ROCZNIKI FILOZOFICZNE
Tom LX, numer 4 – 2012

JACEK GOLBIAK
MONIKA HEREĆ

TOPOLOGICZNE I METODOLOGICZNE ASPEKTY MODELI KOSMOLOGII KWANTOWEJ

I. WSTĘP

W fizyce XX wieku dokonały się dwie wielkie rewolucje naukowe: Ogólna Teoria Względności (OTW) i Mechanika Kwantowa. Predykcje obydwu teorii znalazły potwierdzenia empiryczne. Rozwojowi tych teorii towarzyszyło jednak wzajemne napięcie, wynikające z istotnych różnic zarówno na poziomie języka, formalizmu, jak i interpretacji. Mechanika Kwantowa opisuje procesy kwantowe w języku sztywnej przestrzeni Hilberta, podczas gdy OTW sprowadza oddziaływania grawitacyjne do Lorentzowskiej geometrii dynamicznej czasoprzestrzeni, formowanej przez procesy fizyczne. Fizyka bardzo wczesnych etapów ewolucji Wszechświata (epoka Plancka) wymaga połączenia Mechaniki Kwantowej i OTW w jedną Kwantową Teorię Grawitacji. Brak takiej teorii unifikującej wynika nie tylko ze wzmiankowanej odmienności teorii kwantów i grawitacji, ale ponadto z trudności kosmologii standardowej. Kwantowe modele kosmologiczne są pierwszym przybliżeniem Kwantowej Teorii Grawitacji, która aktualnie nie jest znana[1]. Tę część kosmologii, która zajmuje się badaniem początku Wszechświata jako procesu kwantowego, nazywa się kosmogenezą kwantową[2].

W literaturze przedmiotu wyeksponowana jest głównie kosmogeneza autorstwa Hawkinga i Hartle'a, oparta na funkcji falowej Wszechświata i formalizmie

Ks. dr JACEK GOLBIAK – Katedra Fizyki Teoretycznej na Wydziale Filozofii KUL; adres do korespondencji: Al. Racławickie 14, 20-950 Lublin; e-mail: jgolbiak@kul.lublin.pl

Dr MONIKA HEREĆ – Katedra Fizyki Teoretycznej na Wydziale Filozofii KUL; adres do korespondencji: Al. Racławickie 14, 20-950 Lublin; e-mail: herecm@kul.lublin.pl

[1] J. G o l b i a k, *Początek świata w kosmologii kwantowej*, niepublikowana rozprawa doktorska, 2007.

[2] E. H a r r i s o n, *Cosmology – the science of the Universe*, 2nd edition Cambridge 2000, s. 515.

całkowania po trajektoriach[3], oraz kosmogeneza Vilenkina, oparta na efekcie tunelowym[4]. Dominowała kosmologia Hawkinga, m.in. dlatego, że została dobrze spopularyzowana. W odróżnieniu od innych propozycji model Hawkinga i Hartle'a stał się podstawą treści natury filozoficznej i światopoglądowej[5]. Hawking twierdzi, że zbudował koncepcję Wszechświata samowystarczalnego, w którym został rozwiązany problem warunków początkowych i brzegowych, oraz że w jego koncepcji kosmogenezy ma się do czynienia z kosmogenezą *ex nihilo*.

Nasz artykuł przedstawia krytyczne uwagi pod adresem głównych modeli kosmologii kwantowej, głównie przez odwołanie się do pojęć topologicznych. Najpierw zaprezentowana zostanie krytyka autorstwa G. McCabe'a, który odwołuje się do topologicznego pojęcia kobordyzmu[6], a następnie argumentacja McCabe'a zostanie uzupełniona. Prezentację poglądów McCabe'a i dalsze analizy poprzedzi wprowadzenie pewnego formalizmu – szeregu definicji, uwag, twierdzeń i wniosków.

II. TOPOLOGICZNE POJĘCIE KOBORDYZMU

Niech Σ będzie 3-wymiarową przestrzenią Riemanna z zadanym na niej polem tensorowym h. Na Σ zadano również pola materialne φ, które opisują materię.

D e f i n i c j a 1

Przestrzenią konfiguracyjną OTW nazywa się zbiór wszystkich trójek $\{\Sigma_i, h_i, \varphi_i\}$, które składają się ze wszystkich Σ_i, na których określono metrykę h_i oraz pole φ_i; gdzie „*i*" jest indeksem numerującym trójki.

D e f i n i c j a 2

Propagatorem $K\left(\Sigma_i, h_i, \varphi_i; \Sigma_f, h_f, \varphi_f\right)$ nazywa się całkę

$$K\left(\Sigma_i, h_i, \varphi_i; \Sigma_f, h_f, \varphi_f\right) = \int \exp\left(\frac{iA}{\hbar}\right) d\mu,$$

gdzie A jest działaniem dla materii i grawitacji; $\exp\left(\frac{iA}{\hbar}\right)$ jest czynnikiem wa-

[3] J. H a r t l e, S. H a w k i n g, *Wave Function of the Universe*, „Physical Review" 1983, D 28, s. 2960-2975.

[4] A. V i l e n k i n, *Quantum Creation of Universes*, „Physical Review" 1984, D 30, s. 509-511.

[5] S. H a w k i n g, *A brief history of time*, New York 1988.

[6] G. M c C a b e, *The structure and interpretation of cosmology, Part I*, „Studies in History and Philosophy of Modern Physics" 35 (2004), s. 549-595; G. M c C a b e *The structure and interpretation of cosmology, Part II*, „Studies in History and Philosophy of Modern Physics" 36 (2005), s. 67-102.

żącym udział różnych trajektorii interpolujących pomiędzy początkową i końcową konfiguracją.

Niech P_L będzie zbiorem wszystkich 4-wymiarowych lorentzowskich czasoprzestrzeni (M) z metryką g, która zawężona do przestrzeni Σ_i i Σ_f wynosi odpowiednio h_i i h_f $g\big|_{\Sigma_i} = h_i$; $g\big|_{\Sigma_f} = h_f$. Zakłada się, że para (M,g) jest rozmaitością z brzegiem. Niech brzeg rozmaitości (M, g) składa się z rozłącznej sumy przestrzeni Σ_i i Σ_f. Wtedy pola fizyczne (tak jak metryka) są indukowane poprzez gładkie pola zadane na (M, g):

$\varphi\big|_{\Sigma_i} = \varphi_i$ oraz $\varphi\big|_{\Sigma_f} = \varphi_f$

Przestrzenie Σ_i i Σ_f będzie nazywać się odpowiednio początkową oraz finalną. O rozmaitości (M, g) będzie mówić się, że interpoluje pomiędzy stanem początkowym a finalnym[7].

D e f i n i c j a 3

Parę (Σ_1, Σ_2) n-wymiarowej rozmaitości będzie nazywać się kobordyczną, jeżeli przestrzenie Σ_1 i Σ_2 tworzą rozłączne składowe brzegu (n+1) – wymiarowej rozmaitości[8].

Można udowodnić twierdzenia:

— każda para zwartych, 3-wymiarowych rozmaitości riemannowskich (Σ_1, h_1) i (Σ_2, h_2) jest kobordyczna[9],

— każda para zwartych, riemannowskich 3-rozmaitości jest kobordyczna w sensie Lorentza[10].

W n i o s e k 1

Zawsze będzie istnieć zwarta, 4-wymiarowa rozmaitość Lorentza (M, g) z brzegiem ∂M, który jest rozłączną sumą Σ_1 i Σ_2, a metryka g indukuje odpowiednio metryki h_1 i h_2 na przestrzeniach Σ_1 i Σ_2.

[7] Przestrzenie Σ_i i Σ_f nie muszą być topologicznie równoważne (homeomorficzne). Stąd po drodze od Σ_i do Σ_f może nastąpić zmiana topologii Σ.

[8] Terminu „kobordyzm" używa się w topologii w dwu znaczeniach: na oznaczenie samych rozmaitości opisanych w definicji oraz jako nazwy relacji. Szerzej na temat kobordyzmu zob. J.W. M i l n o r, *Topologia z różniczkowego punktu widzenia*, Warszawa: PWN 1969.

[9] W.B.R. L i c k o r i s h, *Homeomorphisms of non – orientable two – manifolds*, „Proceedings of the Cambridge Philosophical Society" 59 (1963), s. 307-317.

[10] B.L. R e i n h a r t, *Cobordism and the Euler number*, „Topology" 2 (1963), s. 173-177.

Wniosek 2

Nawet kiedy rozmaitości (Σ_1, h_1) i (Σ_2, h_2) są zwartymi, 3-wymiarowymi rozmaitościami o różnych topologiach, będzie istnieć interpolująca je czasoprzestrzeń.

Każdej możliwej interpolującej czasoprzestrzeni, reprezentującej pewną historię w języku całek po trajektoriach, przyporządkowuje się liczbę zwaną działaniem. Jest to funkcjonał określony w zbiorze wszystkich 4-wymiarowych rozmaitości interpolujących pomiędzy $(\Sigma_i, h_i, \varphi_i)$ oraz $(\Sigma_f, h_f, \varphi_f)$. Tę przestrzeń będzie oznaczać się $P(\Sigma_i, h_i, \varphi_i; \Sigma_f, h_f, \varphi_f)$.

Wniosek 3

OTW wymaga, aby $(M, g) \in P$ spełniała Einsteinowskie równania pola. Zakłada się, że w kosmologii kwantowej rozmaitość (M, g) nie musi spełniać równań pola. Każda interpolująca historia musi być rozmaitością z brzegiem, składającym się z dwóch składowych Σ_i i Σ_f.

Definicja 4

Działanie dla grawitacji i pól materialnych jest zbudowane z trzech członów:

$$A = \frac{1}{16}\pi G \int_M R\sqrt{-g}\,d^4x + \frac{1}{8}\pi G \int_{\partial M} TrK\sqrt{h}\,d^3x + C + \int_M L_m \sqrt{-g}\,d^4x \ ,$$

gdzie R jest skalarem Ricciego, K jest krzywizną zewnętrzną, a L_m jest Lagranżjanem dla materii, a dokładnie gęstością tego Lagranżjanu, ponieważ $\sqrt{-g}d^4x$ jest elementem objętości na (M, g). Wobec tego działanie A jest odwzorowaniem zbioru czasoprzestrzeni lorentzowskich P_L w zbiór liczb rzeczywistych:

$A : P_L \to R^1$.

Odwzorowanie S jest funkcją nieograniczoną na przestrzeni możliwych historii P_L. W tym celu wprowadza się pewien czynnik ważący udział różnych historii.

Definicja 5

Wagą nazywa się odwzorowanie:

$$\exp\left(\frac{iA}{\hbar}\right) : P_L \to S^1 \subset C^1 ,$$

które jest już ograniczone.

Wniosek 4

$$\exp\left(\frac{iA}{\hbar}\right) = \cos\frac{A}{\hbar} + i\sin\frac{A}{\hbar}$$

jest funkcją ograniczoną. Waga jest liczbą w ogólności zespoloną, przyporządkowaną historii, która wyrażona jest całką funkcjonalną.

D e f i n i c j a 6

Propagatorem w kwantowej kosmologii nazywa się całkę po historiach P_L od stanu początkowego do stanu finalnego, zważonych przez wagę $\exp\left(\frac{iA}{\hbar}\right)$

$$K\left(\Sigma_i, h_i, \varphi_i; \Sigma_f, h_f, \varphi_f\right) = \int_{P_L} \exp\left(\frac{iA}{\hbar}\right) d\mu ,$$

gdzie $d\mu$ jest miarą w P_L.

McCabe utrzymuje, że Hawking, Hartle i Vilenkin, mówiąc o kreacji Wszechświata *ex nihilo*, mają na myśli powstanie Wszechświata, dla którego rozmaitość początkowa jest zbiorem pustym, czyli:

$\left(\Sigma_i, h_i, \varphi_i\right) = \emptyset$

Wówczas amplitudę prawdopodobieństwa przejścia ze stanu *ex nihilo* do finalnego stanu brzegowego $\left(\Sigma_f, h_f, \varphi_f\right)$ określa wyrażenie:

$$K\left(\emptyset; \Sigma_f, h_f, \varphi_f\right) = \int_{P_L} \exp\left(\frac{iA}{\hbar}\right) d\mu .$$

U w a g a 1

Istnieje wiele technicznych problemów z definicją propagatora poprzez Lorentzowską całkę po historiach. Po pierwsze, gdy do P_L włączy się niezwarte czasoprzestrzenie, działanie może być rozbieżne dla pewnych typów czasoprzestrzeni, ma to miejsce np. dla czasoprzestrzeni jednorodnych[11]. Niezwarte, jednorodne czasoprzestrzenie nie mając dobrze zdefiniowanego działania, nie mogą zostać zważone przez $\exp\left(\frac{iA}{\hbar}\right)$.

U w a g a 2

W ogólności P_L nie jest skończenie wymiarową przestrzenią i nie istnieje zadawalająca definicja miary na P_L. W konsekwencji całkowanie po $d\mu$ nie jest dobrze zdefiniowane. Trudność ta jest bardzo poważna. Chociaż waga $\exp\left(\frac{iA}{\hbar}\right)$

[11] Warto przy tym zauważyć, że w przypadku czasoprzestrzeni asymptotycznie płaskich i niezwartych działanie jest skończone.

jest ograniczona, to ma ona charakter oscylacyjny. Nawet zatem gdy całkuje się po skończenie wymiarowym, zwartym podzbiorze P_L, propagator może być nieskończony.

Jednym ze sposobów przezwyciężenia trudności z określeniem propagatora, jest Euklidesowe podejście do całki po trajektoriach. W tym przypadku propagator można zdefiniować za pomocą następującego wyrażenia:

$$K\left(\Sigma_i, h_i, \varphi_i; \Sigma_f, h_f, \varphi_f\right) = \int_{P_R} \exp\left(\frac{-A_E}{\hbar}\right) d\mu.$$

Porównując tę definicję propagatora z definicją poprzednią, zauważono dwie różnice. Po pierwsze, zbiór P_L został zastąpiony zbiorem $P_R\left(\Sigma_i, h_i, \varphi_i; \Sigma_f, h_f, \varphi_f\right)$. Jest to zbiór wszystkich zwartych riemannowskich 4-rozmaitości i historii pól materialnych, które interpolują odpowiednie stany. Po drugie, zmianie ulega znak w eksponencie definiującej wagę. Otrzymano zatem $\exp\left(\frac{-A_E}{\hbar}\right)$.

Uwzględniając powyższe ustalenia, Mc Cabe analizuje następujący propagator:

$$K\left(\emptyset; \Sigma_f, h_f, \varphi_f\right) = \int_{P_R} \exp\left(\frac{-A_E}{\hbar}\right) d\mu.$$

Należy jeszcze doprecyzować kontur całkowania. Amplitudę $K\left(\emptyset; \Sigma, h, \varphi\right)$ powinno się liczyć sumując po zwartych 4–geometriach (a więc nie wszystkich), które są punktami siodłowymi działania. Taka precyzacja konturu całkowania jest jednak arbitralnym wyborem podyktowanym kłopotami rachunkowymi. Zawęża klasę badanych modeli do najprostszych przypadków, zmniejszając tym samym stopień ogólności teorii, a tym samym generyczność rozwiązań.

Czy amplituda przejścia $K\left(\emptyset; \Sigma, h, \varphi\right)$ wyliczona przez powyższy propagator może być interpretowana jako amplituda kreacji Wszechświata *ex nihilo*? McCabe twierdzi, że jest to nieuprawnione. Podstawą strategii argumentacyjnej jest pogląd McCabe'a, zgodnie z którym stan początkowy Wszechświata jest reprezentowany przez zbiór pusty[12]. Główną tezę McCabe'a można sformułować

[12] J. Życiński wcześniej zwrócił uwagę na to, że wielu autorów interpretuje fizyczną *nothing* na sposób teoriomnogościowy jako zbiór pusty. Zob. J. Ż y c i ń s k i, *Methaphysics and Epistemology in Stephen Hawking's Theory of the Creation of the Universe*, „Zygon" 31 (1996), nr 2, s. 269-284. Ta interpretacja odnoszona jest głównie do pojęcia „nicości" w modelu Hawkinga-Hartle'a. Ponadto J. Życiński zwrócił w swoim artykule uwagę na to, że nicość fizyczna jest też interpretowana jako metafizyczna nicość. Wskazał na możliwość teistycznej interpretacji modelu Hawkinga-Hartle'a. Przy pewnych założeniach „nicość" posiada te same własności co filozoficznie pojęty Logos w tradycji neoplatońskiej czy hellenistycznej.

w następujący sposób: jeśli stan, z którego powstaje Wszechświat, zinterpretować jako zbiór pusty Ø, to nie da się zrealizować indywidualnego stanu $\left(\Sigma_f, h_f, \varphi_f\right)$ zarówno w przypadku czasoprzestrzeni lorentzowskiej, jak i riemannowskiej. Rozmaitości – pierwotna i finalna – muszą być kobordyczne ze sobą. Kobordyzm jest relacją równoważności pomiędzy rozmaitościami i stąd jest czymś niemożliwym, by dowolna rozmaitość była kobordyczna ze zbiorem pustym. Propagator $K\left(\emptyset;\Sigma,h,\varphi\right)$ nie może zatem być interpretowany jako amplituda kreacji konfiguracji $\left(\Sigma,h,\varphi\right)$ *ex nihilo* (albo ze zbioru pustego).

Z tego powodu stwierdzenie Hawkinga, że jego model przedstawia „Wszechświat bez brzegu", który wyłania się z nicości, jest niepoprawne. Jak pokazuje McCabe, całkowanie po czasoprzestrzennych konfiguracjach bez brzegu w przeszłości można by tylko interpretować jako prawdopodobieństwo emergencji konfiguracji $\left(\Sigma_f, h_f, \varphi_f\right)$ z czegokolwiek, a nie jako prawdopodobieństwo konfiguracji $\left(\Sigma_f, h_f, \varphi_f\right)$ powstałej z nicości. Brak brzegów w przeszłości jest informacją, że nie istnieją żadne restrykcje, z których finalna konfiguracja powstaje. Każda konfiguracja $\left(\Sigma_i, h_i, \varphi_i\right)$, będąca elementem zbioru $P_L\left(\Sigma_i, h_i, \varphi_i; \Sigma_f, h_f, \varphi_f\right)$, jest podzbiorem co najmniej jednej czasoprzestrzeni ze zbioru $P_L\left(\emptyset;\Sigma_f, h_f, \varphi_f\right)$. Każda czasoprzestrzeń należąca do $P_L\left(\Sigma_i, h_i, \varphi_i; \Sigma_f, h_f, \varphi_f\right)$, jest częścią co najmniej jednej czasoprzestrzeni, którą przedłużono w przeszłość poza konfigurację $\left(\Sigma_i, h_i, \varphi_i\right) \in P_L\left(\emptyset, \Sigma_f, h_f, \varphi_f\right)$. Innymi słowy, brak brzegu w przeszłości jest po prostu sygnałem absencji restrykcji na konfigurację początkową $\left(\Sigma_i, h_i, \varphi_i\right)$. Jest tak dlatego, że zbiór lorentzowskich czasoprzestrzennych elementów $P_L\left(\emptyset;\Sigma_f, h_f, \varphi_f\right)$ zawiera wszystkie możliwe przeszłe historie, które będą prowadziły do stanu finalnego $\left(\Sigma_f, h_f, \varphi_f\right)$, natomiast $P_L\left(\Sigma_i, h_i, \varphi_i; \Sigma_f, h_f, \varphi_f\right)$ zawiera wszystkie przeszłe historie, które zostały obcięte na początkowej konfiguracji $\left(\Sigma_i, h_i, \varphi_i\right)$. Konkludując, całkowanie po czasoprzestrzeni bez brzegu w przeszłości nie może być, zdaniem McCabe'a, interpretowane jako prawdopodobieństwo przejścia ze zbioru pustego do $\left(\Sigma_f, h_f, \varphi_f\right)$. Analogiczną sytuacja jest w przypadku Euklidesowym.

McCabe w krytyczny sposób odnosi się również do modelu Vilenkina, w którym mechanizmem odpowiedzialnym za kreację Wszechświata jest efekt tunelowy. Zgodnie z teorią prawdopodobieństwo przejścia między dwoma konfiguracjami jest całkowicie wyznaczone przez wszystkie dopuszczalne trajektorie (historie), które interpolują pomiędzy tymi stanami. Kwantowe tunelowanie występuje w nierelatywistycznej teorii kwantowej, gdy dwie przykładowe konfiguracje q_1 i q_2 mogą być interpolowane poprzez klasyczną historię. Jeśli nie istnieje taka, kinematycznie możliwa, historia, wówczas nawet w teorii kwantowej przejście między dwoma konfiguracjami nie jest możliwe, ponieważ

Wszechświat tuneluje do obszaru klasycznego. Na przykład, jeśli q_1 i q_2 są punktami należącymi do rozłącznych (wielospójnych) regionów przestrzeni, wówczas przejście między q_1 i q_2 staje się niemożliwe. McCabe konkluduje, że ponieważ nie istnieje Σ, która byłaby kobordyczna ze zbiorem pustym, nie istnieją kinematycznie dopuszczalne klasyczne ewolucje, które inetrpolują pomiędzy $\emptyset$ i (Σ, h, φ). Wobec tego nie jest możliwe kwantowe przejście między $\emptyset$ i (Σ, h, φ), a stąd tunelowanie między zbiorem pustym $\emptyset$ i (Σ, h, φ).

Argumenty McCabe'a wydają się porażające zarówno dla programu Hawkinga-Hartle'a jak programu Vilenkina. Argumenty te opierają się w zasadzie, po pierwsze, na obserwacji, że nie istnieje rozmaitość 3-wymiarowa kobordyczna ze zbiorem pustym, a po drugie – na stwierdzeniu, że przejście między stanami jest niemożliwe, gdy stany te (konfiguracje) będą należeć do rozłącznych zbiorów. Wtedy, nawet w przypadku kwantowym, jest niemożliwe tunelowanie ze zbioru pustego.

Jedna z możliwości odrzucenia argumentacji McCabe'a opiera się na odmiennej interpretacji początkowej konfiguracji. Niech konfiguracja zbudowana ze zbioru Σ, zadanej na niej metryki h i pól φ, będzie trójką uporządkowaną. Z teorii mnogości wiadomo, że pojęcie pary uporządkowanej można zdefiniować na gruncie pojęcia zbioru; przykładowo $\langle a, b\rangle = \{\{a\}, \{a, b\}\}$. Można to uczynić analogicznie dla trójki:

$\langle \Sigma, h, \varphi\rangle = \{\{\Sigma\}, \{\Sigma, h\}, \{\Sigma, h, \varphi\}\}$. Przyrównanie prawej stronę zbioru ostatniego wyrażenia do zbioru pustego $\emptyset$ oznacza, że Σ jest zbiorem pustym, ale także metryka h i pole φ są nieokreślone na Σ. Jeśli rozważy się mały obszar Σ, na którym zadany jest tensor metryczny i pole φ, wtedy wielkość $d\Sigma$ będzie zmierzać do zera tak, że punkt $P \in d\Sigma$ będzie należał ciągle do tego obszaru. Wówczas zamiast zbioru pustego otrzymuje się analog pojęcia punktu materialnego. Jakkolwiek punkt P nie posiada żadnej struktury geometrycznej i w tym jest podobny do zbioru pustego $\emptyset$, to w tym punkcie jest dobrze określone pole φ, co odróżnia go od zbioru pustego.

Wydaje się, że używane pojęcie *ex nihilo* w obu projektach badawczych lepiej oddaje trójka $\langle P, h, \varphi\rangle$, gdzie P oznacza coś, co jest nazywane *zero-point geometry*, tzn. punkt geometryczny, który przynależy do brzegu (0-wymiarowa podrozmaitość). Wydaje się, że pojęcie punktu obdarzonego polem lepiej oddaje syntaktycznie używane *ex nihilo*. Co więcej, unika się trudności wynikającej z faktu, że żadna rozmaitość nie jest kobordyczna ze zbiorem pustym. Można wyobrazić sobie stożek, którego ostrze jest zlokalizowane w początku R^3 o równaniu $0 \le z \le 1$, $x^2 + y^2 - z^2 = 0$. Dla tego stożka $x = y = z = 0$ oraz okrąg $x^2 + y^2 = 1$ stanowią rozłączne składowe jego brzegu. Stąd punkt i okrąg są kobordyczne, ponieważ tworzą rozłączny brzeg rozmaitości 3-wymiarowej.

McCabe jakby dostrzegał tę możliwość, którą komentuje jako *mythical "zero three geometry"*. Pojęcie punktu materialnego jest fizyczną abstrakcją pojęcia ciała o zaniedbywalnych rozmiarach. W przypadku kosmologii kwantowej $K(0,\Sigma,h,\varphi)$ określa amplitudę prawdopodobieństwa przejścia układu od stanu początkowego, reprezentującego obszar o punktowych rozmiarach, do finalnej konfiguracji (Σ,h,φ). Trudno dopatrzyć się w tej koncepcji *mythical geometry*. McCabe słusznie zauważa, że jakkolwiek Hawking i Hartle ograniczają się do zwartych, 3-wymiarowych rozmaitości brzegowych, można rozważać przestrzenie o różnych topologiach, mając przy tym świadomość, że pełna klasa wariantów topologicznych jeszcze nie jest zagadnieniem rozwiązanym.

Drugim poważnym błędem argumentacji McCabe'a jest stwierdzenie, że zbiór pusty nie jest przestrzenią topologiczną, co oczywiście nie jest prawdą[13]. W konsekwencji błędna jest również teza, że żadna przestrzeń konfiguracyjna nie może być kobordyczna ze zbiorem pustym. Jeżeli zatem przyjąć, że zbiór pusty jest matematyczną reprezentacją nicości, to należy zakwestionować strategię argumentacyjną McCabe'a, ponieważ da się ustalić relację równoważności między zbiorem pustym a pewną przestrzenią konfiguracyjną, reprezentującą czasoprzestrzeń z zadanym polem materii i metryką. Ponadto na gruncie topologii mówi się o wielu typach kobordyzmów, których omawianie wykracza jednak poza ramy tej pracy[14].

Krytyka dotycząca głównych programów kosmologii kwantowej przedstawiona przez McCabe'a jest w niektórych punktach słuszna. Zostanie ona uzupełniona innymi uwagami krytycznymi. Wiele z tych uwag zostało już sformułowanych przy okazji omawiania poglądów McCabe'a. Teraz zostaną one podsumowane.

---

[13] Niech dany będzie niepusty zbiór X. Rodzinę zbiorów τ zawartą w zbiorze potęgowym zbioru X nazywa się topologią na tym zbiorze, jeśli spełnia ona następujące aksjomaty:

- $X \in \tau, \varnothing \in \tau$
- *jeśli* $U, V \in \tau$ *to* $U \cap V \in \tau$
- *jeśli* $A \subseteq \tau$ *to* $\bigcup A \in \tau$

Parę (X,τ) nazywa się przestrzenią topologiczną. Z definicji zatem widać, że zbiór pusty należy do topologii.

[14] J. W ł o d a r c z y k, *Birational cobordisms and factorization of birational maps*, „Journal of Algebraic Geometry" 9 (2000), s. 425 – 449.

III. UWAGI KRYTYCZNE WOBEC MODELU HAWKINGA-HARTLE'A ORAZ MODELU VILENKINA

1. Wszystkie projekty kosmologii kwantowej ekstrapolują prawa mechaniki klasycznej z naszego otoczenia na cały Wszechświat – największy możliwy zbiór zdarzeń do najbardziej odległej przeszłości. Prawa fizyki, w tym mechaniki kwantowej, nie zależą od miejsca i czasu (w tym również czasu Plancka). To założenie umożliwia zbudowanie kosmologii kwantowej na wzór klasycznej mechaniki kwantowej. Trzeba mieć jednak świadomość, że tak dokonana ekstrapolacja nie musi być słuszna, chociaż jest skuteczna w tym sensie, że prowadzi do konkluzywnych wyników. Tak zbudowaną kosmologię można by nazwać przez analogię semiklasyczną kosmologią kwantową i traktować ją jako pierwszą aproksymację kosmologii opartej na kwantowej teorii grawitacji. Jest to jednak jedynie nasz „akt wiary". Wszystkie te projekty nie dotykają tego, na co wskazywałaby logika ewolucji pojęcia czasoprzestrzeni i zamiast pojęcie to wzbogacać, *de facto* unicestwiają – utożsamiając taką destrukcję z e*x nihilo*. *Ex nihilo* jest w gruncie rzeczy nazwą czegoś, co jest nieznane – jest nazwą koncepcji czasoprzestrzeni w epoce Plancka. Teoria grawitacji rozwijana przez Ashtekara, Bojowalda i Lewandowskiego[15], zwana pętlową teorią grawitacji, poddaje rewizji koncepcję czasoprzestrzeni jako gładkiej rozmaitości, co sytuuje ją w ciągu dotychczasowej ewolucji pojęcia czasoprzestrzeni. Projekty Hawkinga-Hartle'a i Vilenkina, zamiast iść głębiej w poszukiwaniu związków między grawitacją i teorią kwantową, zadawalają się powierzchowną analogią między układami semiklasycznymi a fikcyjną cząstką Wszechświata, spełniającą analogiczne równania. Równanie Wheelera-DeWitta jest *de facto* równaniem Schrödingera dla przestrzeni konfiguracyjnej, będącej superprzestrzenią. Wzór na amplitudę tunelowania jest analogiczny do klasycznego wzoru Gamowa, uzyskanego w zupełnie innym kontekście. Wszechświat nie jest cząstką, która ulega rozpraszaniu na szczelinach, i trudno sobie wyobrazić, w jaki sposób Wszechświat tunelował poza czasoprzestrzenią, która utraciła swój klasyczny sens. Vilenkin nie podaje żadnej alternatywy, zadowalając się stwierdzeniem, że taki efekt jest niesprzeczny z prawami fizyki. Myśląc o prawach fizyki myśli się głównie o zasadzie zachowania energii, chociaż pojęcie energii nie zostało zdefiniowane w OTW.

2. Oba projekty wykorzystują analogię z klasycznymi układami kwantowymi. W teorii Vilenkina jest to proces kreacji pary elektron–pozyton w obecności stałego pola elektrostatycznego. Zamiast pola elektrostatycznego występuje

[15] A. A s h t e k a r, M. B o j o w a l d, J. L e w a n d o w s k i, *Mathematical structure of loop quantum cosmology*, arxiv: gr-qc/0304074.

energia próżni. W projekcie Hawkinga-Hartle'a bazuje się na koncepcji kwantowania kanonicznego, po wcześniejszym zdefiniowaniu przestrzeni stanów układu (superprzestrzeni), oraz na regułach Diraca kwantowania układów z więzami. W koncepcji Hawkinga-Hartle'a od samego początku zakłada się rozkład na czas i przestrzeń w OTW, której istotą jest ścisły związek tych wielkości. Czyni się tak, aby uzyskać klasyczny hamiltonian, z którym dalej wiadomo jak postępować, aby go skwantować według reguł kwantowania semiklasycznego. Oba programy łączy jedna wspólna cecha, polegająca na tym, że używając w miarę najprostszych środków, zmierza się po „najkrótszej drodze" i w „najkrótszym czasie" do wyliczenia pewnych wielkości i uzyskania wyniku publikowanego w czasopiśmie naukowym.

Wydaje się, że fundamentalna natura Wszechświata jest kwantowa i klasyczny hamiltonian winien być odzyskany z tej teorii, a nie odwrotnie – wciśnięty do teorii kwantowej z rozważań klasycznych. Jest dużą naiwnością sądzić, że pojęcie klasycznej czasoprzestrzeni przeżyje w epoce Plancka, ale między jej unicestwieniem a klasycznym rozumieniem istnieje całe spektrum możliwości, które byłyby do wykorzystania. W tym nurcie lokuje się pętlowa kwantowa teoria grawitacji i oparta na niej pętlowa kosmologia. W jednej ze swych monografii Heller poddaje analizie logikę ewolucji pojęcia czasoprzestrzeni, w którą wpisuje się nawet koncepcja czasoprzestrzeni Arystotelesa (oczywiście po pewnej stylizacji)[16]. Duże zasługi w znalezieniu zunifikowanego języka opisu tej ewolucji (teoria wiązek włóknistych) położył Andrzej Trautman[17]. Wydaje się, że kwantowa teoria grawitacji powinna się wpisywać w ten schemat, ale należy znaleźć pewien uniwersalny język podobny do teorii wiązek, który uporządkuje teorie.

W stosunku do teorii Ashtekara, Bojowalda, Lewandowskiego (ABL) formułowane były w środowisku fizycznym pewne zarzuty braku konkretnych wyników. Sama próba zrozumienia natury problemów kwantowej grawitacji nie była dostatecznym argumentem, świadczącym na korzyść tych teorii. Społeczność domagała się wyników na miarę klasycznych programów Hawkinga-Hartle'a i Vilenkina. Wówczas Bojowald opublikował serię trzech kolejnych prac[18], w których wykazywał, że moc wyjaśniająca teorii jest co najmniej równa mocy wyjaśniającej klasycznych programów badawczych kosmologii kwantowej. Efek-

[16] M. H e l l e r, *Filozofia przyrody. Zarys historyczny*, Kraków: Znak 2004.

[17] A. T r a u t m a n, *Differential Geometry for Physicists*, Neapol: Bibliopolis 1984.

[18] M. B o j o w a l d, *Absence of a Singularity in Loop Quantum Cosmology*, „Physical Review Letters" 86 (2001), s. 5227-5230; t e n ż e, *Dynamical Initial Conditions in Quantum Cosmology*, „Physical Review Letters" 87 (2001), (121301); t e n ż e, *Inflation from Quantum Geometry*, „Physical Review Letters" 89 (2002), (261301).

tywność pętlowej kwantowej teorii grawitacji została pokazana na przykładzie zastosowań kosmologicznych. Bojowald dowiódł, że w jej ramach rozwiązany jest problem warunków początkowych i problem osobliwości, a model posiada wyjście na epokę inflacyjną. W społeczności naukowej powoli kształtowane jest przekonanie o przewadze kwantowej pętlowej teorii grawitacji nad klasycznymi programami. Języki klasycznych programów oraz pętlowej kwantowej teorii grawitacji (teorie węzłów) są niekompatybilne, ponieważ jakby atakowały problem z dwóch opozycyjnych stron. Pierwsza – zachowując pojęcia klasyczne, takie jak hamiltonian, ale redukując pojęcie czasoprzestrzeni, druga – uogólniając pojęcie czasoprzestrzeni i wyprowadzając z niej klasyczną ewolucję.

3. W budowie STW i OTW charakterystyczne było nadawanie wielkościom fizycznym sensu operacyjnego. Staranna analiza pomiaru tych wielkości, przeprowadzona przez Einsteina, poprzedzała formalizm matematyczny. Było to było charakterystyczne dla myślenia Einsteina, by dostrzegać fizyczną naturę problemu, zanim zostanie nadany mu sens matematyczny. Wszystkie bez wyjątku programy badawcze (włączając kosmologię pętlową) nie zawierają podobnych analiz, co jest niepokojące, ponieważ grozi dowolnością posługiwania się pojęciami, nieposiadającymi precyzyjnie określonego sensu operacyjnego. Rekompensatą za absencję wspomnianej procedury badawczej miałby być wzrost stopnia skomplikowania aparatu matematycznego oraz akcentowanie walorów estetycznych teorii. Teorie, im bardziej stają się wyrafinowane matematycznie, tym trudniej przez to dostrzec interesujące fizycznie wyniki. Coraz wyższe standardy estetyczne spełniane przez teorie nie rozstrzygają kwestii ich wartości poznawczych. Kolb twierdzi, że dla każdego problemu można znaleźć wysoce estetyczną teorię, ale po prostu nieprawdziwą[19]. Dopóki eksperyment jest naczelną instancją rozstrzygającą istnienie efektów fizycznych, powinniśmy zmierzać do związania teorii z obserwacją.

Vilenkin uważa, że zaletą jego modelu jest estetyczny charakter. Jego program daje model bez osobliwości typu Wielkiego Wybuchu i nie wymaga warunków początkowych czy brzegowych, a struktura i ewolucja Wszechświata jest zdeterminowana przez prawa fizyki. W podejściu tym odnajduje się wiele niejasności powodowanych przez brak odniesienia do empirii. Na przykład, czas tunelowania powinien być znaczącą częścią czasu hubblowskiego. Kłóci się to z myśleniem o zjawisku tunelowania Wszechświata poza czasem. Trudno sobie również wyobrazić, gdzie zlokalizowana jest bariera potencjalna. Fakt, że pewne parametry dopuszczają jej istnienie, podczas gdy inne wykluczają, uświadamia nam, że efekt

[19] E. K o l b, M. T u r n e r, *The early Universe*, Redwood City 1990.

tunelowania nie jest konieczny. Gdy natomiast parametry modelu są takie, że bariera ma miejsce, rodzi się pytanie: dlaczego parametry kosmologiczne są takie, a nie inne od samego początku? To nic innego jak pewne warunki wystąpienia bariery, które są warunkami początkowymi (prawami fizyki dla ewoluującego Wszechświata), chociaż nie ma się tu do czynienia z równaniem różniczkowym.

Wczesne próby opisu kosmogenezy w języku fluktuacji próżni (np. Tryon[20]) ujawniają braki operacyjnego sensu pojęcia próżni. Operacyjny sens próżni wymaga istnienia cząstek, co oznacza istnienie próżni w jakimś zewnętrznym świecie cząstek posiadających pewne struktury przestrzenne. Gdyby od początku modele kosmogenezy oparte na koncepcji fluktuacji próżni były poprzedzone staranną analizą ich sensu operacyjnego, to zauważono by nadużycia w formułowaniu tej koncepcji, jako koncepcji kosmogenezy *ex nihilo* poza czasem i przestrzenią.

4. Bazą podejścia Hawkinga-Hartle'a jest równanie Wheelera-DeWitta, które jest równaniem różniczkowym drugiego rzędu o pochodnych cząstkowych, stąd dla wyspecyfikowania rozwiązania spośród klasy dopuszczalnych rozwiązań trzeba zadać warunki początkowe na funkcję falową i jej pierwsze pochodne oraz warunki brzegowe. Gdy np. rozwiązuje się zagadnienie drgającej jednowymiarowej struny, przykładowo ze związanymi końcami, zadaje się warunki brzegowe na odchylenie od linii prostej łączącej dwa punkty umocowania struny oraz warunki początkowe na wielkość początkowego odchylenia. Dopiero po zadaniu tych warunków można wyspecyfikować konkretne rozwiązania. W przypadku równania Wheelera-DeWitta niewiadomą funkcją jest funkcja falowa dla Wszechświata, która powinna zawierać pełną informację o Wszechświecie. Warunki brzegowe są konieczne do wyspecyfikowania rozwiązań, stąd stwierdzenie często powtarzane przez Hawkinga: „*no-boundary boundary condition*" (istnienie brzegowego warunku „braku brzegu") na określenie zadawanych arbitralnie warunków brzegowych jest niepoprawne. Dodatkowo należy odróżnić warunki brzegowe dla funkcji falowej od warunków brzegowych decydujących o tym, po jakich 4-geometriach należy sumować (wybór konturu całkowania). Hawking ma na myśli warunki brzegowe nałożone na 4-geometrie w odpowiedniej sumie, a nie warunki brzegowe dla funkcji falowej. Można dodać, że w kontekście tego, iż zwarte rozmaitości mogą posiadać brzeg, a niezwarte rozmaitości nie muszą posiadać brzegu, stwierdzenie: „warunki brzegowe bez brzegu" posiada raczej propagandowe znaczenie, nieprzekazujące żadnej istotnej informacji. Oczywiście jest to błędne stwierdzenie. Dopóki równanie Wheelera-DeWitta traktuje się jako

[20] E.P. T r y o n, *Is the Universe vacuum fluctuation?*, „Nature" 246 (1973), (5433), s. 396-397.

prawo kosmologii kwantowej, trzeba mieć na uwadze, że nie sposób wyspecyfikować rozwiązania bez postulatu warunków brzegowych. Wzięcie tych warunków brzegowych z zewnątrz kłóci się z koncepcją funkcji falowej dla Wszechświata.

5. Obydwa programy badawcze charakteryzują się odwołaniem do niejasnego i nieposiadającego sensu operacyjnego pojęcia „nicość". Wydaje się czasami, że stosowanie tego pojęcia jest sugestywnym, celowym odwołaniem do nicości filozoficznej. Można by to uznać za swego rodzaju prowokację, która może być skuteczna w różnych obszarach sztuki dla wywołania pewnych efektów u odbiorcy, natomiast jest zjawiskiem rzadko stosowanym i mało skutecznym w nauce[21]. Jest pewne, że twórcy programów mają pełną świadomość, czym są warunki początkowe i warunki brzegowe dla modelowania praw naukowych opisywanych przez równania różniczkowe. Mają również świadomość, że jeśli te prawa mają dotyczyć Wszechświata, warunki początkowe i brzegowe nie mogą być zewnętrzne wobec teorii. Jeśli uzna się z kolei kosmologię kwantową za teorię ostateczną, to nie jest możliwe ich wyprowadzenie z bardziej fundamentalnej teorii. Autorzy projektu przyjęli na samym początku pewne założenia, że funkcja falowa dla Wszechświata zawiera pełną informację o jego stanie, a więc i o warunkach brzegowych i próbują zbudować teorię Wszechświata, w którym usunięty został konwencjonalny dualizm między prawami fizyki a warunkami początkowymi[22]. Ta próba okazała się chybiona. Pytanie, jak rozwiązać dualizm praw fizyki i warunków początkowych, pozostaje bez odpowiedzi, podobnie jak wiele innych pytań, na które odpowie dopiero kosmologia kwantowa oparta na kwantowej teorii grawitacji.

6. Interesująca uwaga odnośnie do interpretacji Hawkinga-Hartle'a funkcji falowej dla Wszechświata została poczyniona przez W. Dreesa[23]. Autor zauważa,

[21] Sal Restivo, badając problematykę relacji nauka–wiara, a w szczególności prawomocność porównywania wyników osiągniętych na drodze badania naukowego i poznania religijnego, wskazuje na kilka przyczyn błędów i nieporozumień związanych z tą materią. Wśród nich można wskazać na przyczynę, którą autor nazywa tzw. zwodniczą transpozycją terminów (*misleading transpositions of terms*). Słowa w zależności od używanych kontekstów zmieniają swoje znaczenia (*corruption of languages*). Podobieństwo między pewnymi rzeczami może więc być sztucznie wywołane na skutek dowolnego manipulowania znaczeniami. Jest grupa pojęć fizycznych, których stosowanie notorycznie grozi pomyłkami: energia, porządek, nicość, kreacja. Słowo „nicość" ma wiele znaczeń, co czyni je szczególnie podatnym na manipulacje w celu osiągania doraźnych wyników. Zob. S. R e s t i v o, *The Social Relations of Physics, Mysticism and Mathematics*, Dordrecht 1984.

[22] J. B a r r o w, *Początek Wszechświata*, Warszawa: CIS 1995.

[23] W.B. D r e e s, *Interpreting of the Wave function of the Universe*, „International Journal of Theoretical Physics" 26 (1987), No 10, s. 939-942.

że zanim funkcję falową zinterpretuje się jako amplitudę prawdopodobieństwa, musi przeprowadzić się jej normalizację. Przykładowo, mając do czynienia z pojedynczą cząstką, funkcja falowa jest normalizowana przez żądanie, by całka z prawdopodobieństwa po całej przestrzeni była znormalizowana do jedynki (w dowolnej chwili czasu), ponieważ cząstka musi się gdzieś znajdować. W kwantowej teorii pola funkcja falowa pozwala wyznaczyć amplitudę prawdopodobieństwa różnych konfiguracji pól w pewnej chwili czasu. W przypadku funkcji falowej dla Wszechświata nie istnieją pola, a normalizacja polega na całkowaniu po możliwych 3-geometriach. Chociaż warunki normalizacji funkcji falowej są zapewnione, to funkcja falowa nie określa amplitudy prawdopodobieństwa powstania świata z niczego, lecz amplitudę prawdopodobieństwa otrzymania pewnej metryki Wszechświata zadanej na pewnej 3-geometrii. Drees podkreśla, z czym trudno się nie zgodzić, że matematyczne prawdopodobieństwo jest zawsze definiowane w relacji do zbioru możliwych realizacji. Na przykład prawdopodobieństwo wyrzucenia orła czy reszki w rzucie monetą jest $^1/_2$ tylko wtedy, gdy jedna z możliwości jest realizowana. Normalizacja jest zawsze przeprowadzona po zbiorze możliwych realizacji. Matematyczne prawdopodobieństwo otrzymania Wszechświata z niczego nie daje nam prawdopodobieństwa realizacji realnego Wszechświata, lecz tylko modelu fizycznego Wszechświata[24]. Drees zauważa, że wszystkie inne koncepcje, reklamujące się jako modele kreacji Wszechświata, startują z pewnej przestrzeni Minkowskiego albo de Sittera czy też z kwantowej fluktuacji pól fizycznych, włączając pole grawitacyjne. Jeśli rozpatrują przejście z takiego Wszechświata do naszego, pojawi się przy tym problem, w jaki sposób powstał wyjściowy Wszechświat. Drees uważa, że program Hawkinga-Hartle'a zmierza do wyjaśnienia struktury Wszechświata bez zakładania warunków początkowych i bez załamania praw fizyki w osobliwości. Tym niemniej nie jest to odpowiedź na pytanie, jak prawdopodobne jest jego powstanie z niczego? Pytanie pozostaje dalej pytaniem filozoficznym, ponieważ matematyczne prawdopodobieństwa potrzebują rzeczywistości, a fizyczne prawdopodobieństwa wymagają określenia miar na przestrzeni stanów. Problem ten dostrzegają Zeldovich i Starobinski, pisząc: „Nie jest właściwie jasne w tej

[24] Komentarzem do przedstawionej analizy są następujące dwie wypowiedzi Dressa: „musi być pewien wkład ze strony realności fizycznej. Być może wkład ten pochodzi od '*nicości*', ale tylko w sytuacji, gdy jest ona wielkością fizyczną, a nie nicością w ogóle" oraz „[…] wiele artykułów, w tym artykuł Hawkinga i Hartle'a, poświęconych 'kreacji Wszechświata z nicości' przyznaje, że taka struktura jak 'zerowa trój-geometria', tj. pojedynczy punkt, nie jest nicością" (tamże). Zob. również J. Ambjorn, R. Janik, W. Westra, S. Zohren, (2006), *The emergence of background geometry from quantum fluctuactions*, arXiv: gr-qc/0607013.

chwili, co znaczy ‘prawdopodobieństwo narodzin zamkniętego świata’ oraz jak to prawdopodobieństwo ma być znormalizowane”[25]. Drees konkluduje: „Istnieje fundamentalna trudność – prawdopodobieństwa w kwantowej teorii osłabiają pojęcie nicości; tak naprawdę ‘*nicość*’ nie jest otwarta na obliczanie prawdopodobieństw”. Dla wyliczenia prawdopodobieństwa jest zakładana pewna struktura i to, co Hawking i Hartle nazywają „nicością”, nie ma nic wspólnego z rzeczywistą „nicością”. Sam J. Hartle, z perspektywy swych późniejszych analiz, wskazał na trudności na jakie napotyka koncepcja „bezbrzegowej funkcji falowej dla Wszechświata”. Trudności te są spowodowane ograniczeniami naszej wiedzy, które ujawnia kosmologia kwantowa. Hartle zauważa trzy typy ograniczeń wiedzy naukowej w kontekście rozważań kosmologii kwantowej. Pierwsze z ograniczeń wynika z faktu, że istnieje zaledwie kilka predykcji prawdopodobieństw, które są prawdopodobieństwami warunkowymi na proste teorie dynamiki Wszechświata i jego warunki początkowe. Ten typ ograniczeń na wiedzę naukową jest konsekwencją tego, że nawet proste teorie wymagają obliczeń, których nie potrafi się przeprowadzić. Drugi typ ograniczeń to limity implementacji, takie jak możliwości obliczeniowe naszych komputerów, a ściślej – brak metod obliczania pewnych wielkości. Trzeci rodzaj ograniczeń teorii jest związany z możliwościami testowania modeli teoretycznych, weryfikacji efektów fizycznych, które w obecnej epoce są słabe. Hartle zauważa, że propozycja bezbrzegowej funkcji falowej jest w technicznym sensie „nieobliczalną”. Chodzi o to, że amplitudę stanu podstawowego można zapisać jako całkę funkcjonalną. Problem jednak w tym, że dla uzyskania wyniku konieczne jest jej obliczenie, co jest już sprawą bardzo trudną i poza kilkoma znanymi przypadkami nie da się jej wykonać[26].

7. Stephen Hawking kontynuował rozważania dotyczące modelu Hawkinga – Hartla we współpracy z L. Mlodinovem, co zaowocowało dwiema publikacjami.[27] Lektura tych publikacji rodzi pewne zastrzeżenia natury filozoficznej, zwłaszcza z obszaru metodologii nauk przyrodniczych[28].

Ks. Grygiel pisze: „Hawking i Mlodinov twierdzą, że teorie fizyczne nie korespondują z jakąkolwiek strukturą obiektywnej rzeczywistości (realizm nauko-

[25] Y.B. Z e l d o v i c h, A.A. S t a r o b i n s k i, *Quantum creation of the Universe with nontrivial topology*, „Soviet Astronomy Letters” 10 (1984), s. 135-137.

[26] J.B. H a r t l e, *Scientific Knowledge from the Perspective of Quantum Cosmology*, [w]: red. J.L. C a s t i, A. K a r l q v i s t (red.), *Boundaries and Barriers: On the Limits to Scientific Knowledge*, Reading, MA: Addison-Wesley 1996.

[27] S.W. H a w k i n g, L. M l o d i n o v, *Jeszcze krótsza historia czasu*, Poznań 2007; c i ż, *The Ground Design*, London–Toronto–Sydney–Auckland–Johannesburg 2010

[28] Treść tego punktu rozważań została opracowana na podstawie artykułu ks. prof. Wojciecha Grygiela „*Wspaniały Projekt*” *– Boga czy człowieka?*, „Urania”, 2011, nr 3, tom 82, s. 100-105.

wy), ale są jedynie myślnymi modelami – użytecznymi fikcjami, które pozwalają organizować i przewidywać wyniki pomiarów. Dla umysłu fizyka nie jest dostępna obiektywna rzeczywistość, lecz jedynie jej mentalna reprezentacja"[29]. Prawo przyrody stanowi zatem jedynie element aparatu teoretycznego, który okazał się skutecznym w opisie pewnej klasy zjawisk. Wobec tego dziwne wydaje się sformułowanie autorów: „Wszechświat jest pojmowalny ponieważ jest rządzony prawami nauki, to znaczy jego zachowanie może być modelowane"[30]. Autorzy popadają w sprzeczność, ponieważ „jeśli prawa są jedynie domeną struktury teorii, a rzeczywistość fizyczna jest niedostępna, to nie istnieje żadna możliwość wnioskowania, co do własności tej rzeczywistości, a w szczególności rządzących nią praw"[31]. Ponadto pytanie o pochodzenie praw przyrody nie ma sensu. Jeśli są one jedynie domeną ludzkiego umysłu, to ich początkiem może być jedynie człowiek i jego umysł. „Nie można więc mówić o racjonalności Wszechświata, zawartej w jego prawach, które fizyk odkrywa, ale raczej o apriorycznej racjonalności jego umysłu. *Wspaniały projekt* jawi się więc bardziej jako produkt ludzkiej myśli niż stwórcze dzieło samego Boga"[32].

Błędem metodologicznym jest również zamienne i arbitralne rozumienie praw przyrody, raz jako obiektywna własność świata przyrody, a innym razem jako elementy struktury pewnej teorii, modelujące pewne, wąskie klasy zjawisk.

Hawking i Hartle powołują się na alternatywne wobec równania Schrödingera sformułowanie mechaniki kwantowej przy użyciu metody całek po trajektoriach. Formalizm ten, zdaniem autorów, pozwala zerwać z klasycznym założeniem, według którego Wszechświat ma tylko jedną historię. „Kwantowy charakter Wielkiego Wybuchu implikuje szereg możliwych historii Wszechświata. W momencie Wielkiego Wybuchu Wszechświat pojawił się spontanicznie jako kombinacja wszystkich możliwości, rozgałęziając się później na wszechświaty, rządzone odmiennymi prawami fizyki. Jest to niewątpliwie odwołanie się do cieszącej dziś wśród fizyków popularnością idei wieloświata (*multiverse*). W klasycznie uprawianej kosmologii, gdzie istnieje jednoznaczna historia Wszechświata obliczenia prowadzi się metodą *bottom-up*, wychodząc od stanu wcześniejszego i obliczając parametry stanu późniejszego. Hawking sugeruje jednak, że w momencie, gdy przyjmie się opis Wszechświata przy pomocy feynmanowskich trajektorii: «amplituda prawdopodobieństwa znalezienia Wszechświata w danym stanie jest liczona jako wypadkowa udziału wszystkich możliwych historii,

[29] Tamże, s. 105.
[30] H a w k i n g, M l o d i n o v, *The Ground Design*, s. 87.
[31] G r y g i e l, *„Wspaniały Projekt" – Boga czy człowieka?*, s. 105.
[32] Tamże.

spełniających warunek braku brzegu i kończących się w danym punkcie»[33]. Różnym aktualnym stanom wszechświata będą więc odpowiadać różne kombinacje współtworzących historii, co prowadzi do konkluzji, że historie Wszechświata zależą od obserwacji"[34]. Hawking i Mlodinov konstatują: „to my tworzymy historię poprzez naszą obserwację, a nie historia tworzy nas"[35]. Taka metodologia w kosmologii nosi nazwę *top-down cosmology*. Zgodnie z tą metodologią nie ma potrzeby poszukiwań porządku poza Wszechświatem, ponieważ w obrębie olbrzymiej liczby potencjalnych historii Wszechświata ludzki akt obserwacji wybiera taką, która prowadzi do zaistnienia człowieka na ziemi wraz z jego ewolucją aparatu poznawczego. Nadal jednak zostaje nierozstrzygnięte pytanie, skąd się wziął *multiverse* i dzięki czemu jest on taki, jaki jest. Trudno zgodzić się także z tym, by formalizm matematyczny, choć być może sam w sobie użyteczny, urósł do roli bycia matrycą, pierwowzorem powstającego Wszechświata. Idea wieloświata pozwala Hawkingowi ocalić materialistyczną wizję świata, w którym nie ma miejsca na racjonalność poza światem (samostworzenie Wszechświata). Koncepcja *multiverse* jest jednak za dużą ceną za uratowanie materializmu, co mogą ilustrować słowa Andrzeja Staruszkiewicza: „Ja sam uważam, że w koncepcji multiverse mamy do czynienia z czymś w rodzaju zakładu Pascala: jeżeli jest prawdziwa, to jest całkowicie bezużyteczna, jeśli jest jednak fałszywa, to jej szkodliwość jest wprost nieskończona."[36]

Wobec popełnionych błędów natury metodologicznej tym bardziej mogą dziwić słowa Hawkinga i Mlodinova zwiastujące „koniec filozofii": „filozofia nie dotrzymała kroku współczesnej nauce, a w szczególności fizyce"[37].

Na zakończenie należy wskazać na, interesujący z punktu widzenia filozoficznego, wątek dotyczący wszystkich kwantowych modeli kosmologicznych postulujących kreację wszechświata *ex nihilo*. Zakładają one milcząco uprzednią obecność samych praw przyrody, które pozwolą na proces kwantowej kreacji. W przypadku modelu Hawkinga-Hartle'a matematycznym sformułowaniem prawa, według którego zachodzi kreacja Wszechświata, jest formalizm całek po trajektoriach oraz równanie Wheelera-De Witta, natomiast w przypadku modelu Vilenkina formuła na tunelowanie przez barierę potencjału. Traktowanie uprzed-

[33] H a w k i n g, M l o d i n o v, *The Ground Design*, s. 139.

[34] G r y g i e l, *„Wspaniały Projekt" – Boga czy człowieka?*, s. 103.

[35] H a w k i n g, M l o d i n o v, *The Ground Design*, s. 140.

[36] A. S t a r u s z k i e w i c z, *Koncepcja multiverse zamachem na tradycyjne pojmowanie praw przyrody*, [w:] M. H e l l e r, J. M ą c z k a, P. P o l a k, M. S z c z e r b i ń s k a - P o l a k, *Prawa Przyrody*, Kraków–Tarnów: OBI 2008, s. 13-19.

[37] H a w k i n g, M l o d i n o v, *The Ground Design*, s. 5.

niej obecności praw przyrody jako „nagiego faktu", który nie domaga się żadnego wyjaśnienia, jest już mocną tezą o charakterze ontologicznym.

IV. ZAKOŃCZENIE

Celem artykułu było sformułowanie uwag krytycznych pod adresem głównych programów kosmogenezy kwantowej. Polemika z kosmologią Hawkinga-Hartle'a prowadzona była w kontekście analiz G. McCabe'a, który posługując się topologicznym pojęciem kobordyzmu, odczytał model Hawkinga jako opis powstania Wszechświata ze zbioru pustego. Przypuszczalnie nie jest to właściwa interpretacja wyników Hawkinga. Wydaje się, że koncepcja punktu obdarzonego „polem skalarnym" bardziej oddaje koncepcję wyboru warunków brzegowych dla Wszechświata w formie zwartej przestrzeni (3-geometrii) bez brzegu.

Krytycznie odniesiono się również do drugiego programu głównego nurtu kosmologii kwantowej – modelu Vilenkina. Koncepcja Vilenkina bazuje na ścisłej analogii z cząstką w studni potencjału. Wszechświat nie jest jednak cząstką, ponieważ cząstka propaguje się w zewnętrznej wobec siebie przestrzeni, natomiast Wszechświat jest wszystkim, co istnieje. Oczywiście równania opisujące jego ewolucję sprowadzają się do równań Newtona dla cząstki w polu potencjalnym. Fakt jednak, że równania ewolucji takiego Wszechświata redukują się do równań ruchu dla cząstki, absolutnie nie oznacza, że ten Wszechświat jest cząstką. W fizyce jest znanych wiele procesów, często z odległych obszarów, które opisywane są tymi samymi równaniami, np. zjawisko ruchów Browna może opisywać ruch zawiesiny w cieczy, ale także ruch gwiazdy w galaktyce. W obu przypadkach równania są identyczne, ale przecież gwiazda zawiesiną nie jest.

Pomimo wielu uwag krytycznych pod adresem modeli kosmogenezy kwantowej należy podkreślić, że są one próbą naukowego wniknięcia w nieznane obecnie fizyce bogactwo pierwszych chwil istnienia świata. „Postawiliśmy dopiero pierwszy krok, dalsze kroki z pewnością po nim nastąpią. Ważne jest jednak to, że ośmieliliśmy się w fizyce postawić pytania, które wyglądają jak pytania ostateczne: skąd się wziął czas?, skąd się wziął świat? – pytania, które były uważane za raz na zawsze wygnane z obszaru fizyki. Ale ludzki instynkt rozumienia okazał się silniejszy niż metodologiczne zakazy"[38]. Kosmologia standardowa (oparta na OTW) daje poprawny opis niemal całej, trwającej miliardy lat, ewolucji Wszechświata. Nie wyjaśnia poprawnie jedynie bardzo wczesnych etapów

[38] M. H e l l e r, *Kwantowa kosmologia i ostateczne rozumienie Wszechświata*, „Problemy", 1989, nr 2, s. 7.

tej ewolucji. Z tej perspektywy skok od miliardową część sekundy do chwili zero wydaje się zaniedbywalnym szczegółem. Tymczasem zawiera on bogactwo, którego dziś dostrzega się zaledwie pierwsze zarysy. „W tych najodleglejszych epokach pojęcia przestrzeni, czasu przestają mieć sens, podobnie jak pojęcia barwy czy twardości przestają mieć sens na poziomie atomów. Można więc mówić o początku Wszechświata, ale pamiętać należy, że wyraz ten ma znaczenie o wiele bogatsze niż to, do którego przywykliśmy”[39].

BIBLIOGRAFIA

[1] Harrison E., (2000), Cosmology – the science of the Universe, 2nd edition, Cambridge.
[2] Hartle J., Hawking S., (1983), Wave Function of the Universe, „Physical Review” D 28, s. 2960-2975.
[3] Vilenkin A., (1984), Quantum Creation of Uniwerses, „Physical Review” D 30, s. 509-511.
[4] Hawking S., (1988), A brief history of time, New York.
[5] Hawking S., Mlodinov L., (2007), Jeszcze krótsza historia czasu, Poznań.
[6] McCabe G., (2004), The structure and interpretation of cosmology, Part I, „Studies in History and Philosophy of Modern Physics”, 35, s. 549-595.
[7] McCabe G., (2005), The structure and interpretation of cosmology, Part II, „Studies in History and Philosophy of Modern Physics” 36, s. 67-102.
[8] Milnor J. W., (1969), Topologia z różniczkowego punktu widzenia, Warszawa: PWN.
[9] Lickorish W.B.R., (1963), Homeomorphisms of non-orientable two-manifolds, „Proceedings of the Cambridge Philosophical Society”, vol. 59, s. 307-317.
[10] Reinhart B.L., (1963), Cobordism and the Euler number, „Topolgy” 2, s. 173-177.
[11] Włodarczyk J., (2000), Birational cobordisms and factorization of birational maps, „Journal of Algebraic Geometry”, 9, s. 425-449.
[12] Życiński J., (1996), Methaphysics and Epistemology in Stephen Hawking’s Theory of the Creation of the Universe, „Zygon”, vol. 31, nr 2, s. 269-284.
[13] Ashtekar A., Bojowald M., Lewandowski J., (2003), Mathematical structure of loop quantum cosmology, arxiv: gr-qc/0304074.
[14] Heller M., (2004), Filozofia przyrody. Zarys historyczny, Kraków: Znak.
[15] Trautman A., (1984), Differential Geometry for Physicists, Neapol: Bibliopolis.
[16] Bojowald M., (2001), Absence of a Singularity in Loop Quantum Cosmology, „Physical Review Letters” vol. 86, s. 5227-5230.
[17] Bojowald M., (2001), Dynamical Initial Conditions in Quantum Cosmology, „Physical Review Letters”, vol. 87 (121301).
[18] Bojowald M., (2002), Inflation from Quantum Geometry, „Physical Review Letters”, vol. 89 (261301).
[19] Kolb E., (1990), Turner M., The early Universe, Redwood City.
[20] Tryon E.P., (1973), Is the Universe vacuum fluctuation?, „Nature”, 246 (5433), s. 396-397.
[21] Restivo S., (1984) The Social Relations of Physics, Mysticism and Mathematics, Dordrecht.

[39] G. Wrochna, *Agnostycyzm a metoda naukowa*, [w:] *Questiones ad disputandum* 6 (*Między wiarą i niewiarą. Oblicza agnostycyzmu*), red. B. Wójcik, Tarnów: Biblos 2005, s. 17-44.

[22] B a r r o w J., (1995), Początek Wszechświata, Warszawa: CIS.
[23] D r e e s W.B., (1987), Interpreting of the Wave function of the Universe, „International Journal of Theoretical Physics", vol. 26 nr 10, s. 939-942.
[24] A m b j o r n J., J a n i k R., W e s t r a W., Z o h r e n S., (2006), The emergrnce of background geometry from quantum fluctuactions, arXiv: gr-qc/0607013.
[25] Z e l d o v i c h Y. B., S t a r o b i n s k i A. A., (1984), Quantum creation of the Universe with nontrivial topology, „Soviet Astronomy Letters" vol. 10, s. 135-137.
[26] G r y g i e l W., (2011), „Wspaniały Projekt" – Boga czy człowieka?, „Urania", nr 3, tom 82, s. 100-105.
[27] S t a r u s z k i e w i c z A., (2008), Koncepcja multiverse zamachem na tradycyjne pojmowanie praw przyrody, [w:] M. H e l l e r, J. M ą c z k a, P. P o l a k, M. S z c z e r b i ń s k a - P o l a k, Prawa Przyrody, Kraków–Tarnów, s. 13-19.
[28] H a r t l e J.B., (1996), Scientific Knowledge from the Perspective of Quantum Cosmology, [w]: J.L. C a s t i, A. K a r l q v i s t (red.), Boundaries and Barriers: On the Limits to Scientific Knowledge, Reading, MA: Addison-Wesley.
[29] H e l l e r M., (1989), Kwantowa kosmologia i ostateczne rozumienie Wszechświata, „Problemy", nr 2, s. 7.
[30] W r o c h n a G., (2005), Agnostycyzm a metoda naukowa, [w:] B. W ó j c i k (red.), Quaestiones ad disputandum 6 (Między wiarą i niewiarą. Oblicza agnostycyzmu), Tarnów: Biblos, s. 17-44.

SOME OF TOPOLOGICAL AND METHODOLOGICAL ASPECTS OF QUANTUM COSMOLOGY MODELS

S u m m a r y

In this paper we address some critical remarks to two leading models quantum cosmology – Hawking-Hartle model and Vilenkin model. Both models appeal to different mathematical frameworks to reconstract of first moments of Universe ewolution. The first one presents wave function of the Universe using Feynman's formalism of quantum mechanics — path integrals. The other one shows the beginnig of the Universe as quantum tunneling process. The authors of above mentioned approaches to quantum cosmology claims, that these mechanisms describe creation of the Universe *ex nihilo*. The main aim of tis paper is to show a weakness of such interpretations. Firstly, Gordon McCabe's criticism is presented. His analyses are based on topological concept of cobordism. In the second step, we show that the concept of ex nihilo should be rather understood as "zero-point-geometry" with a material field.

Summarised by Authors

Słowa kluczowe: kosmologia kwantowa, kobordyzm.

Key words: quantum cosmology, cobordism.

Information about Authors:

Rev. JACEK GOLBIAK, Ph.D. — Department of Theoretical Physics at the John Paul II Catholic University of Lublin; address for correspondence: Al. Racławickie 14, PL 20-950 Lublin; e-mail: jgolbiak@kul.lublin.pl

MONIKA HEREĆ, Ph.D. — Department of Theoretical Physics at the John Paul II Catholic University of Lublin; address for correspondence: Al. Racławickie 14, PL 20-950 Lublin; e-mail: herecm@kul.lublin.pl