

Jak narodził się czas: Kwantowe pętle opisują ewolucję Wszechświata

2010-12-16



Prof. Jerzy Lewandowski przy obrazie Picassa „Kuchnia” (1948) w Museum of Modern Art na Manhattanie. Linie na obrazie przypominają grafy opisujące ewolucję stanów kwantowych pola grawitacyjnego w pętlowej grawitacji kwantowej. (Źródło: Elżbieta Perlińska-Lewandowska)

Na łamach czasopisma *Physical Review D* fizycy z Uniwersytetu Warszawskiego przedstawili nowy model teoretyczny kwantowej grawitacji, opisujący wyłanianie się czasoprzestrzeni ze struktur istniejących przed Wielkim Wybuchem. Jako jeden z nielicznych, model opisuje pełną teorię względności Einsteina, jest też całkowicie spójny matematycznie. „Zastosowane rozwiązania pozwalają nam śledzić ewolucję Wszechświata w sposób znacznie poprawniejszy fizycznie niż w dotychczasowych modelach kosmologicznych” – mówi prof. dr hab. Jerzy Lewandowski z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (FUW).

Do odwzorowania Wszechświata w skali kosmologicznej używa się ogólnej teorii względności, a do opisu rzeczywistości atomowej – mechaniki kwantowej. Obie teorie powstały na początku XX wieku. Od tego czasu ich skuteczność została potwierdzona w najbardziej wyrafinowanych eksperymentach i obserwacjach. Problem w tym, że teorie te są wzajemnie sprzeczne.

W ogólnej teorii względności rzeczywistość jest zawsze jednoznacznie określona (jak w mechanice klasycznej), a czas i przestrzeń biorą czynny udział w wydarzeniach i same podlegają równaniom Einsteina. Fizyka kwantowa mówi natomiast, że przyrodę możemy poznać tylko w przybliżeniu, a każdy pomiar jest obciążony jakimś prawdopodobieństwem i jakąś dokładnością. Co więcej, powszechnie używane teorie kwantowe nie obejmują swoimi prawami czasu i przestrzeni. Sprzeczności te nie są istotne w typowych warunkach: galaktyki nie podlegają zjawiskom kwantowym, grawitacja odgrywa

niewielką rolę w świecie atomów i cząsteczek. Jednak w chwilach bliskich Wielkiemu Wybuchowi grawitacja i efekty kwantowe muszą działać jednocześnie.

Tradycyjne modele kosmologiczne opisują ewolucję Wszechświata w ramach samej ogólnej teorii względności. Jej równania sugerują, że Wszechświat jest tworem dynamicznym: ciągle się rozszerza. Gdy teoretycy chcą sprawdzić, jak Wszechświat wyglądał w przeszłości, dochodzą do momentu, gdy gęstość i temperatura w modelu stają się nieskończone – czyli tracą sens fizyczny. Nieskończoności mogą więc jedynie informować o słabości dotychczasowej teorii, zaś moment Wielkiego Wybuchu nie musi oznaczać narodzin Wszechświata.

Aby zdobyć choć część informacji o kwantowej grawitacji, naukowcy konstruują uproszczone modele kwantowe, tzw. kosmologiczne, w których stan całej czasoprzestrzeni i materii jest opisany zaledwie jedną lub kilkoma liczbami. Najbardziej znany model tego rodzaju, opracowany przez fizyków Ashtekara, Bojowalda, Lewandowskiego, Pawłowskiego i Singha, przewiduje, że przed Wielkim Wybuchem istniał wszechświat, który się kurczył. Gdy gęstość materii osiągnęła pewną krytyczną wielkość, nastąpiło gwałtowne rozszerzanie – Wielki Wybuch, który wówczas jest określany jako Wielkie Odbicie. Model ten ma jednak tylko charakter zabawkowy (tzw. toy model).

Prawdziwe rozwiązanie zagadki Wielkiego Wybuchu tkwi w jednolitej kwantowej teorii materii i grawitacji. Jedną z prób jej zbudowania jest pętlowa grawitacja kwantowa (Loop Quantum Gravity, LQG). Zakłada ona, że przestrzeń jest utkana z jednowymiarowych nitek. „To trochę jak z tkaniną: z daleka wydaje się gładka, z bliska widać, że tworzy ją siatka włókien” – opisuje mgr Wojciech Kamiński z FUW. Taka przestrzeń byłaby niezwykle gęstą tkaniną: przez pole o powierzchni jednego centymetra kwadratowego przechodziłyby miliardy trylionów trylionów trylionów linii.

Fizycy Marcin Domagała, Wojciech Kamiński i Jerzy Lewandowski oraz gościnnie Kristina Giesel z University of Louisiana zbudowali swój model w ramach pętlowej grawitacji kwantowej. Punktem wyjścia w modelu są dwa pola, z których jedno to pole grawitacyjne. „Dzięki ogólnej teorii względności wiemy, że grawitacja to to samo co geometria. Możemy zatem powiedzieć, że u nas na starcie mamy trójwymiarową przestrzeń” – wyjaśnia dr Marcin Domagała (FUW).

Drugim elementem początkowym jest pole skalarne – obiekt matematyczny, w którym każdemu punktowi przestrzeni przyporządkowano pewną liczbę. W zaproponowanym modelu interpretuje się je jako najprostszy rodzaj materii. Pola skalare są znane w fizyce od lat, stosuje się je m.in. do opisu rozkładu temperatury i ciśnienia w przestrzeni. „Wybraliśmy pole skalarne, ponieważ jest typowym składnikiem obecnych modeli kosmologicznych, a my dążyliśmy do zbudowania modelu, który byłby kolejnym krokiem w pracach nad kwantową grawitacją” – mówi prof. Lewandowski.

W modelu warszawskich fizyków czas wyłania się jako relacja między polem grawitacyjnym (przestrzenią) a polem skalarnym – chwilą czasu jest wartość pola skalarnego. „My pytamy, jak wygląda przestrzeń gdy pole skalarne ma taką a nie inną wartość, a kwantowe równania Einsteina udzielają odpowiedzi” – tłumaczy prof. Lewandowski. Zjawisko upływu czasu wyłania się więc jako własność stanu pól grawitacyjnego i skalarnego, a pojawienie się takiego stanu odpowiada narodzinom znanej wszystkim czasoprzestrzeni. „Należy podkreślić, że na początku w modelu czasu nie ma. Nic się nie dzieje. Akcja i dynamika pojawiają się jako wzajemna zależność pól, gdy zaczynamy pytać, jak jeden obiekt odnosi się do drugiego” – wyjaśnia prof. Lewandowski.

Dzięki fizykom z FUW będzie można znacznie dokładniej opisać ewolucję Wszechświata. Modele bazujące na ogólnej teorii względności są bowiem uproszczone i zakładają, że pole grawitacyjne w każdym punkcie Wszechświata jest takie samo lub zmienia się w niewielkim stopniu. Tymczasem w zaproponowanym modelu pole grawitacyjne może być różne w różnych punktach przestrzeni.

Przedstawiona konstrukcja teoretyczna jest pierwszym tak zaawansowanym modelem cechującym się wewnętrzną matematyczną spójnością. Wpisuje się on w dotychczasową tradycję badań nad kwantowaniem grawitacji, gdzie każdą nową teorię próbuje się wyprowadzić z teorii klasycznych. W tym celu fizycy stosują pewne algorytmy, znane jako kwantyzacje. „Na nieszczęście fizyków, algorytmy te nie są precyzyjne. Mówią na przykład, że w pewnym momencie powinniśmy zbudować jakąś przestrzeń Hilberta, ale nie podają przepisu, jaką” – opisuje dr Domagała. „Nam udało się doprowadzić kwantyzację do końca i otrzymać jeden z możliwych modeli”.

Prof. Lewandowski podkreśla, że to dopiero początek drogi: „Stworzyliśmy pewną teoretyczną maszynkę, której możemy zacząć zadawać pytania i patrzeć, jakie zwraca odpowiedzi”. Teoretycy z FUW zamierzają m.in. sprawdzić, czy w ich modelu występuje Wielkie Odbicie. „W przyszłości będziemy próbowali dołączyć do modelu kolejne pola z Modelu Standardowego, który opisuje cząstki elementarne. Sami jesteśmy ciekawi, co się wtedy stanie” – mówi prof. Lewandowski.

Praca „Gravity quantized”, opublikowana w czasopiśmie Physical Review D, jest ukoronowaniem jednego z kierunków badań podjętych na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w ramach subsydium profesorskiego „Mistrz” Fundacji na rzecz Nauki Polskiej. Celem subsydiów jest m.in. wspieranie uczonych potrafiących łączyć pracę badawczą z kształceniem młodej kadry naukowej.

Uwagi dla redaktorów

Niniejsza informacja prasowa została przygotowana ze szczególną starannością, aby zachować jak największą zgodność między wymogami popularyzacji a poprawnością naukową opisywanego modelu. Tekst jest jednak wrażliwy na zmiany wprowadzane przez osoby nieorientowane w niuansach nowego modelu kwantowej grawitacji. Zmiany te mogą łatwo doprowadzić do rażących nadinterpretacji. Z tego powodu jest zalecane, aby w przypadku modyfikowania tekstu redaktorzy agencji prasowych skonsultowali z twórcami modelu treść informacji udostępnianej innym mediom.

Materiały graficzne HR

[Prof. Jerzy Lewandowski przy obrazie Picassa „Kuchnia” \(1948\) w Museum of Modern Art na Manhattanie](#). Linie na obrazie przypominają grafy opisujące ewolucję stanów kwantowych pola grawitacyjnego w pętlowej grawitacji kwantowej.

(Źródło: *Elżbieta Perlińska-Lewandowska*)

Prace naukowe

[Gravity quantized: Loop quantum gravity with a scalar field](#); Marcin Domagała, Kristina Giesel, Wojciech Kamiński, Jerzy Lewandowski; Phys. Rev. D 82, 104038 (2010); arXiv:1009.2445