Tajemnice kosmologii – problem niejednorodności

Sebastian J. Szybka
Obserwatorium Astronomiczne UJ

Artykuł ten jest rozszerzoną wersją eseju, który został opublikowany w folderze wydanym z okazji przeniesienia wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej na Nowy Kampus.

W 1922 roku prof. Aleksander Friedmann z Petersburga opublikował artykuł otwierający nowy rozdział w historii kosmologii. Formuły matematyczne, które się pojawiły w tej pracy, niosły z sobą treści przełomowe. Po raz pierwszy w historii kosmologii dopuszczono myśl, na razie tylko jako jedną z matematycznie niesprzecznych możliwości, że budowla Wszechświata nie jest niezmienna. Ta i kolejna praca Friedmanna pozostawały niezauważone przez parę lat. Jakiś czas później okazało się, że obserwacje galaktyk sugerują, iż Wszechświat jest opisywany właśnie przez jedno z tego typu dynamicznych, ekspandujących rozwiązań. Skąpe dane obserwacyjne przez długie dziesięciolecia nie pozwalały dokładnie wyznaczyć parametrów charakteryzujących kosmologiczną czasoprzestrzeń. Obecnie sytuacja ta uległa zmianie. Żyjemy w epoce, o której twórcy kosmologii: Friedmann, Lemaître, Einstein mogli tylko marzyć. Postęp technologiczny wprowadził nas w erę kosmologii niemal precyzyjnej. To, co było snem jeszcze w połowie lat 90. XX wieku, dziś staje się rzeczywistością. Każdego dnia za pośrednictwem satelitów czy też obserwatoriów naziemnych, na Ziemię docierają olbrzymie ilości danych, których analiza pozwala nam coraz dokładniej poznawać Wszechświat. Kilka razy do roku, gdy ogłaszane są dane z takich instrumentów jak Planck, rozważania i spekulacje na temat naszego Wszechświata przenoszą się z uniwersytetów i instytutów badawczych na pierwsze strony światowych mediów – wystarczy wspomnieć zaskakujące wyniki zaprezentowane w marcu 2014 roku przez zespół BICEP-2 oraz obecne (grudzień 2014) pełne napięcia oczekiwanie na ogłoszenie najnowszych danych z satelity Planck.

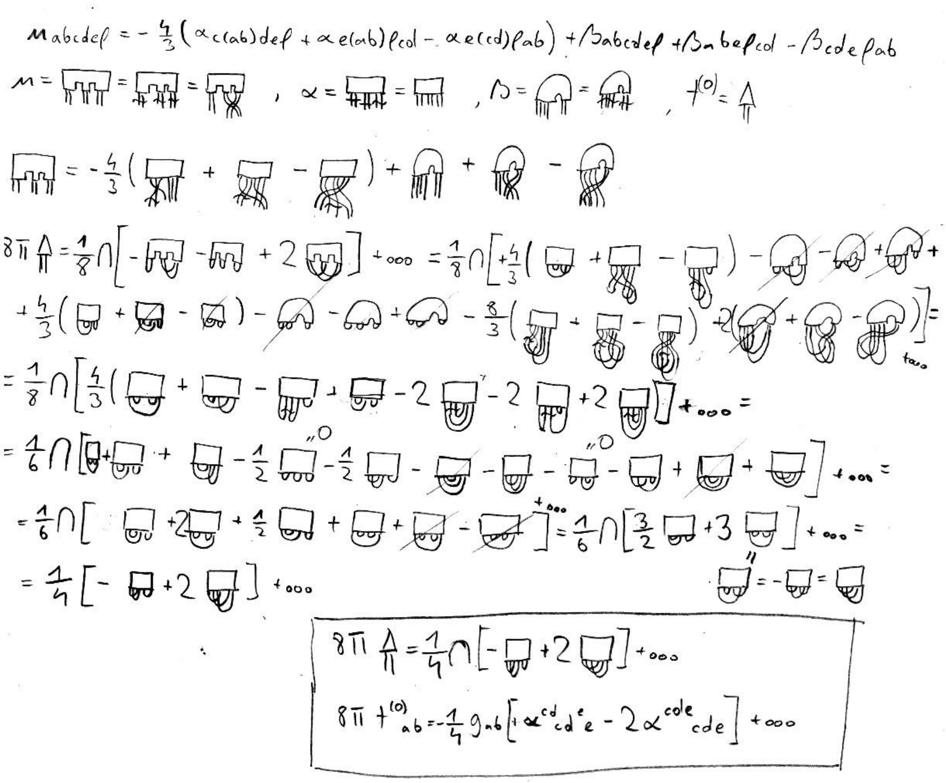
Jak dotychczas prosty model matematyczny, którego podstawy stworzono prawie 100 lat temu, wytrzymał próbę czasu. Jest on zgodny ze wszystkimi danymi docierającymi do nas z odległych zakątków Wszechświata. Pojawiły się jednak tajemnicze koincydencje. Dane obserwacyjne zinterpretowane w ramach tego modelu implikują, że żyjemy w bardzo szczególnym momencie istnienia Wszechświata, a on sam w dominującej części wypełniony jest egzotyczną, jak na ziemskie warunki, formą energii. Nowa era kosmologii rzuciła nowe wyzwania teoretykom.

Czy tajemnicze właściwości modelu kosmologicznego nie są skutkiem przyjętych upraszczających założeń? Może pozwolą się one wytłumaczyć za pomocą subtelnych efektów związanych z teorią grawitacji Einsteina – efektów, które nie zostały dotychczas uwzględnione w rachunkach. Na przykład wiadomo, że drobne niejednorodności rozłożenia materii mogłyby zmienić globalną dynamikę Wszechświata. Istotnie, niejednorodności takie są obserwowane, bo przecież istnieją gwiazdy, galaktyki i struktury znacznie od nich większe. Te zaburzenia gęstości mają również wpływ na trajektorie fotonów docierających do nas z odległych obiektów, a tym samym na nasze oszacowania parametrów kosmologicznych. Obecnie w środowisku naukowym nie ma zgody co do skali efektów związanych z niejednorodnościami. Jest tak z powodu trudności rachunkowych i koncepcyjnych przy uwzględnianiu ich w ramach teorii grawitacji Einsteina. Właśnie tutaj pojawia się pole do popisu dla teoretyków, którzy konstruują różne matematyczne formalizmy umożliwiające efektywny opis niejednorodności i ich wpływu na strukturę czasoprzestrzeni.

Problem niejednorodności w kosmologii oraz ich wpływu na geometrię Wszechświata można, przynajmniej teoretycznie, rozstrzygnąć bez odwoływania się do metod efektywnych za pomocą odpowiednio przygotowanej symulacji komputerowej. Niestety, równania Einsteina to bardzo skomplikowane równania różniczkowe cząstkowe, więc w pełni relatywistyczna symulacja tego typu jest obecnie poza naszym zasięgiem. Oczywiście, jeśli nawet analiza numeryczna byłaby możliwa, to pełne zrozumienie zagadnienia niejednorodności w kosmologii wymaga ujęcia problemu w sposób analityczny.

Efektywne formalizmy opisu wpływu niejednorodności mają różne zalety i wady. Niektóre z nich poświęcają matematyczną precyzję i koncepcyjną jasność na rzecz prostoty opisu, inne zachowują matematyczną ścisłość za cenę komplikacji rachunkowych uniemożliwiających osiągnięcie jednoznacznych konkluzji. Jeszcze inne, pomimo swej matematycznej precyzji i oczywistości wniosków nie są powszechnie akceptowane, bo nie wiadomo czy nasz Wszechświat spełnia założenia ich twierdzeń i czy matematyczny formalizm ich równań w pełni ujmuje naturę efektu niejednorodności. Problemy te są przedmiotem intensywnych badań prowadzonych przez kosmologów na całym świecie, w tym również w Zakładzie Astrofizyki Relatywistycznej i Kosmologii Obserwatorium Astronomicznego UJ (przykładowe rachunki w dosyć nietypowej notacji przedstawiono na rys. 1). Zagadka związków niejednorodności z tajemniczą formą energii, która zdaje się wypełniać Wszechświat, czeka na swoje ostateczne rozwiązanie.

Prostota i piękno koncepcyjne teorii Einsteina idą w parze z nieintuicyjnością i złożonością rachunkową. Dlatego postęp i zrozumienie odlicza się tutaj nie dniami i miesiącami, ale dziesiątkami lat. Większość ważnych, nierozwiązanych zagadnień w teorii grawitacji Einsteina pozostaje nierozwikłanych, ponieważ obroniły one swoje tajemnice przed największymi umysłami naszej planety. Jednak względem dawnych mistrzów jesteśmy na pozycji uprzywilejowanej. Wspierają nas potężne superkomputery i dokonania tych, co pracowali przed nami. Niedługo nagromadzona wiedza powinna przekroczyć próg graniczny, po którym obecne zagadki modelu kosmologicznego zostaną rozwikłane. Wtedy zapewne Wszechświat objawi przed nami nowe i jeszcze bardziej ekscytujące tajemnice.



Rys. 1. Przykładowe obliczenia prowadzone w notacji diagramatycznej Penrosa