nieontyczny [por. Chakravartty, 2007] i zorientowany wyłącznie antyheketystycznie, ale nie odbierający punktom (w naszym kontekście – punktom czasoprzestrzeni) inherentnej, choć nierejestrowanej indywidualności, został odniesiony do sporu o status ontologiczny czasoprzestrzeni między innymi w: French 2001; French, Ladyman 2003; zob. również Dorato 2000. Nowe substancjalizmy starają się niejako uwzględnić wszystko: przyznają pozytywny status ontologiczny zarówno relacjom, jak i wyindywiduowanym punktom, jednakże bez specyfikowania, co jest ontologicznie pierwotne. I tak, w wysublimowanym substancjalizmie Pooleya akceptuje się równoważność Leibniza, za reprezentację czasoprzestrzeni uznaje się łącznie różnaitość różniczkową z polem metrycznym. Stachel kładzie mocny akcent na antyheketyzm i rolę pola metrycznego z podkreśleniem jego dynamiczności. W odróżnieniu jednak od Pooleya, dla Stachela antyheketyzm stał się motywacją do wykorzystania nowego aparatu matematycznego w odniesieniu do problemów związanych z ogól-

¹⁶ Jakkolwiek wcześniej zostało podważone, jakoby substancjalizm różnaitościowy był stanowiskiem rzeczywiście przez kogoś przyjmowanym, to jednak sama kwestia indywiduacji punktów na gruncie formalizmu OTW została potraktowana poważnie.

na niezmienniczością (bo argument dziury ugruntowany jest właśnie w tej własności formalizmu OTW i innych teorii, które są teoriami z cechowaniem) – koncepcji wiązek włóknistych¹⁷.

Pooley [2014, s. 37] do nowych substancjalistów zalicza również Earmana ze względu na jego zmodyfikowanie własnego, wcześniejszego stanowiska. Earman [2006] podnosi różnicę między formalną ogólną niezmienniczością (FGC) a substancjalną ogólną niezmienniczością (SGC). Dystynkcja ta w zasadzie odpowiada podziałowi na aktywne i pasywne przekształcenia dyfeomorficzne, jednakże Earman traktuje to jako podstawę do zapostulowania nowej kategorii ontologicznej, która dotyczyłaby niezmienniczych względem transformacji cechowania elementów teorii. Nazywa ją wydarzeniem zbieżnościowym (*coincidence occurence*) i stwierdza, że najlepiej wyraża lekcję z uznania substancjalnej ogólnej niezmienniczości: że należy odrzucić w filozofii czasoprzestrzeni ontologię opartą na zdaniach podmiotowo-orzecznikowych, ponieważ przypisywanie własności obiektom, gdzie tymi obiektami miałyby być punkty czasoprzestrzeni, generuje niebezpieczeństwo przypisywania im autonomicznego istnienia, a to właśnie skutkuje indeterminizmem. Wydarzenia zbieżnościowe są określone dość niejasno: jako współwystępowanie istotnych wartości (niezmienniczych względem transformacji cechowania) na dwóch parametrach nieniezmieniczych w danym punkcie czasoprzestrzeni. Reprezentuje to kontekstualny charakter ukonstituowania ontologii opartej na SGC. O ile Earmana rozważania nad SGC są zbieżne z koncepcjami Pooleya i Stachela, to jednak postulowanie wydarzeń zbieżnościowych czyni propozycję Earmana odrębną.

Argument dziury Earmana i Nortona nadał impet debacie nad statusem ontologicznym czasoprzestrzeni, jednak dyskusja ta okazała się daleka od rozstrzygnięcia. Dość prędko po opublikowaniu tekstu Earmana i Nortona pojawiły się głosy twierdzące, że spór jest niekonkluzywny, z wielu powodów. Wydaje się, że stanowisko Roberta Rynasiewicza jest w tym kontek-

¹⁷ Trzeba zaznaczyć, że w kontekście nowych substancjalizmów dużo większą rolę odgrywają punkty czasoprzestrzenne oraz rozważania nad ich statusem ontologicznym, niż w podejściach teoriomodelowych z wykorzystaniem obiektów geometrycznych. Jak jednak wspomniano, i tutaj korzysta się z narzędzi formalno-matematycznych.

ście najbardziej precyzyjne oraz głębokie. Rynasiewicz [1994] wyróżnia trzy sposoby, w jakie modele danej teorii (rozumiane w sposób podany przeze mnie podczas rekonstrukcji argumentu dziury) odnoszą się do możliwych, w ramach danej teorii, sytuacji fizycznych:

1) literalizm względem modeli (*Model literalism*): każdy model reprezentuje możliwą fizycznie sytuację, a różne [matematycznie – D.L.] od siebie modele reprezentują różne sytuacje;

2) równoważność Leibniza: modele izomorficzne [tj. modele dyfeomorficzne – D.L.] reprezentują tę samą sytuację fizyczną;

3) selektywizm względem modeli (*Model selectivism*): niektóre modele mogą nic nie reprezentować, lecz są takie modele, które (a) reprezentują sytuację fizyczną i (b) reprezentują odmienne sytuacje fizyczne.

Pierwszy sposób odpowiada podejściu „starych” substancjalistów. Rynasiewicz pokazuje, że strategia ta nie tyle generuje indeterminizm, co wikała się w sprzeczność, jeżeli ma dążyć do sformułowania reprezentacji sytuacji fizycznej, która jest zgodna z OTW; zachodzi to niezależnie od tego, czy sformułuje się argument dziury, do czego Earman i Norton potrzebowali założenia o tym, że rozpatrywana czasoprzestrzeń jest ujmowana globalnie [Rynasiewicz, 1994, s. 409–410, 413]. Dalej Rynasiewicz omawia selektywizm względem modeli, odnosząc się do Butterfielda i Maudlina, i stwierdza, że ta pozycja przeradza się w modalny literalizm, ponieważ można w jej ramach zanegować dyfeomorficzną równoważność modeli (co Rynasiewicz nazywa domknięciem izomorficznym). Kłopotliwa dla równoważności Leibniza jest łączona z relacjonizmem trywialna identyczność między modelami – jest to jeden z powodów, dla którego Earman później wprowadził rozróżnienie na formalną i substancjalną niezmienniczość. Rynasiewicz wyraźnie odnosi się tylko do pasywnie interpretowanych przekształceń dyfeomorficznych (zależnych od współrzędnych) i w tym kontekście słusznie stwierdza, że jeżeli równoważność Leibniza miałaby przemawiać za relacjonizmem, to tylko wtedy, gdy niezbicie pokaże się, że model po transformacji dyfeomorficznej nie może reprezentować nic innego niż model wyjściowy – co na gruncie pasywnej

interpretacji istotnie jest niewykonalne¹⁸. Rynasiewicz wykazuje, że taka trywialna identyczność (związana z wyróżnioną przez niego grupą automorfizmów, która jednak jest inaczej matematycznie wyrażoną, omówioną powyżej, pasywną interpretacją dyfeomorfizmów) nie pociąga za sobą z konieczności indeterminizmu, a zatem argument dziury nie ma mocy zdolnej rozstrzygnąć spór.

Po rozważeniu omówionych trzech strategii Rynasiewicz [1994, s. 434] konkluduje, że spór o status ontologiczny czasoprzestrzeni (wraz z postawionym w tym kontekście zagadnieniem determinizmu) jest właściwie sporem zdezaktualizowanym i nieco *ad hoc* przywołuje tutaj zależność tego sporu od podziału na „pojemnik” (czasoprzestrzeń) i jego „zawartość”; w innym miejscu Rynasiewicz [1996] rozwija ten wątek i stwierdza, że wszystkie przemiany fizyki eteru prowadzące do relatywistycznej rewolucji naukowej z początku ubiegłego stulecia dyskwalifikują podział na pojemnik i zawartość ze względu na mieszanie się tych kategorii w fizyce relatywistycznej, zwłaszcza w OTW. O ile zatem Rynasiewicz słusznie zauważa niedostatki odnośnej debaty, to jednak później nowe stanowiska zostały sformułowane, *vide* omówione już nowe substancjalizmy czy substancjalizm monistyczny¹⁹, który wychodzi od zarzucenia podziału na pojemnik i zawartość, lecz nie dochodzi do wniosku o niekonkluzywności odnośnej debaty.

IV

Argument dziury w powyższych rekonstrukcjach miał dwie zasadnicze interpretacje: albo był odnoszony do problemu indywiduacji punktów (czasoprzestrzennych, jako coś w świecie reprezentujących bądź nie) bądź do

¹⁸ Rynasiewicz [1992] atakuje również inne próby ugruntowania przez Earmana relacjonizmu (w ramach programu algebr Leibniza [Earman, 1986; 1989]), ale cały czas w kontekście krzyżowania sporu realizmu z antyrealizmem oraz sporu substancjalizm *versus* relacjonizm.

¹⁹ Odróżniony przeze mnie od nowych substancjalizmów ze względu na różnicę w odniesieniu się do argumentu dziury, jak również ze względu na stopień wykorzystania formalizmów matematycznych.

teoriomodelowego podejścia do ogólnie niezmienniczych teorii czasoprzestrzeni. W ramach pierwszej interpretacji doszło do takiego zrewidowania metafizycznych założeń dotyczących punktów, aby dało się uzgodnić substancjalizmy z ogólną niezmienniczością. Druga interpretacja zorientowana została na rewizję tego, co w ogóle ma uchodzić za przedmiot ontologii fizycznej (jakiejs fundamentalnej teorii fizycznej), która to ontologia miałaby być zgodna z zasadami teorii. To doprowadza do podniesienia roli transformacji i symetrii cechowania jako wewnątrzteoretycznych kryteriów sensowności fizycznej. Nowe substancjalizmy, dzięki wykorzystaniu antyheketyzmu, były w stanie oddzielić substancjalizm od indywiduacji punktów czasoprzestrzennych przed specyfikacją pola metrycznego, zarazem jednak zatarły nieco różnicę między pasywną a aktywną interpretacją przekształceń dyfeomorficznych, która jednak może mieć znaczenie filozoficzne; formalnie jednak te dwie interpretacje są równoważne [Wald, 1984]. W ramach antyheketyzmu zachowuje się jednak, przynajmniej deklaracyjnie, krytykę trywialnej identyczności. Teoriomodelowe podejście *explicite* skupiło się na roli symetrii w konstytuowaniu obserwabli [Earman, 2004b].

W obu przypadkach argument dziury nie tyle zostaje unieważniony, co zmienia się jego rola: staje się indykatorem niewłaściwej metafizycznej interpretacji teorii fizycznej. Lecz co miałoby stanowić o słuszności interpretacji metafizycznej/ontologicznej? Co „kieruje” egzystencjalnym orzekaniem o pewnych elementach danej teorii, że stanowią zobowiązanie ontologiczne tej teorii, to znaczy przedstawiają obraz świata, jakim powinien on być, jeżeli ta teoria miałaby być prawdziwa? Argument dziury stanowi problem formalny i dotyczy formalizmu teorii. Sama możliwość postawienia problemu Cauchy’ego podważa uznanie, że teoria jest zupełnie deterministyczna – a taka sytuacja zachodzi zarówno dla OTW, jak i fizyki newtonowskiej²⁰. Ontologia fizyczna czy metafizyka naukowo doinformowana nie mogą jednak bagatelizować problemów formalnych – przykład argumentu dziury pokazuje, jak doszło do korekty stosownej filozoficznej refleksji. Nie jest tak, że udało się filozoficznie zagwaranto-

²⁰ Wspominałem o tym w przypisie nr 5.

wać możliwość takiego obrazu świata, który sankcjonowałby określoną ontologiczną interpretację teorii.

Obie powyższe interpretacje muszą zatem być kompatybilne z tym, co stwierdza się formalnie w ramach danej teorii fizycznej. Przykład argumentu dziury pokazuje, że niepodobna w rekonstrukcji zobowiązań ontologicznych teorii od razu i jednoznacznie uchwycić to, do czego teoria może obligować ontologicznie. Co więcej, okazuje się, że ontologie relacjonistyczne i substancjalistyczne mogą być sobie równoważne ze względu na respektowanie transformacji cechowania w OTW²¹. Jest zatem tak, że argument dziury, jako zagrożenie indeterminizmu teorii, wymusza rozważenie, co ta teoria czyni możliwym do poznania, aby w rezultacie można było cokolwiek o tym orzekać. „Poznawalność” oznacza tutaj możliwość zinterpretowania sygnałów fizycznych oraz dokonania pomiarów na „wielkościach istotnych” (idąc za Earmanem). Czyli – oznacza wewnątrzteoretyczne kryteria sensowności fizycznej oraz tego, co liczy się jako obserwabla. Idzie o to, jakie możliwości teoria udostępnia: samodzielnie, zarówno STW i OTW są przede wszystkim teoriami pomiarowymi (na przykład interwałów czasoprzestrzennych czy gradientu pola potencjału grawitacyjnego) w czasoprzestrzeni.

Jak wspomniałem, obie przedstawione powyżej interpretacje muszą być kompatybilne ze sposobami konstruowania warunków sensowności fizycznej w OTW. Oznacza to, że nie mogą abstrahować od roli dyfeomorfizmów jako grupy transformacji cechowania. A skoro tak, to podstawowym punktem wyjścia dla interpretacji ontologicznej OTW jest sama kwestia ukonstytuowania tego, do czego interpretacje ontologiczne mogą się odnosić – co teoria dopuszcza jako poznawalne. Dwie ontologiczne interpretacje OTW czyni równoważnymi respektowanie tego samego „zaplecza epistemologicznego” tej teorii. Spór między substancjalistami a relacjonistami można zatem reinterpretować jako próbę rozstrzygnięcia, jaki jest zakres stosowności „epistemologicznej zawartości” (pojmowanej jako kryteria ustalenia, co jest możliwe fizyczne i informacyjnie osiągalne),

²¹ Nie jest również tak, że jakaś teoria automatycznie rozstrzyga o najlepszej interpretacji ontologicznej. Rovelli sugerował, że teoria pętłowej kwantowej grawitacji jednoznacznie wskazuje na ontologię relacjonistyczną, co jednak okazało się niesłuszne [Rickles, 2005a].

oraz jakie jest pozateoretyczne umocowanie tych warunków. Nowi substancjaliści i nie tylko (*vide* Maudlin) bronią bardzo wąskiego uznawania symetrii cechowania, a lokalność (rozumiana jednak metafizycznie) jest warunkiem sprawdzania empirycznej adekwatności teorii. Relacjoniści (zwłaszcza Earman) stawialiby na badanie symetrii w teorii i w kontekście na przykład praw tej teorii, ponieważ zapewnia to kontekstualizm; pozateoretyczne umocowanie teorii sprowadzałoby się wyłącznie do jej empirycznych testów bez metafizycznych zobowiązań względem pozateoretycznej lokalności czy globalności.

Byłby to przykładowy sposób modyfikacji (ze względu na konsekwencje argumentu dziury) sporu substancjalizm–relacjonizm; gdy potraktować radykalnie proponowaną zmianę, jego nazwa powinna zostać zresztą zmieniona. Jeśli się zgodzić na tę sugestię oraz na przedstawiony słownik (szczególnie kontrowersyjna może być „epistemologiczna zawartość” teorii), to ontologiczne zobowiązania OTW można uzyskać jedynie jako wtórne względem wewnątrzteoretycznych kryteriów sensowności fizycznej („wielkości autentyczne”, obserwable). Wybierając arbitralnie spośród dostępnych interpretacji, nie jesteśmy w stanie zagwarantować, że któraś z nich wyznacza jednoznacznie najbardziej słuszny obraz świata.

Samo zagrożenie indeterminizmem straciło swoją wyjściową moc w kontekście argumentu dziury. Problem determinizmu staje się w kontekście argumentu dziury drugorzędny – sam staje się problemem formalnym, który daje się zniwelować, proponując odmienne metasformułowania niezmienniczej zawartości danej teorii – by wspomnieć teorię ogólnej permutowalności [Stachel, Iftime, 2006; Iftime, 2008] czy teorię wiązek włókniстых [Stachel, Iftime, 2005]. Co więcej, jak już było wspomniane wcześniej, sam indeterminizm wynikający z argumentu dziury można przedstawić jako rodzaj niedookreślenia odniesienia przedmiotowego (względem jakiejś możliwej sytuacji fizycznej); klasy ekwiwalencji modeli są równoważne na przykład przekrojom przestrzeni totalnej w teorii wiązek włókniстых na gruncie substancjalizmu Stachela, który wychodzi od problemu indywiduacji punktów czasoprzestrzennych, nie wymuszając w żadnym razie czegoś w rodzaju literalizmu względem modeli.

Konkluzja

Po rekonstrukcji i rozważeniu argumentu dziury oraz wybranych stanowisk w sprawie jego statusu oraz jego związku z (in)determinizmem, zaproponowałem modyfikację istoty sporu relacjonistów z substancjalistami. Sugerowałaby ona:

a) epistemologiczną rewizję podstaw twierdzeń o ontologicznych zobowiązaniach w OTW;

b) podkreślenie „mocnego cięcia” między determinizmem wynikającym z formalizmu teorii a (być może nawet pojmowanym holistycznie) zdeterminowaniem świata.

Na gruncie omawianego sporu, razem z argumentem dziury i przy uwzględnieniu mojej sugestii jego modyfikacji, zagadnienie determinizmu w świecie staje się podatne na agnostycyzm poznawczy; należałoby to jednak zawężyć do zarysowanego kontekstu. Niewątpliwie jednak to, że determinizm formalny, stając się choćby zaniedbywalnym, utrudnia naiwne realistyczną interpretację tej kwestii.

Bibliografia

- Barbour J., (2010), „The definition of Mach’s principle”, *Foundations of Physics* 40, s. 1263–1284.
- Brown H.R., (2005), *Physical Relativity. Space-Time Structure from a Dynamical Perspective*, Oxford, Clarendon Press.
- Brown H.R., Pooley O., (2006), „Minkowski space-time: A glorious non-entity”, [w:] *The Ontology of Spacetime. Volume 1 of Philosophy and Foundations of Physics*, (ed.) D. Dieks, Amsterdam, Elsevier, s. 67–89.
- Butterfield J., (1989), „The hole truth”, *The British Journal for the Philosophy of Science* 40, s. 1–28.
- Cantor G., (1955), *Contributions to the Founding of the Theory of Transfinite Numbers*, Dover, Dover Publications.
- Chakravartty A., (2007), *A Metaphysics for Scientific Realism: Knowing the Unobservable*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Dorato M., (2000), „Substantivalism, relationism, and structural spacetime realism”, *Foundations of Physics* 30, s. 1605–1628.

- Earman J., (1986), „Why space is not a substance (at least not to first degree)”, *Pacific Philosophical Quarterly* 67, s. 225–244.
- Earman J., (1989), *World Enough and Space-Time: Absolute Versus Relational Theories of Space and Time*, London, MIT Press Classics, MIT Press, Cambridge, MA.
- Earman J. (2002), „Thoroughly Modern McTaggart”, *Philosopher's Imprint* 3.
- Earman J., (2003), „Tracking down gauge: an ode to the constrained Hamiltonian formalism” [w:] *Symmetries in Physics. Philosophical reflections*, [eds.] K. Brading, E. Castellani, Cambridge, Cambridge University Press.
- Earman J., (2004a), „Determinism: what we have learned and what we still don't know”, [w:] *Determinism, Freedom, and Agency*, [eds.] J.K. Campbell, M. O'Rourke, D. Shier, Cambridge, MIT Press, s. 21–46.
- Earman J., (2004b), „Laws, symmetry, and symmetry breaking: invariance, conservation principles, and objectivity”, *Philosophy of Science* 71, s. 1227–1241.
- Earman J., (2006), „The implications of general covariance for the ontology and ideology of spacetime”, [w:] *The Ontology of Spacetime Volume 1 of Philosophy and Foundations of Physics*, [ed.] D. Dieks, Amsterdam, Elsevier, s. 3–24.
- Earman J., Norton J.D., (1987), „What price spacetime substantivalism”, *British Journal for the Philosophy of Science* 38, s. 515–525.
- Einstein A., (1914), „Die formale Grundlage der allgemeinen Relativitaetstheorie“, *Preussische Akademie der Wissenschaften, Sitzungberichte*, s. 1030–1085.
- Einstein A., (1952), *Relativity: The Special and the General Theory*, New York, Crown.
- French S., (2001) „Getting out of a hole: identity, individuality and structuralism in space-time physics”, *Philosophica* 67, s. 11–29.
- French S., Ladyman, J., (2003), „Remodelling structuralism: quantum physics and the metaphysics of structure”, *Synthese*, 136, s. 31–56.
- Friedman M., (1983), *Foundations of Space-Time Theories*, Princeton, Princeton University Press.
- Healey R., (2002), „Can physics coherently deny the reality of time?”, [w:] *Time, Reality and Experience*, [ed.] C. Callender, Cambridge, Cambridge University Press.
- Hilbert D., (1917), „Die Grundlagen der Physik (Zweite Mitteilung.)”, *Nachr. Koenigl. Gesellsch. Wiss. Goettingen, Math.-Phys. Kl.*, s. 53–76.
- Hoefer C., Cartwright N., (1993), „Substantivalism and the hole argument”, [w:] *Philosophical Problems of the Internal and External Worlds: Essays on the Philosophy of Adolf Gruenbaum*, [eds.] J. Earman et al., Pittsburgh/Konstanz, University of Pittsburgh Press/Konstanz: Universitaetsverlag Konstanz, s. 23–43.
- Iftime M. (2008), *Gauge and General Relativity*, <http://arxiv.org/abs/gr-qc/061214,1> [dostęp: 28.09.2014].
- Iftime M., Stachel J., (2006), „The hole argument for covariant theories”, *General Relativity and Gravitation* 38, s. 1241–1252.
- Maudlin T., (1993), „Buckets of water and waves of space: why space-time is probably a substance”, *Philosophy of Science* 60, s. 183–203.

- Maudlin T., (2002), „Thoroughly muddled McTaggart: or, how to abuse gauge freedom to create metaphysical monstrosities”, *Philosophers' Imprint* 2 (4), s. 1–23.
- Maudlin T., (2007), „Completeness, supervenience, and ontology”, *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical* 40.
- Maudlin T., (2010), *The Metaphysics Within Physics*, Oxford, Oxford University Press.
- Maudlin T., (2012), „*Philosophy of Physics: Space and Time*”, Princeton, Princeton University Press.
- Nerlich G., (2010), „Why spacetime is not a hidden cause: a realist story”, [w:] *Space, Time, and Spacetime*, [ed.] V. Petkov, Berlin-Heidelberg, Springer, s. 181–192.
- Norton J., (1993), „General covariance and the foundations of general relativity: eight decades of dispute”, *Reports of Progress in Physics*, 56, s. 791–858.
- Pooley O., (2006), „Points, particles and structural realism”, [w:] *The Structural Foundations of Quantum Gravity*, [eds.] D. Rickles, S. French, J. Saatsi, Oxford, Oxford University Press, s. 83–120.
- Pooley O. (2012), *Substantialist and Relationalist Approaches to Spacetime*, <http://philsci-archive.pitt.edu/9055/> [dostęp: 24.09.2014].
- Rickles D.P., (2005a), „A new spin on the hole argument”, *Studies in the History and Philosophy of Modern Physics* 36, s. 415–434.
- Rickles D.P., (2005b), *What price determinism? A Whole Other Story!*, [http://philsci-archive.pitt.edu/2286/1/WPD\(Rickles\).pdf](http://philsci-archive.pitt.edu/2286/1/WPD(Rickles).pdf) [dostęp: 26.09.2014].
- Rovelli C., (2004), *Quantum Gravity*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Rynasiewicz R., (1992), „Rings, holes and substantialism: on the program of Leibniz algebras”, *Philosophy of Science* 59, s. 572–589.
- Rynasiewicz R., (1994), „The lessons of the hole argument”, *The British Journal for the Philosophy of Science* 45, s. 407–436.
- Rynasiewicz R., (1996), „Absolute versus relational space-time: an outmoded debate?”, *The Journal of Philosophy* 93, s. 279–306.
- Saunders S., (2003), „Indiscernibles, general covariance, and other symmetries: the case for non-reductive relationalism”, [w:] *Revisiting the Foundations of Relativistic Physics*, [eds.] J. Renn, L. Divarci, P. Schroter, Dordrecht, Springer Science + Business Media, s. 151–174.
- Schaffer J., (2009), „Spacetime the one substance”, *Philosophical Studies* 145, s. 131–148.
- Sklar, L., (1974), *Space, Time, and Spacetime*, Berkeley, Berkeley University of California Press.
- Stachel J., (1979), „The genesis of general relativity”, in Einstein Symposium Berlin, Aus Anla. Der 100. Wiederkehr seines Geburtstages 25. bis 30. März 1979, *Lecture Notes in Physics*, 100, [eds.] H. Nelkowski, A. Hermann, H. Poser, R. Schrader, R. Seiler, Berlin,; New York, Springer, s. 428–442.

- Stachel J., (2006), „Structure, individuality and quantum gravity”, [w:] *The Structural Foundations of Quantum Gravity*, [eds.] D. Rickles, S. French, J. Saatsi, Oxford, Oxford University Press, s. 53–82.
- Stachel J., (2014), „The hole argument and some physical and philosophical implications”, *Living Rev. Relativity* 17, <http://www.livingreviews.org/lrr-2014-1> [dostęp: 30.09.2014].
- Stachel J., Iftime M. (2005), *Fibered Manifolds, Natural Bundles, Structured Sets, G-Sets and all that: The Hole Story from Space Time to Elementary Particles*, <http://arxiv.org/abs/gr-qc/0505138> [dostęp: 27.09.2014].
- Teller P., (1991), „Substance, relations, and arguments about the nature of space-time”, *Philosophical Review* 100, s. 363–397.
- Teller P., (1998), „Quantum mechanics and haecceities”, [w:] *Interpreting Bodies: Classical and Quantum Objects in Modern Physics*, [ed.] E. Castellani, Princeton, Princeton University Press, s. 114–141.
- Vitery F. (2006), *Relational Spacetime Ontology*, <http://philsci-archive.pitt.edu/4935/> [dostęp: 25.09.2014].
- Wald R.M., (1984), *General Relativity*, Chicago, University of Chicago Press.

The hole argument: its role and consequences for the philosophy of space-time

ABSTRACT. The goal of this paper is to present the hole argument from a historical and critical perspective, although new positions on this topic are highlighted. After reconstructing three basic versions of the hole argument and showing the connections between this argument and determinism on the grounds of philosophy of space-time, the author describes the main field of application of the hole argument, i.e. the substantivalist-relationalist debate, and then evaluates the answers and reactions to this argument. After this analysis, conclusions are formulated about the irrelevance of determinism to the debate on the hole argument and it is postulated that the substantivalist-relationalist discussion should be modified so that it is more epistemological in nature.

KEY WORDS: the hole argument, space-time, general theory of relativity, (in)determinism

Damian Luty, Instytut Filozofii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, ul. Szamarzewskiego 89C, 60-568 Poznań

