

Wiesław Dyk, Robert Więckowski

W kręgu kwantowej teorii grawitacji

Nowa Krytyka 10, 221-229

1999

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

Wiesław Dyk

Uniwersytet Szczeciński

Robert Więckowski

Uniwersytet Stefana Kardynała Wyszyńskiego

Warszawa

W kręgu kwantowej teorii grawitacji

1. Wstęp

Albert Einstein¹ w swoich rozważaniach o metodzie naukowej stwierdza, iż konstruowanie rzeczywistego świata zewnętrznego opiera się najpierw na stworzeniu aparatu pojęciowego. Pomocą w tworzeniu pojęć są dane zmysłowe. Drugi krok uprawiania nauki to przypisanie tym pojęciom oczekiwań naszego umysłu. Oczekiwania umysłu to w dużej mierze „umysłowe związki”, „intuicja”, „swobodne myśli” czy „autorefleksja”. Byłoby to przywołaniem teorii poznania J. Locke’a, ale nie tylko, gdyż jest to uznaniem roli filozofa w tworzeniu naukowego obrazu świata. Trudno dziś oddzielić naukowców posługujących się metodą filozoficzną od naukowców posługujących się metodami nauk przyrodniczych. Czasami teorie sławnych przyrodników są ich oczekiwaniami „zabarwionymi” specjalistycznym językiem i matematycznymi wywodami. Dobrym tego przykładem może być książka R. Penro-

¹ A. Einstein: *Teoria względności i inne eseje*, tłum. P. Amsterdamski. Warszawa 1997, s. 44.

se'a i S. Hawkinga „Natura czasu i przestrzeni” czy też bestseller S. Hawkinga „Krótka historia czasu”. Lektura tej ostatniej książki automatycznie rodzi pytanie, które niegdyś zadał Albert Einstein: „Czy [...] fizycy nie powinni pozostawić filozofowania filozofom?”². Na pewno nie jest to możliwe, gdyż fundamentalne zasady fizyki są wielce problematyczne. Wystarczyłoby zatem, by fizycy mieli taką świadomość wypowiadając swoje tezy.

Trzeba jednakże przyznać, że fizyka XX wieku osiągnęła spory postęp w rozumieniu świata materialnego. Nowe teorie – takie jak mechanika kwantowa, teoria pola czy ogólna teoria względności – nie tylko pozwalają otrzymać szereg istotnych informacji o świecie, ale podważają podstawy dotychczasowych paradygmatów, ukazują nowe, nieoczekiwane właściwości materii i wszechświata. Potwierdzeniem takich osiągnięć zdaje się być teoria chaosu, którą należy rozumieć jako nowy sposób opisu zjawisk i zdarzeń przebiegających w przyrodzie.

Mimo uniwersalizmu proponowanych teorii, niektóre z nich rozwijały się niezależnie od siebie. Mowa tu o teorii grawitacji Einsteina i mechanice kwantowej wraz z kwantową teorią pola. Dwie ostatnie teorie opisują nade wszystko mikroświat (choć nie tylko), w którym zachodzą zjawiska kwantowe, i w którym bada się cząstki elementarne. Pierwsza natomiast dotyczy makroświata (mówiąc najogólniej), a więc tego wymiaru, w którym dominuje oddziaływanie grawitacyjne. Jak dotąd nie udało się połączyć obydwóch teorii (teorii grawitacji i teorii kwantów) w sposób zadowalający. Prace nad teorią unifikacji należą obecnie do najbardziej intensywnych w fizyce i kosmologii. Wśród wielu wymogów metodologicznych dotyczących teorii naukowych stawia się m.in. warunek ich prostoty.

² Ibidem, s. 43.

2. Zamyślenia przed murem pojęć

Przykłady podejmowanych usiłowań połączenia teorii grawitacji i teorii kwantów w jedną teorię kwantowej grawitacji możemy spotkać we wspomnianej wyżej książce „Natura czasu i przestrzeni” R. Penrose’a i S. Hawkinga. Jej autorzy są specjalistami z dziedziny kosmologii i teorii grawitacji. Na okładce wydawca zapewnia, że książka ta jest lekturą przystępną dla przeciętnego czytelnika. Tak jednak nie jest. Autorzy zakładają bowiem bardzo zaawansowaną wiedzę czytelników z dziedziny fizyki teoretycznej. Takie zagadnienia, jak diagramy Penrose’a-Cartera, całka Feynmana, Lorenzowska metryka de Sittera czy twistory sprawiają trudność również absolwentowi fizyki. Należą one jednakże do podstawowego opisu i prezentacji osiągnięć współczesnej fizyki na temat natury czasu i przestrzeni. Rachunek matematyki wyższej stanowi narzędzie eksplikacji tez.

Zauważa się podejmowanie prób upogładowienia. Autorzy wyjaśniają znaczenie takich pojęć, jak czarne dziury albo liczby zespolone, które zresztą są znane absolwentom szkoły średniej. Jednak zaraz po tym – jakby zapominając, do kogo kierują swą publikację – posługują się hermetycznym i niezwykle złożonym językiem wyższej matematyki (na przykład prezentują twistorową próbę kwantyzacji czasoprzestrzeni).

Filozof przyrody z szacunkiem, ale i z rezerwą spogląda na „nieme monumenty”, które mogą być ożywiane tylko przez specjalistów wąskiej grupy. Bardziej interesujące zdają się być implikacje filozoficzne kwantowej teorii grawitacji.

3. Implikacje filozoficzne kwantowej teorii grawitacji

Z klasycznej teorii względności nie sposób wykreślić tzw. osobliwości. Osobliwości to szczególne „miejsca” w czasoprzestrzeni, w których nie sprawdzają się znane dotychczas prawa fizyki. Są nimi czarne dziury i początek ekspansji wszechświata. Swoistą osobliwość w Haw-

kinga modelu wszechświata stanowi nieodwracalna utrata informacji. To, co wpadło do czarnej dziury już nigdy nie będzie możliwe do odzyskania w żadnej postaci, żadnym czasie i żadnej przestrzeni. Informacja zbliżająca się do czarnej dziury jest obiektywnie tracona w sposób nieodwracalny. Powyższe rozważania, prowadzone dla ekstremalnych warunków fizycznych, posiadają implikacje dla całej czasoprzestrzeni. Z kwantowego modelu wszechświata Hawkinga wynika możliwość nieustannej kreacji i anihilacji mikroskopijnych par czarnych dziur, które posiadają rozmiary około 10^{-66} cm. Procesy te stanowią tak niewielkie zaburzenia w ujęciu globalnym, że są – w zasadzie – nieistotne dla obserwowanych w kosmosie procesów fizycznych. W odniesieniu jednak do mechaniki kwantowej uwzględnienie tych nieznaczących procesów łączy się z poważnymi konsekwencjami. Niewielkie bodźce mogą bowiem zaburzyć równowagę różnych ładunków we wszechświecie (z wyjątkiem masy i ładunku elektrycznego). Jest to ważne, gdyż niektóre cząstki mogą ginąć bezpowrotnie w mikroskopijnych czarnych dziurach. Każda czarna dziura emituje stałe promieniowanie termiczne o temperaturze $T = \kappa / 2\pi$, gdzie κ jest miarą powierzchniowej grawitacji czarnej dziury. Wynika stąd, że rozważane pole grawitacyjne – w odróżnieniu od innych pól – posiada wewnętrzną entropię. Bilans emisji promieniowania i wchłaniania materii dla takich małych czarnych dziur wyrównuje się i dlatego może być spełniona zarówno zasada zachowania energii, jak i zasada zachowania masy³. Niemniej jednak pewna informacja znika bezpowrotnie. Znikanie energii byłoby podstawą uznania istnienia nowej nieoznaczoności we wszechświecie. Mowa tutaj o nowej nieoznaczoności nieznannej dotychczas w mechanice kwantowej. Model Hawkinga byłby zatem argumentem burzącym jakiegokolwiek nadzieje na determinizm w fizyce.

Dwaj światowej sławy fizycy zajmujący się zagadnieniem kwantowej grawitacji zgadzają się ze sobą w podstawowych kwestiach. Jed-

³ Koncepcję czarnych dziur zaproponował już w 1783 r. angielski astronom John Michell. Pomysł ten wydawał się niedorzeczny i zaniechano wszelkich badań w tym kierunku. W 1967 r. koncepcja odżyła, a wprowadził ją amerykański fizyk John Wheeler.

nakże podejście Penrose'a różni się zasadniczo od podejścia Hawkinga. Dla Penrose'a na przykład bardzo istotne znaczenie ma to, co dzieje się na powierzchni czarnej dziury. Problem osobliwości w czarnej dziurze próbuje on rozpatrywać w połączeniu z klasycznym już zagadnieniem pomiaru w mechanice kwantowej. W dokonywanych pomiarach wskazuje na dwa rodzaje procesów. Jeden to proces unitarny (oznaczony literą U), całkowicie przewidywalny i określony przez hamiltonian danego układu kwantowego. Jednak ewolucja unitarna zachowuje superpozycję stanów, co oznacza, że – znając tę ewolucję – możemy określić tylko prawdopodobieństwo zajścia określonego zdarzenia i nic ponadto. Drugim procesem jest tzw. skok kwantowy (oznaczony literą R), który występuje podczas aktu pomiarowego. Wtedy to następuje przejście z superpozycji wielu stanów do jednego, określonego stanu kwantowego, który odczytujemy w procesie pomiarowym. W efekcie, zamiast rozkładu prawdopodobieństwa znajdowania się danego układu kwantowego w różnych stanach, mamy pewność, że dany układ znajduje się w jednym, dobrze określonym stanie kwantowym, zmierzonym przez obserwatora. Ten proces nie jest unitarny i różni się zasadniczo od poprzedniego procesu U. Jego charakterystyczną cechą jest całkowita nieprzewidywalność. Proces U jest związany z procesem R w ten sposób, że proces U może jedynie podać prawdopodobieństwo zajścia procesu R.

Nierozwiązany jak dotąd problem pomiaru kwantowego, który Penrose obrazuje na przykładzie paradoksu kota Schrödingera, traktowany jest jako zjawisko komplementarne do tego, które zachodzi w osobliwości czarnej dziury. Nie zagłębiając się zbyt w rozważania Penrose'a, możemy stwierdzić, że procesy R we wszechświecie powodują lawinowy wzrost przestrzeni fazowej, nieustannie kompensowany przez czarne dziury. Wzrost przestrzeni fazowej jest jednak szybszy niż jego kompensacja. Mówiąc inaczej, stany kwantowe, które samoczynnie mnożą się w procesach R, częściowo znikają w czarnych dziurach.

Powyższe procesy jeszcze nie tłumaczą skoku kwantowego. Penrose twierdzi, iż do jego wyjaśnienia należy uwzględnić wpływ grawitacji. Uważa on, że superpozycja wielu stanów kwantowych powoduje su-

perpozycję wielu różnych geometrii czasoprzestrzeni. Być może układ ten jest niestabilny i przechodzi w procesie R do takiej czasoprzestrzeni, w której mamy tylko jeden stan kwantowy. Wspomniane kwantowe fluktuacje czasoprzestrzeni są niezwykle subtelne (ewentualna redukcja alternatywnych możliwości może zachodzić w skali Plancka, tj. około 10^{-33} cm), ale – jak podaje Penrose – to one są odpowiedzialne za redukcję stanów.

Hipotetyczna procedura U/R ma dla Penrose'a istotne znaczenie. W swej książce „Nowy umysł cesarza” powiada on, iż „poszukiwana kwantowa teoria grawitacji musi zawierać, jako jeden ze swych podstawowych składników, właśnie tę hipotetyczną procedurę U/R, łączącą obie procedury mechaniki kwantowej”⁴.

Rozważania Hawkinga w ostatecznej fazie łączą się z poglądami Penrose'a. Hawking rozumował w nieco inny sposób⁵. Twierdził on, że skoro wszystkie podstawowe prawa fizyki są symetryczne w czasie, to zawsze otrzymamy taki sam wynik, bez względu na to, czy będziemy śledzić ewolucję układu ku przyszłości, czy też ku przeszłości. Skoro prawa fizyki są symetryczne, to i stan równowagi termodynamicznej powinien być symetryczny. W przestrzeni fazowej P (wielowymiarowa przestrzeń, w której każdy punkt zawiera informację na temat współrzędnych i pędów wszystkich cząsteczek oraz geometrii czasoprzestrzeni) pudła Hawkinga podzielone są na obszary A i B – A przechodzi w B i B przechodzi w A. Przejście to następuje na skutek chwilowego zmniejszenia się wartości entropii. Czarne dziury, zdaniem autora, parują. Parowanie to nazywane jest fachowo promieniowaniem Hawkinga i dokonuje się dzięki zjawisku kwantowemu, tzw. „powstawaniu wirtualnych par” (powstawanie z próżni par cząstka–antycząstka). W normalnych warunkach pary takie podlegają anihilacji, ale w pobliżu czarnej dziury jedna z cząstek może wpaść w horyzont zdarzeń, a druga zdąży wówczas uciec w przestrzeń, czyli wyparować, nie ulegając uni-

⁴ R. Penrose: *Nowy umysł cesarza. O komputerach, umyśle i prawach fizyki*, tłum. z j. ang. P. Amsterdamski. Warszawa 1995, s. 388.

⁵ S. Hawking: *Czarne dziury i Wszechświaty niemowlęce oraz inne eseje*, tłum. z j. ang. P. Haski. Poznań 1997, s. 92–101.

cestwieniu. W normalnych warunkach promieniowanie Hawkinga jest bardzo słabe, ale na skutek fluktuacji wzrasta się. Fluktuacje stanowią warunek przechodzenia cząstek między poszczególnymi obszarami przestrzeni fazowej. Różnica między Hawkingiem a Penrose'em polega na tym, że zdaniem tego drugiego „procedura R nie może być symetryczna w czasie (a wobec tego nie może wynikać z symetrycznej w czasie procedury U)”⁶. Idąc za sugestią Hawkinga, czarne dziury byłyby fizycznie identyczne z białymi dziurami⁷. Według Penrose’a natomiast zasadnicza kwestia to spójność teorii. Penrose zakłada zatem, że kwantowa teoria grawitacji (*Correct Quantum Gravity* – CQG), aby mogła spełniać warunek spójności, musi wyjaśnić hipotezę zerowej krzywizny Weyla (*Weyl Curvature Hypothesis* – WCH). „Ograniczenie to ma wynikać z praw CQG, a więc musi dotyczyć wszystkich początkowych osobliwości, a nie tylko wybuchu. Nie twierdzą, że w rzeczywistym Wszechświecie muszą istnieć jakieś inne osobliwości początkowe, ale gdyby były, to ich struktura byłaby ograniczona przez WCH [...] Przykładu osobliwości początkowej odmiennego typu niż wielki wybuch dostarczają nam białe dziury”⁸.

4. Zakończenie

Rozważania Penrose’a i Hawkinga przyczyniają się do kształtowania kwantowo-relatywistycznej kosmologii. Znamiennie jest, że obaj autorzy pomijają, w zasadzie, teorię strun, która, zdaniem niektórych fizyków i filozofów fizyki, zdaje się być nadzieją na stworzenie uniwersalnej superteorii, łączącej wszystkie znane w fizyce oddziaływa-

⁶ R. Penrose: op.cit., s. 397.

⁷ S. Hawking: *Particle Creation by Black Holes*. *Comm. Math. Phys.* 1975, nr 43, s. 199–220. Białe dziury otrzymujemy z czarnych dziur przez odwrócenie kierunku czasu. Zdaniem Penrose’a – zgodnie z hipotezą zerowej krzywizny Weyla – istnienie białych dziur jest niemożliwe.

⁸ R. Penrose: op.cit., s. 391.

nia⁹. Brak zainteresowania teorią strun ze strony Hawkinga jest zrozumiałe, gdyż ma ona, jego zdaniem, nikłą moc wyjaśniającą, nie potrafi nawet odpowiedzieć na pytanie, dlaczego świeci Słońce.

Przedstawione wyżej starania obydwu uczonych wskazują na poważne trudności w zadowalającym sformułowaniu kwantowej teorii grawitacji. Jak dotąd, nie mamy jeszcze dopracowanej, prostej i spójnej kwantowej ogólnej teorii względności. Hawking i Penrose zrobili już w tym kierunku bardzo wiele, ale to zaledwie początek.

Fizyka jest jeszcze wciąż na półmetku w poznawaniu natury świata. Na podstawie analizy wysiłków wybranych autorów zauważamy, iż postęp nauki nie może się obejść bez filozoficznych założeń i filozoficznej metody. Już dziś można żywić nadzieję, że ewentualne rozwiązania problemu kwantowej grawitacji będą miały daleko idące implikacje filozoficzne, przyczynią się do zrozumienia wielu zagadnień w zakresie filozofii przyrody nieożywionej i ożywionej, a także staną się podstawą swego rodzaju „socjofizyki”.

Hawking wierzy w to, że człowiek pozna i nauczy się wykorzystywać prawa przyrody, że w ciągu najbliższych dwudziestu lat posiadać będzie kompletną, jednolitą teorię wszystkich oddziaływań. Ma jednak świadomość, że poznane prawa nauki mogą ułatwić określenie stanu początkowego wszechświata. Jednakże wielce wątpliwe jest, czy prawa te przydadzą się do przewidywania przyszłości rozwoju życia. Prawa biologii z kolei wyjaśniają powstanie życia na naszej planecie, ale są nieprzydatne do przewidywania ludzkich zachowań. Mózg ludzki podlega również zasadzie nieoznaczoności i jego funkcjonowanie związane jest z efektami kwantowymi. Efekty te ze swej natury nie determinują ludzkiego działania. Wachlarz ludzkich działań jest szeroki i w swych szczegółach nieprzewidywalny. Znamienne jest to – twierdzi Hawking – iż dobór naturalny wykształcił w nas, oprócz pozytywnych cech, także skłonności do agresji. I tu, na tle rozważań kwantowych, pada etyczne przesłanie do ludzkości o zaniechanie agresji. Zdaniem tego światowej sławy fizyka, opanowanie agresji jest jedyną drogą i nadzieją

⁹ M. Gell-Mann: *Kwark i jaguar. Przygody z prostotą i złożonością*, tłum. z j. ang. P. Amsterdamski. Warszawa 1996, s. 269–287.

rozwoju człowieka. Jeśli nie człowiek, to „być może inna rasa inteligentnych istot [...] zdoła osiągnąć równowagę między odpowiedzialnością i agresją”¹⁰. Jeśli inteligencja człowieka zawiedzie, wówczas gatunek nasz znajdzie się w ślepej uliczce ewolucji.

¹⁰ S. Hawking: *Czarne dziury...*, s. 120.