

Czy możemy zobaczyć początek Wszechświata?

Paweł BIELEWICZ*

*Centrum Astronomiczne
im. M. Kopernika PAN

Skończona prędkość światła oznacza, że im dalsze obiekty astrofizyczne obserwujemy, tym są one młodsze. Obecnie przyjęty i potwierdzony przez liczne obserwacje model kosmologiczny, tzw. model Wielkiego Wybuchu postuluje skończony wiek Wszechświata wynoszący około 13,8 mld lat. Można zadać zatem pytanie, czy możemy zaobserwować promieniowanie wyemitowane na początku Wszechświata i zobaczyć sam początek?

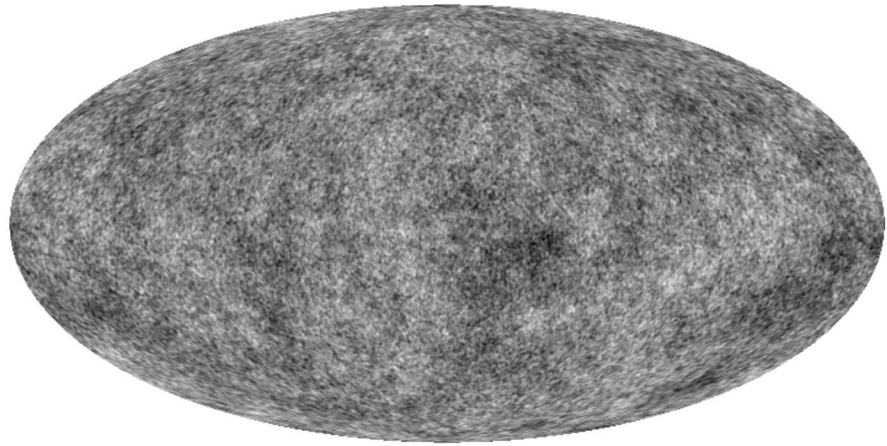
Zaraz po Wielkim Wybuchu materia była w niezwykle gęstym i gorącym stanie, tworząc rodzaj plazmy składającej się z cząstek elementarnych. Stan taki próbuje się obecnie odtworzyć w akceleratorach cząstek, takich jak Large Hadron Collider. Ze względu na dużą gęstość i intensywne oddziaływanie promieniowania z pozostałymi cząstkami elementarnymi Wszechświat w początkowym okresie nie był jednak przezroczysty dla fotonów. Dopiero wskutek rozszerzania się Wszechświata temperatura i gęstość materii spadły na tyle, że powstały neutralne atomy, głównie wodoru i helu, a promieniowanie elektromagnetyczne odłączyło się od materii. Moment ten, zwany rekombinacją, nastąpił około 380 tys. lat po Wielkim Wybuchu. Od tego czasu promieniowanie swobodnie podróżuje we Wszechświecie, nie oddziałując z materią. Ponieważ w momencie rekombinacji promieniowanie było w stanie równowagi termodynamicznej z materią, ma ono widmo ciała doskonale czarnego. Promieniowanie to nazywamy promieniowaniem reliktywnym lub promieniowaniem tła, jako że wypełnia ono jak tło cały Wszechświat. W 1964 roku zostało przypadkowo odkryte w zakresie mikrofal przez Arno Penziasa i Roberta Wilsona. Na początku lat dziewięćdziesiątych satelita COBE potwierdził zgodność widma promieniowania z widmem ciała doskonale czarnego o temperaturze około 2,7 Kelvina. Najnowsza mapa rozkładu tego promieniowania na niebie (rys. 1) została wykonana dzięki obserwacjom satelity Planck. Przedstawia ona niewielkie, rzędu 10^{-5} , zaburzenia temperatury promieniowania wokół średniej temperatury. Możemy na niej zobaczyć moment rekombinacji sprzed 13,4 mld lat i zaburzenia rozkładu materii, wówczas odłączającej się od promieniowania, z których to zaburzeń później powstały galaktyki oraz gromady galaktyk.

Stan wzbudzony cząstek cyjanu, znajdujących się w przestrzeni międzygwiazdowej, wywołany oddziaływaniem z promieniowaniem reliktywnym, został zaobserwowany już w roku 1941 przez Waltera Adamsa, jednak obserwacje te nie zostały poprawnie zinterpretowane.

Aby zobaczyć jeszcze wcześniejszy obraz Wszechświata, możemy wykorzystać cząstki elementarne, które odłączyły się od materii wcześniej niż fotony. Takimi cząstkami są neutrina. Przestały one oddziaływać z materią już około 1 sekundy po Wielkim Wybuchu. Podobnie jak promieniowanie reliktowe tworzą one tło wypełniające Wszechświat. Jednak ze względu na ich słabe oddziaływanie ze zwykłą materią nie zostały jeszcze bezpośrednio zaobserwowane przez obecnie funkcjonujące detektory neutrin. Niemniej jednak mamy pośrednie dowody na istnienie tła neutrinowego. Obecność relatywistycznych neutrin we wczesnych etapach ewolucji Wszechświata zmienia historię jego ekspansji, jak również tłumy anizotropię promieniowania relikтового. Jak wskazują dane z satelity Planck, oba z tych efektów są widoczne w kątowym widmie mocy anizotropii promieniowania tła i są zgodne z przewidywaniami modelu standardowego zakładającego istnienie trzech rodzin neutrin.

Detekcja reliktowych neutrin jest celem prowadzonego obecnie eksperymentu PTOLEMY.

Odkryte ostatnio w eksperymencie Advanced LIGO fale grawitacyjne, wytworzone przez układ podwójny czarnych dziur, dają jeszcze jedną możliwość poznania, jak wyglądał początek Wszechświata i pozwalają sięgnąć jeszcze dalej w przeszłość. Jak przyjmuje się we współczesnej wersji teorii Wielkiego Wybuchu, na samym początku Wszechświat przeszedł etap gwałtownej ekspansji, tzw. inflacji, podczas którego zostały wygenerowane pierwotne fale grawitacyjne. Podobnie jak reliktowe neutrina i promieniowanie elektromagnetyczne wypełniają one dzisiaj Wszechświat. Niestety, amplituda pierwotnych fal o częstotliwościach mierzonych w eksperymencie Advanced LIGO jest dużo



Rys. 1. Mapa anizotropii temperatury promieniowania relikowego otrzymana z danych z satelity Planck.

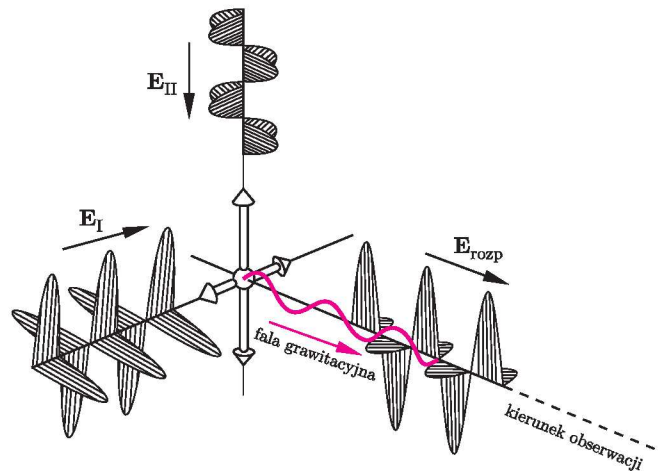
Rozpraszanie Thomsona powstaje w wyniku emisji promieniowania przez naładowaną cząstkę poruszaną przez padającą falę elektromagnetyczną, przy czym częstotliwość wyemitowanego promieniowania jest taka sama jak częstotliwość promieniowania padającego.

mniejsza niż czułość tego instrumentu. Dużo większą amplitudę mają fale o rozmiarach porównywalnych do rozmiarów obserwowalnego Wszechświata, jednakże aby je wykryć, potrzebowalibyśmy takich też rozmiarów detektora. Pierwotne fale grawitacyjne mają jednak wpływ na polaryzację promieniowania tła, tak więc promieniowanie to może pełnić rolę swoistego detektora. Promieniowanie tła zostaje częściowo spolaryzowane w wyniku rozpraszania Thomsona na swobodnych cząstkach naładowanych, przede wszystkim elektronach. Jednak, aby rozproszone fotony były spolaryzowane, padające na elektron promieniowanie musi mieć taki rozkład, aby kierunki odpowiadające maksymalnemu i minimalnemu natężeniu promieniowania były ustawione względem siebie pod kątem prostym (rys. 2). Przechodzące przez zjonizowany ośrodek fale grawitacyjne pozwalają wygenerować taki rozkład.

Kierunki polaryzacji promieniowania zrutowane na sferę niebieską obserwatora będą tworzyć pole bezźródłowe. Przez analogię z polem magnetycznym w elektromagnetyzmie ten rodzaj polaryzacji nazywany jest modami B, w przeciwieństwie do modów E generowanych przede wszystkim przez zwykłe zaburzenia skalarnie. Detekcja modów B polaryzacji promieniowania relikowego byłaby pośrednim dowodem istnienia pierwotnych fal grawitacyjnych i potwierdzeniem epoki inflacji kosmologicznej we wczesnym Wszechświecie. Dzięki temu moglibyśmy się dowiedzieć, jak wyglądał Wszechświat zaledwie około 10^{-36} sekundy po początkowej osobliwości.

Detekcja modów B polaryzacji promieniowania tła jest jednym z najważniejszych celów prowadzonych obecnie i planowanych eksperymentów dotyczących promieniowania relikowego. W 2014 roku o takiej detekcji doniósł zespół eksperymentu BICEP2. Jednak dzięki danym z satelity Planck szybko się okazało, że zaobserwowane mody B są związane z polaryzacją promieniowania emitowanego przez naszą Galaktykę. Tak więc poszukiwanie śladów pierwotnych fal grawitacyjnych wciąż trwa. Brak detekcji pozwala jednak już dziś oszacować górną granicę energii, przy której mogła nastąpić inflacja. Granica ta wynosi około 10^{16} GeV, a więc jest kilka rzędów wielkości niższa niż energia Plancka, przy której grawitacja odłączyła się od pozostałych oddziaływań.

Odpowiedź na pytanie o jeszcze wcześniejsze momenty Wszechświata zależy od tego, co działo się przed epoką



Rys. 2. Polaryzacja promieniowania relikowego przez falę grawitacyjną.

inflacji. Można przypuszczać, że przy wspomnianej już energii Plancka zaszły jakieś procesy fizyczne, których ślady mogą być utrwalone we własnościach promieniowania relikowego, tła neutrinowego lub pierwotnych fal grawitacyjnych. Jednak, żeby lepiej to zrozumieć, potrzebujemy teorii kwantowej grawitacji opisującej oddziaływania przy energii Plancka. Warto wspomnieć, że według niektórych teorii aspirujących do miana teorii kwantowej grawitacji w epoce o tak dużej gęstości energii traci sens znane nam pojęcie czasu, a najmniejsza jednostka czasu, mająca sens fizyczny, to około 10^{-44} sekundy.