

Michał Heller

Kwantowe stworzenie Wszechświata

Zagadnienia Filozoficzne w Nauce nr 41, 3-15

2007

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.

Michał HELLER

Wydział Filozoficzny PAT, Kraków

KWANTOWE STWORZENIE WSZECHŚWIATA****1. OD INFLACJI DO KREACJI***

Ostatnio kosmologiczne modele inflacyjne stały się modne. Dzięki temu uświadomiliśmy sobie wyraźnie, że chcąc zbliżyć się do „ostatecznego wyjaśnienia”, musimy wymyślić coś bardziej radykalnego niż tylko wzdęcie rozmiarów wszechświata. To małe „coś”, od którego rozdęcie się rozpoczyna także domaga się wyjaśnienia. Ale inflacyjne scenariusze zwróciły naszą uwagę na problem próżni. Wprawdzie próżnia kwantowa, o jakiej mówi współczesna fizyka, nie jest metafizyczną nicością, z której chcielibyśmy wyprodukować wszystko, co istnieje (i w ten sposób uzyskać „ostateczne wyjaśnienie”), ale jest fizycznym stanem o najmniejszej dopuszczalnej energii i podejrzewamy, że musiała ona odegrać ważną rolę w wyłanianiu się wszechświata z czegoś bardziej pierwotnego niż jego stany, które dzisiejsza fizyka potrafi opisywać.

Hipotetyczna „fałszywa próżnia”, niezbędna do tego, aby zapoczątkować i podtrzymać inflację, jest różna od „prawdziwej próżni” fizycznej. Tę ostatnią definiuje się jako globalne minimum funkcji energii potencjalnej. W fizyce klasycznej przyjmuje się, że w tym minimum energia potencjalna rozważanych pól fizycznych jest równa zeru (jak wiadomo, zerowy punkt energii na skali możemy wybierać dowolnie). W fizyce kwantowej nie możemy tak postąpić, gdyż —

* Artykuł niniejszy jest częścią większej całości przygotowywanej do druku.

zgodnie z zasadą Heisenberga — dokładne ustalenie poziomu energii (także gdyby to był poziom zerowy) spowodowałoby nieskończoną rozmytość czasową całego procesu. Z połączenia tego faktu z innymi prawami relatywistycznej teorii kwantów wyłania się obraz kwantowej próżni jako zbiornika, w którym trwa „wieczna burza”¹ rozmaitych procesów. W kwantowej próżni nieustannie rodzą się pary cząstka-antycząstka, by po krótkim czasie anihilować. Kwantowa próżnia nie jest statyczną nicością, lecz oceanem fluktuującej energii.

Czy nie można by użyć kwantowej próżni do wyprodukowania wszechświata? Wprawdzie nie byłoby to stworzenie wszechświata z niczego, o jakim mówią teologowie, ale niewątpliwie stanowiłoby krok naprzód na naszej drodze poszukiwań coraz dalej idących wyjaśnień.

2. WSZECHŚWIAT Z FLUKTUACJI PRÓŻNI

Na początku lat siedemdziesiątych Edward Tryon wysłał do prestiżowego pisma *Physical Review Letters* artykuł na temat wyłaniania się wszechświata z kwantowej próżni, ale redakcja artykuł odrzuciła, uznając go za zbyt spekulatywny². Tryon artykuł nieco przerobił i wysłał do nie mniej prestiżowego *Nature*. Śmiało można powiedzieć, że artykuł ten zrobił tam karierę, zapoczątkowując nowy wątek badawczy w dociekaniu początków wszechświata.

Sama idea jest stosunkowo prosta. Coś z niczego mogłoby powstać, gdyby proces taki spełniał zasadę zachowania energii. Jest to możliwe, jeżeli przyjąć, że „coś” ma całkowitą energię równą zeru; jeżeli na przykład różne postaci energii w „coś” mają różne znaki i wzajemnie się znoszą. Wówczas całkowita suma energii przed „stworzeniem” i po „stworzeniu” jest równa zeru i zasada zachowania jest spełniona. Tymczasem od dawna już było wiadomo, że w zamkniętym modelu kosmologicznym Friedmana-Lemaître’a całkowita energia jest równa zeru, ponieważ energia pola grawitacyjnego jest ujemna i do-

¹Wyrażenie wzięte od Alana H. Gutha, *Wszechświat inflacyjny*, Prószyński i S-ka, Warszawa 2000, s. 362.

²Por. A.H. Guth, dz. cyt., ss. 361–362.

kładnie równoważy dodatnią energię zawartą w masach³. Czy więc zamknięty wszechświat Friedmana-Lemaître'a może powstać z „zero energii” czyli z nicości? W deterministycznej fizyce klasycznej jest to niemożliwe, ale staje się możliwe, gdy stanem wyjściowym jest próżnia kwantowa. Wyobraźmy sobie, że z fluktuacji kwantowej próżni rodzi się mała cząstka. „Generuje ona pole grawitacyjne, które — drogą standardowych procesów kwantowomechanicznych — prowadzi do produkcji innych cząstek, które produkują nowe pole grawitacyjne... itd. Mamy więc pewnego rodzaju ognistą eksplozję, zachowującą całkowitą zerową wartość energii, poczynając od pierwszej, zarodkowej cząstki. W ten sposób można sobie wyobrażać model Wielkiego Wybuchu”⁴.

Idea Tryona zyskała znaczną popularność. Jego model nie dostarczył wprawdzie „ostatecznego wyjaśnienia”, bo skąd się wzięła kwantowa próżnia, której fluktuacja zrodziła wszechświat (sam Tryon mówił o „preegzystującej próżni kwantowej”), ale pojęcie próżni wydaje się na tyle bliskie pojęciu nicości, że pomysł Tryona oddziałał inspirująco na wielu badaczy, którzy podjęli tę linię rozumowania. Niektórym z nich szczególnie atrakcyjna wydała się myśl połączenia pomysłu Tryona z koncepcją inflacji. Trójka belgijskich autorów, R. Brout, F. Englert i E. Gunzig⁵, zaproponowała model, w którym rodząca się z kwantowych fluktuacji materia odznacza się dużym ujemnym ciśnieniem, co prowadzi do scenariusza inflacji. Szereg innych poszło podobną drogą. Tryon wkrótce wykorzystał ten pomysł do „podparcia” swojego modelu. Ponieważ o tym, co dzieje się w kwantowej próżni decyduje gra prawdopodobieństw, powstanie małego wszechświata jest znacznie bardziej prawdopodobne niż powstanie wielkiego

³Energia pola grawitacyjnego jest ujemna, ponieważ ażeby oddalić od siebie dwa kawałki grawitującej materii, należy wykonać pracę.

⁴C.J. Isham, „Quantum Theories of the Creation of the Universe”, w: *Quantum Cosmology and the Laws of Nature*, red.: R.J. Russell, N. Murphy, C.J. Isham, Vatican Observatory Publications — Vatican City State, The Center for Theology and the Natural Sciences, Berkeley, 1993, ss. 49–89; cytat pochodzi ze ss. 56–57.

⁵„The Creation of the Universe as a Quantum Phenomenon”, *Annals of Physics* 115, 1978, 78–106.

wszechświata, a nasz wszechświat jest bardzo wielki. Ale niewykluczone, że na początku był on bardzo mały i to właśnie inflacja rozděła go potem do wielkich rozmiarów⁶.

Myśl, że ujemna energia pola grawitacyjnego może równoważyć dodatnią energię zawartą w masach jest niewątpliwie atrakcyjna i bogata w różne konsekwencje, nie można jednak zamykać oczu na trudności, z jakimi musi się zmierzyć. Jest rzeczą wręcz podręcznikową, że w ogólnej teorii względności istnieją poważne kłopoty ze zdefiniowaniem, w sposób niezależny od wyboru współrzędnych, zlokalizowanej energii pola grawitacyjnego. Dotychczas udało się taką definicję podać jedynie dla przypadku czasoprzestrzeni asymptotycznie płaskiej, tzn. dopuszczającej założenie, że w „nieskończoności” (tzn. dowolnie daleko od obserwatora) pole grawitacyjne jest tak słabe, iż można je zaniedbać. Sytuacja taka na pewno nie odpowiada żadnemu, bardziej realistycznie rozumianemu modelowi kosmologicznemu. W ogólnym przypadku sprawa jest otwarta, ale wielu specjalistów skłania się ku wnioskowi, że pojęcie całkowitej energii wszechświata jest pojęciem bezsensownym. Jeżeli tak jest w istocie, to cała konstrukcja Tryona jest zbudowana na piasku.

Istnieje jeszcze jedna pojęciowa trudność: wszechświat to nie tylko jego „materialna zawartość”, to także czasoprzestrzeń. Można wnieść, że wedle modelu Tryona wszechświat rodzi się z preegzystującej kwantowej próżni i z preegzystującej czasoprzestrzeni, ale status czasoprzestrzeni w tym modelu nie jest jasny. Pojęcie czasoprzestrzeni należy raczej do narzędziowego zasobu fizyki relatywistycznej niż fizyki kwantowej, a koncepcja Tryona nawet załączkowo nie jest kwantową teorią grawitacji. I dlatego nie może ona być niczym więcej jak tylko wstępem lub inspiracją do bardziej zaawansowanych pomysłów.

Kolejnym krokiem stała się próba „wyprodukowania” wszechświata, łącznie z czasoprzestrzenią, z „nicości”, zakładając tylko istnienie praw fizyki. Panuje powszechna zgoda teoretyków co do tego, że powinny to być prawa łączące w sobie fizykę kwantową z fizyką gra-

⁶Por. E.P. Tryon, „Cosmic Inflation”, w: *The Encyclopedia of Physical Science and Technology*, t. 3, Academic Press, New York 1992, ss. 537–571.

witacji. Ponieważ jednak nie mamy dziś ogólnie przyjmowanej teorii kwantowej grawitacji, należało oprzeć się na hipotetycznych propozycjach dotyczących tej dziedziny. Najbardziej znaną koncepcją „kwantowego stwarzania wszechświata” stał się model zaproponowany przez Jima Hartle’go i Steva Hawkinga w 1983 r.⁷. Jest on hybrydą dwu wysoce hipotetycznych modeli kwantowania grawitacji: modelu wykorzystującego pojęcie kwantowej funkcji wszechświata i modelu tzw. całkowania po drogach. Zanim przedstawimy model Hartle’go-Hawkinga, musimy skupić uwagę na tych dwu cząstkowych modelach.

3. FALOWA FUNKCJA WSZECHŚWIATA

Istnieje kilka różnych ujęć zwykłej mechaniki kwantowej. Dla większości zagadnień rozważanych w tej dziedzinie fizyki są one równoważne, jedynie w zastosowaniach do kwantowych teorii pól jedno z nich lepiej się nadają niż inne. Ale zasadnicze różnice pomiędzy tymi podejściami pojawiają się dopiero, gdy próbujemy przystosować je do kwantowania pola grawitacyjnego. Stąd właśnie biorą się różne strategie poszukiwania kwantowej teorii grawitacji. Różni autorzy próbują w tym celu wykorzystywać różne ujęcia zwykłej mechaniki kwantowej.

Najbardziej podręcznikowe ujęcie mechaniki kwantowej sprowadza się do tego, że na pewnej przestrzeni, zwanej przestrzenią konfiguracyjną, definiuje się tzw. funkcję falową (oznaczaną zwykle przez ψ), która zawiera w sobie całą dostępną informację o badanym obiekcie kwantowym (na przykład o elektronie). Funkcja ta musi spełniać równanie różniczkowe rządzące jej ewolucją. W standardowej mechanice kwantowej jest nim znane równanie Schrödingera. Rozwiązanie tego równania i interpretacja uzyskanych wyników zwykle kończy teoretyczną część zmagania się z problemem.

Gdy próbujemy metodę tę przenieść do kwantowania grawitacji, trudności zaczynają się od samego początku. Przede wszystkim

⁷J.B. Hartle, S.W. Hawking, „Wave Function of the Universe”, *Physical Review D*28, 1983, 2960–2875.

przestrzeń konfiguracyjna okazuje się bardzo skomplikowana. Akcja współczesnej teorii grawitacji, tzn. ogólnej teorii względności, rozgrywa się na 4-wymiarowej czasoprzestrzeni, ale czasoprzestrzeń nie jest obiektem kwantowym, który mógłby brać udział w kwantowej grze prawdopodobieństw. Ażeby zamienić ją w taki obiekt, należy ją rozłożyć na wszystkie możliwe 3-wymiarowe przestrzenie. Jest to zabieg skomplikowany, gdyż przy takim rozkładzie czasoprzestrzeni bardzo łatwo jest wyprodukować wiele kopii tej samej 3-wymiarowej przestrzeni, które różnią się tylko odmiennym opisem matematycznym. Sporo wysiłków kosztowało, zanim nauczono się poprawnie wykonywać ten zabieg. Na tym nie koniec konstruowania przestrzeni konfiguracyjnej. 3-wymiarowe przestrzenie należy jeszcze wyekwipować we wszystkie możliwe zestawy geometrii⁸ i pól fizycznych. Dopiero na tak skonstruowanej przestrzeni konfiguracyjnej należy określić funkcję falową wszechświata. I tu dopiero zaczynają się prawdziwe kłopoty pojęciowe. Co to bowiem znaczy „funkcja falowa *wszechświata*”?

Gdy w latach dwudziestych zeszłego stulecia Schrödinger wprowadził do mechaniki kwantowej pojęcie funkcji falowej elektronu, sam ją źle zinterpretował i musiało upłynąć sporo czasu, zanim fizycy zgodzili się na jej probabilistyczną interpretację. Wedle tej interpretacji największe prawdopodobieństwo zrealizowania się mają te własności elektronu, dla których funkcja falowa jest „największa”. Tę interpretację trzeba jakoś przenieść na funkcję falową wszechświata. Każda 3-wymiarowa przestrzeń z określonymi na niej polami przedstawia jakiś możliwy stan wszechświata. Stanów tych jest nieskończenie wiele. Na przestrzeni wszystkich tych stanów określona jest funkcja falowa wszechświata. Istnieje większe prawdopodobieństwo zrealizowania tych stanów, dla których funkcja falowa przybiera większe wartości. Największe wartości funkcja falowa powinna przybierać dla tych stanów, które opisują wszechświat podobny do naszego — bo właśnie taki wszechświat jest zrealizowany.

⁸Chodzi o tzw. metrykę Riemanna, która danej 3-wymiarowej przestrzeni nadaje odpowiednią geometrię.

Funkcja falowa wszechświata winna spełniać równanie różniczkowe analogiczne do równania Schrödingera. Równaniem tym jest równanie Wheelera-DeWitta. Mimo, że odgrywa ono rolę podobną do roli równania Schrödingera w mechanice kwantowej, jest od tego ostatniego istotnie różne. Równanie Schrödingera opisuje bowiem ewolucję funkcji falowej w czasie, ale jak może ewoluować funkcja falowa określona na wszystkich możliwych stanach wszechświata? Wszystkie możliwe stany wszechświata nie istnieją w czasie. Funkcja falowa wszechświata nie ma względem czego ewoluować. Znowu upłynęło sporo czasu, zanim fizycy dopracowali się właściwego rozumienia tego problemu. Sedno sprawy tkwi w równaniu Wheelera-DeWitta. Funkcja falowa wszechświata zależy od różnych parametrów charakteryzujących możliwe stany wszechświata, a równanie Wheelera-DeWitta opisuje zmienność funkcji falowej wszechświata względem tych wszystkich parametrów. Czas okazuje się korelacją pomiędzy niektórymi z nich. A więc nie ma tu zewnętrznego (względem wszechświata) czasu, którym można by było odmierzać zmienność kosmosu. Czas jest wynikiem wewnętrznej gry parametrów, charakteryzujących możliwe stany wszechświata. Równanie Wheelera-DeWitta odgrywa rolę koordynatora, spośród możliwych stanów wybierającego taki zestaw stanów, które prowadzą do wyłaniania się „wewnętrznego czasu”.

Opisany powyżej schemat teoretyczny często nazywa się kanonicznym kwantowaniem ogólnej teorii względności. Jego zasługi sprowadzają się głównie do ciekawych analiz pojęciowych, rzucających sporo światła na naturę trudności napotykaną przy różnych próbach kwantowania grawitacji. Był on rozwijany jako samodzielny program badawczy, ale w modelu kwantowej kreacji wszechświata, opracowanym przez Hartle’go i Hawkinga, stanowi on tylko jeden z dwu modeli, na których opiera się cała koncepcja. Drugim z nich jest model całkowania po drogach, szeroko stosowany w kwantowych teoriach pól.

4. CAŁKOWANIE PO DROGACH

W tym podejściu interesujemy się nie tyle samymi stanami, ile raczej przejściami od jednego stanu do drugiego. Rozważmy dwa stany układu kwantowego: Stan S_1 i stan S_2 ; chcemy obliczyć prawdopodobieństwo przejścia od stanu S_1 do stanu S_2 . W tym celu obliczamy wszystkie możliwe drogi w przestrzeni konfiguracyjnej wiodące od S_1 do S_2 . Wzdłuż każdej z tych dróg wyliczamy pewną całkę (zwaną całką działania) czyli każdej drodze przyporządkowujemy liczbę, będącą wynikiem całkowania. W efekcie otrzymujemy funkcję określoną na wszystkich możliwych drogach z S_1 do S_2 . Funkcja ta wiąże się z prawdopodobieństwem przejścia układu kwantowego ze stanu S_1 do stanu S_2 .

Metoda ta bardzo skutecznie funkcjonuje w teoriach pól kwantowych, ale próba jej przeniesienia na grunt ogólnej teorii względności napotyka na poważne problemy. Próbę taką podjęli Hartle i Hawking. Przyjrzyjmy się ich zabiegom nieco dokładniej.

Będziemy rozważać, podobnie jak w zwykłej mechanice kwantowej, przejście od stanu S_1 do stanu S_2 , ale teraz są to stany wszechświata. Każdy taki stan jest 3-wymiarową przestrzenią S z odpowiednim tensorem metrycznym γ (zadającym geometrię na S) i odpowiednimi polami fizycznymi ϕ . Za Hartle'm i Hawkingiem będziemy zakładać, że S jest przestrzenią zamkniętą (jak 3-wymiarowa sfera). Stan początkowy S_1 będziemy więc opisywać jako trójkę (S_1, γ_1, ϕ_1) a stan końcowy S_2 jako trójkę (S_2, γ_2, ϕ_2) .

Droga od stanu S_1 do stanu S_2 jest ciągiem „pośrednich” stanów wszechświata, czyli ciągiem zamkniętych 3-wymiarowych przestrzeni z odpowiednimi polami γ i ϕ . Oczywiście muszą być spełnione pewne warunki „gładkiego przechodzenia” od jednego stanu do drugiego. Taki ciąg stanów zakreśla więc „tubę” w przestrzeni wszystkich stanów. Stany S_1 i S_2 są stanami brzegowymi takiej tuby. Teraz należy rozważyć wszystkie takie tuby zaczynające się w S_1 i kończące się w S_2 i obliczyć wielkość, zwaną propagatorem, która pozwala określić prawdopodobieństwo przejścia od stanu wszechświata

S_1 do stanu wszechświata S_2 . Propagator zwykle oznacza się symbolem $K(S_1, \gamma_1, \phi_1; S_2, \gamma_2, \phi_2)$.

Niestety z wykonaniem tego problemu łączy się szereg trudności zarówno natury pojęciowej, jak i technicznej. Jedną z najgroźniejszych polega na tym, że w ogólnej teorii względności 3-wymiarowe „chwilowe” przestrzenie muszą układać się w 4-wymiarową czasoprzestrzeń. Jak wiadomo, w czasoprzestrzeni kwadrat współrzędnej czasowej w wyrażeniu na metrykę czasoprzestrzeni ma znak przeciwny w stosunku do współrzędnych przestrzennych. Mówimy, że geometria czasoprzestrzeni jest lorentzowska a nie riemannowska (w której wszystkie współrzędne mają jednakowe znaki). Trudność polega na tym, że w przypadku lorentzowskim rachunki, wymagane do obliczania prawdopodobieństw przejść między stanami, są na ogół niewykonalne (z przyczyn zasadniczych).

Ażeby przezwyciężyć tę trudność, Hartle i Hawking wykorzystali pewien trik, stosowany niekiedy w zwykłej mechanice kwantowej, a mianowicie wszędzie, gdzie występowała współrzędna czasu t pomnożyli ją przez jednostkę urojoną $i = \sqrt{-1}$. Powoduje to ujednoczenie znaków przy wszystkich współrzędnych w metryce czasoprzestrzeni. Czasoprzestrzeń lorentzowska staje się przestrzenią riemannowską (4-wymiarową). W zwykłej mechanice kwantowej analogiczny zabieg jest traktowany jako chwyt w rachunkach i po wykonaniu rachunków wraca się do dawnego znaku przy współrzędnej czasowej. Hartle i Hawking nadali temu zabiegowi znaczenie zasadnicze. Zinterpretowali go jako matematyczny wyraz tego, że na poziomie podstawowym czas traci swoje własności „płynącego przemijania” i staje się czwartą współrzędną przestrzenną.

Kolejną inwestycją Hartle’go i Hawkinga jest założenie, że funkcją falową wszechświata jest propagator, czyli

$$\Psi = K(S_1, \gamma_1, \phi_1; S_2, \gamma_2, \phi_2).$$

Tu właśnie spotyka się program kanonicznego kwantowania grawitacji z programem całkowania po drogach. Funkcja falowa jest pojęciowym elementem pierwszego z tych programów, propagator —

drugiego. Co więcej, Hartle i Hawking postulują, by funkcja falowa wszechświata spełniała równanie Wheelera-DeWitta.

Teraz następuje najważniejsza innowacja pojęciowa. Wyobraźmy sobie, że stan początkowy jest stanem „pustym”, tzn. $S_1 = \emptyset$. Obliczmy teraz funkcję falową

$$\Psi_0 = K(\emptyset; S_2, \gamma_2, \phi_2).$$

Zabieg ten pozwala wyliczyć prawdopodobieństwo przejścia wszechświata od stanu „pustego” do stanu $S_2 = (S_2, \gamma_2, \phi_2)$, czyli prawdopodobieństwo wyłonienia się wszechświata z nicości. Przy okazji Hartle i Hawking czynią jeszcze jedno założenie, a mianowicie, że Ψ_0 jest funkcją falową wszechświata w jego stanie podstawowym (w zwykłej mechanice kwantowej stan podstawowy jest stanem, w którym układ posiada najmniejszą dopuszczalną energię). Jeżeli prawdopodobieństwo przejścia od stanu „pustego” do innego stanu ma skończoną, różną od zera, wartość, to — zdaniem Hartle’go i Hawkinga — można mówić o kwantowym stwarzaniu wszechświata z nicości.

5. UWAGI KRYTYCZNE

Praca Hartle’go i Hawkinga stała się swoistą sensacją. Bo oto, posługując się matematycznym formalizmem zbudowanym z połączenia relatywistycznych i kwantowych metod, można skonstruować model stwarzania wszechświata z nicości. Nieco ściślej, wedle tego modelu można wyliczyć prawdopodobieństwo wyłonienia się wszechświata w pewnym stanie ze stanu, którego nie ma. Trzeba wszakże odróżnić psychologiczny efekt, jaki wywołały komentarze na temat modelu Hartle’go-Hawkinga (także komentarze samych autorów), od „twardej” analizy modelu.

Przede wszystkim należy uświadomić sobie, że model Hartle’go-Hawkinga nie jest kosmologicznym zastosowaniem dobrze ustalonej teorii kwantowej grawitacji (jak tego byśmy chcieli), lecz sam jest próbą (wysocje hipotetyczną) zastąpienia takiej teorii doraźnym modelem. Jest to model „hybrydowy”, nie wynikający z żadnych ogólnych

zasad, lecz będący wynikiem wymuszenia na dwóch różnych metodach (całkowanie po drogach i geometria czasoprzestrzeni), by współpracowały ze sobą. Co więcej, model ten opiera się na trzech dość arbitralnie przyjętych założeniach. Odrzucenie któregokolwiek z nich rujnuje całą koncepcję. Założenia te są następujące:

Po pierwsze, zastąpienie współrzędnej czasowej t przez współrzędną czasową urojoną it . Zabieg ten umożliwia wykonywanie całkowania po drogach⁹, ale jest podyktowany jedynie czysto „technicznymi” racjami. Hartle i Hawking dobudowują do tego zabiegu uzasadnienie, twierdząc, że dzięki niemu otrzymuje się wszechświat „bez brzegów”, co z kolei ma dawać „samowyjaśnialność” świata. Trzeba wszakże pamiętać, że w zaproponowanym modelu wszechświat jest reprezentowany nie przez czasoprzestrzeń (która może mieć brzeg lub go nie mieć) lecz przez funkcję falową i nie bardzo wiadomo, jak w takim przypadku i interpretować posiadanie lub nieposiadanie brzegów¹⁰.

Po drugie, utożsamienie funkcji falowej wszechświata z propagatorem. Trzeba przyznać, że jest to zabieg bardzo pomysłowy i zasadniczy dla całego modelu. Dzięki niemu model działa. Ale trzeba także zdawać sobie sprawę z tego, że zabieg ten jest dowolną inwestycją, której uzasadnieniem byłby tylko teoretyczny sukces modelu.

Po trzecie, zinterpretowanie funkcji falowej $\Psi_0 = K(\emptyset; S_2, \gamma_2, \phi_2)$ jako opisującej „wyłanianie się wszechświata z nicości”. O ile poprzednie dwa założenia należały do „wewnętrznych mechanizmów” modelu, o tyle to założenie ma charakter czysto interpretacyjny. I jest to interpretacja wysoce wątpliwa. Jak zauważa Gordon McCabe¹¹,

⁹Dzięki temu całkuje się po 4-wymiarowych zwartych przestrzeniach riemannowskich, co zapewnia, że całki nie są rozbieżne.

¹⁰Co więcej, Hartle i Hawking zdają się utożsamiać zawartość przestrzeni z nieposiadaniem przez nią brzegów. Tymczasem nie są to pojęcia pokrywające się: przestrzeń zwarta może mieć brzeg lub go nie mieć.

¹¹G. McCabe, „The Structure and Interpretation of Cosmology: Part II. The Concept of Creation in Inflation and Quantum Cosmology”, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 36, 2005, 67–102. Moja krytyka Modelu Hartle’go-Hawkinga jest w znacznej mierze oparta na tym artykule.

symbol zbioru pustego \emptyset w wyrażeniu $K(\emptyset; S_2, \gamma_2, \phi_2)$ nie oznacza nicości, z której miałyby się wyłonić stan wszechświata (S_2, γ_2, ϕ_2) , lecz raczej brak ograniczeń na „stan początkowy” przejścia do stanu (S_2, γ_2, ϕ_2) . A więc wyrażenie $K(\emptyset; S_2, \gamma_2, \phi_2)$ opisuje prawdopodobieństwo wyłonienia się stanu (S_2, γ_2, ϕ_2) z „czegokolwiek” raczej niż z nicości¹².

Do powyższych zastrzeżeń można dodać jeszcze jedno, tym razem natury filozoficznej. Nawet gdyby zgodzić się z Hartle’em i Hawkingiem, że ich model istotnie opisuje „kwantowe stworzenie” wszechświata, to nie jest to stworzenie „z nicości” w filozoficznym znaczeniu tego terminu. Model Hartle’go-Hawkinga zakłada bowiem istnienie praw fizyki, w szczególności współdziałających ze sobą praw fizyki kwantowej i fizyki relatywistycznej, a to jest dalekie od pojęcia metafizycznej nicości, czyli absolutnego braku czegokolwiek.

Model Hartle’go-Hawkinga odegrał jednak ważną rolę w filozoficznej refleksji nad kosmologią. Mimo całej swojej dyskusyjności, ukazał on bowiem, jak daleko mogą sięgać metody współczesnej fizyki teoretycznej. Potrafią one zbliżyć się — zdawałoby się, na jeden mały krok — do wielkich pytań metafizycznych związanych z „początkiem istnienia”. Wprawdzie dokładniejsza analiza pokazuje, iż jest to krok nad przepaścią metod i pojęciowych rozróżnień dzielących fizykę i metafizykę, ale samo zbliżenie się do tego rodzaju pytań ukazuje ich nieuchronność. I chodzi tu nie tylko o tradycyjne pytania metafizyczne; pojawiają się także pytania nowe, charakterystyczne dla poznania naukowego a niosące w sobie znaczny ładunek filozoficzny. Pytania te dotyczą granic metody naukowej i wyjaśnienia przesłanek, na których ta metoda się opiera. Fizyka pracuje w oparciu o prawa przyrody. Ale jaka jest ich natura i skąd się one biorą?

¹²McCabe przytacza jeszcze inny, bardziej techniczny, argument przeciwko interpretacji $K(\emptyset; S_2, \gamma_2, \phi_2)$ jako wyłaniania się z nicości. Jeżeli dwie rozmaitości S_1 i S_2 stanowią rozłączne części rozmaitości M , to mówimy, że istnieje pomiędzy nimi *kobordyzm*. Ale pomiędzy żadną rozmaitością a zbiorem pustym nie istnieje kobordyzm. A więc z \emptyset do (S_2, γ_2, ϕ_2) nie istnieje żadna kinematrycznie dowolna historia, nie można więc mówić o przejściu od \emptyset do (S_2, γ_2, ϕ_2) .

SUMMARY***QUANTUM CREATION OF THE UNIVERSE***

The paper discusses the idea of quantum creation of the universe. After a few remarks concerning inflationary models and Tryon's idea of the world's origin as a fluctuation in the preexisting vacuum, the Hartle-Hawking quantum creation model is presented. Its structure and assumptions are discussed, and interpretative difficulties related to the mechanism of "quantum creation" pointed out.