PRZESTRZEŃ ROZSZERZAJĄCEGO SIĘ WSZECHŚWIATA

Zastosowanie równań Einsteina do Wszechświata jako całości umożliwiło konstrukcję modeli kosmologicznych i stanowiło początek kosmologii relatywistycznej. W roku 1922 Aleksander Friedman otrzymał jednorodne, izotropowe rozwiązanie równań Einsteina, opisujące rozszerzanie się Wszechświata. W roku 1929 natomiast Edwin Hubble odkrył, że linie widmowe światła docierającego do nas z odległych galaktyk są przesunięte w stronę czerwieni (ang. red shift). Jeżeli zinterpretujemy ten fakt jako optyczny efekt Dopplera, to otrzymujemy wniosek, że galaktyki oddalają się od nas (i od siebie nawzajem).

Zgodnie z prawem Hubble'a, prędkość ucieczki galaktyk jest proporcjonalna do odległości od Ziemi. Odkrycia te, jak również odkrycie w roku 1965 przez Arno Penziasa i Roberta Wilsona mikrofalowego promieniowania tła, doprowadziły do sformułowania teorii Wielkiego Wybuchu, współcześnie powszechnie akceptowanego poglądu na powstanie i ewolucję Wszechświata – poglądu, który przyniósł kolejne radykalne zmiany w naszym pojmowaniu przestrzeni.

Zgodnie z teorią Wielkiego Wybuchu (ang. Big Bang) Wszechświat nie jest wieczny i statyczny, lecz powstał około 13,8 miliarda lat temu w gigantycznej eksplozji i ciągle się rozszerza. W odróżnieniu od wybuchów znanych nam z codziennego doświadczenia, takich jak na przykład wybuchy fajerwerków, w których cząstki materii rozbiegają się w różne strony w już istniejącej przestrzeni, zgodnie z teorią Wielkiego Wybuchu przestrzeń (ani czas) nie istniały przed wybuchem, co znaczy, że Wielki Wybuch był również początkiem przestrzeni (i czasu), a rozszerzanie się Wszechświata polega na tym, że sama przestrzeń nieustannie się rozszerza.

Równanie Friedmana, stanowiące podstawę współczesnych modeli kosmologicznych, ma trzy rozwiązania, z których dwa opisują wiecznie rozszerzający się Wszechświat, jedno zaś Wszechświat zamknięty. Każde z tych rozwiązań przypisuje rozszerzającej się przestrzeni inną geometrię. Wszechświat otwarty ma geometrię hiperboliczną (Łobaczewskiego), w której suma wewnętrznych kątów trójkąta jest mniejsza niż π, natomiast stosunek obwodu okręgu do średnicy jest większy niż π. Przestrzeń takiego Wszechświata będzie się rozszerzać wiecznie, a ostatecznym losem jest stan śmierci cieplnej (równowagi termodynamicznej). Wszechświat zamknięty ma geometrię sferyczną (Riemanna), w której suma wewnętrznych kątów trójkąta jest większa niż π, natomiast stosunek obwodu okręgu do średnicy jest mniejszy niż π. Przestrzeń takiego Wszechświata jest skończona – po okresie ekspansji nastąpi kontrakcja, a ostatecznym losem będzie „Wielkie Zgniecenie" (ang. Big Crunch). Ostatni model przypisuje przestrzeni Wszechświata geometrię Euklidesa – Wszechświat jest płaski i będzie się rozszerzać wiecznie, dążąc do stanu śmierci cieplnej. To, który ze „scenariuszy eschatologicznych" faktycznie realizuje nasz Wszechświat, zależy od ilości materii we Wszechświecie. Jeżeli średnia gęstość materii jest większa od pewnej teoretycznie obliczonej wartości, zwanej gęstością krytyczną, siły grawitacji spowodują kolaps materii, w przeciwnym zaś wypadku przestrzeń Wszechświata będzie się rozszerzać wiecznie. Wszystko wskazuje na to, że żyjemy we Wszechświecie, którego globalna geometria jest Euklidesowa (jest to Wszechświat płaski, który rozszerza się w tempie krytycznym).

Pojęcie przestrzeni na gruncie współczesnej kosmologii dalekie jest więc od dawnych pojęć obiektu o czysto geometrycznych właściwościach – sama przestrzeń okazuje się ośrodkiem dynamicznym. Ponadto, jak pokazują współczesne obserwacje, Wszechświat rozszerza się coraz szybciej, co jest niezgod-

ne z modelami Friedmana, zgodnie z którymi w każdym przypadku tempo ekspansji powinno maleć. Dlatego też uczeni poszukują czynników odpowiedzialnych za przyspieszanie ekspansji, czyli tak zwanej ciemnej energii.

Niewątpliwą trudność dla kosmologii stanowi początkowa osobliwość, w której załamują się znane prawa fizyki („miniaturowymi" wersjami początkowej osobliwości są czarne dziury powstające w efekcie kolapsu grawitacyjnego masywnych gwiazd). Do badania najwcześniejszego okresu ewolucji Wszechświata, zwanego erą Plancka, niezbędne jest – przynajmniej zdaniem niektórych teoretyków – połączenie ogólnej teorii względności z mechaniką kwantową, czyli stworzenie kwantowej teorii grawitacji. Jak dotąd, grawitacja jest jedynym z czterech fundamentalnych oddziaływań, dla którego nie udało się sformułować teorii kwantowej, dlatego zagadnienie własności przestrzeni w najwcześniejszych etapach ewolucji Wszechświata pozostaje jak na razie polem spekulacji.

Nie jest również wykluczone, że same pojęcia przestrzeni i czasu mają ograniczony zasięg stosowalności, co znaczy, że poniżej pewnych wartości, zwanych czasem Plancka ($t_P = \sqrt{\hbar G / c^5} \approx 10^{-44} s$) i długością Plancka ($l_P = \sqrt{\hbar G / c^3} \approx 10^{-35} m$), gdzie $\hbar = h / 2\pi$ jest zredukowaną stałą Plancka, G – stałą grawitacji, c – prędkością światła w próżni, pojęcia przestrzeni i czasu przestają mieć fizyczny sens. Być może zatem pojęcie przestrzeni nie jest pojęciem fundamentalnym i może mieć zastosowanie jedynie na poziomie makroskopowym, natomiast do opisu obiektów w skali cząstek elementarnych trzeba będzie poszukiwać radykalnie nowych pojęć.