

Zawirowanie BICEP2 – 17.03.2014

Tegoroczny Dzień Świętego Patryka może przejść do historii nauki. Jeżeli tylko potwierdzi się to, co ogłosił zespół badawczy eksperymentu BICEP2 [1], to odkrycie Higgosa 4 lipca 2012 roku (też łatwa do zapamiętania data) może się schować. Jeżeli się potwierdzi. Bo wynik został uzyskany w niezwykle zaawansowany sposób – łatwe odkrycia już dawno zostały zrobione. A w nawet najbardziej sumiennie przeprowadzonej analizie coś może umknąć uwagi zwiadowców.

Informacja przetoczyła się przez światowe (więc również polskie) media, ale głównie pod hasłem odkrycia fal grawitacyjnych. Po pierwsze, to nie do końca prawda, po drugie, nie to jest najważniejsze. Jednak proste wytłumaczenie, o co naprawdę chodzi, nie jest łatwe.

Mierzona była polaryzacja docierającego do nas ze wszystkich stron relikтового promieniowania tła. Po poprawieniu na efekt Dopplera, wywołany ruchem Ziemi (chodzi głównie o ruch Układu Słonecznego względem centrum Drogi Mlecznej), otrzymuje się najbardziej jednorodne spektrum promieniowania ciała doskonale czarnego, jakie znamy (o temperaturze około 2,7 K). Jest ono jednak, w znacznej mierze, pochłaniane przez atmosferę (zwłaszcza przez parę wodną). Do jego badania najlepiej nadają się instrumenty wyniesione w przestrzeń kosmiczną lub znajdujące się tak blisko niej, jak to tylko możliwe.

Chodzi o badanie niejednorodności tego promieniowania, które są na poziomie 10^{-5} i mniejszym. Promieniowanie to pochodzi z momentu, gdy rozszerzający się stygnący wszechświat stał się przezroczysty, czyli gdy nastąpiła rekombinacja plazmy w neutralne atomy. Najpełniejsze wyniki zostały uzyskane za pomocą satelity Planck (ESA). Zgadza się one bardzo dobrze z modelem Λ CDM, według którego obserwowalny wszechświat rozszerza się od 13,7 miliarda lat. Prawie 70% jego gęstości energii przypada na tzw. ciemną energię (o naturze której możemy tylko spekulować), jedną czwartą stanowi ciemna materia (o której wiemy niewiele więcej), podczas gdy znane formy materii wnoszą zaledwie około 4% do bilansu. W sumie energii jest dokładnie tyle, żeby obserwowalny wszechświat był euklidesowy (wygląda na to, że w dowolnie dużym trójkącie suma kątów jest równa kątowi półpełnemu). Informacje te zostały zdobyte głównie za pomocą badania anizotropii temperatury promieniowania relikowego oraz, dodatkowo, obserwacji tzw. modu E rozkładu polaryzacji, który jest oczekiwany dla fal gęstości odcisniętych w promieniowaniu relikowym zgodnie z modelem Λ CDM.

Jeszcze subtelniejszym efektem jest tzw. mod B polaryzacji. Jeżeli kierunek liniowej polaryzacji promieniowania relikowego na mapie nieba (w komórkach o określonym rozmiarze kątowym) przedstawimy za pomocą kresek (podobnie jak przedstawia się kierunek wiatru na mapach meteorologicznych), to dla modu E otrzymamy obrazek bezwiryowy, natomiast dla modu B przeciwnie, kreski będą układać się w wiry (patrz obok).

Poszukiwanie śladu modu B dla podziału na komórki o rozmiarze kątowym około jednego stopnia jest związane z interpretacją ewentualnej obserwacji jako uchwycenia stanu

propagujących się fal grawitacyjnych (w analogii do zdjęcia falującego oceanu), wywołanych w trakcie kosmicznej inflacji, czyli w chwili, która uważana jest za początek tego, co w ogóle możemy obserwować (właśnie od której upłynęło te 13,7 miliardów lat). Fale grawitacyjne, w odróżnieniu od skalarnych fal gęstości (dźwiękowych), są tensorowymi zaburzeniami samej przestrzeni. Dlatego ich wpływ objawia się nie tylko poprzez mod E, ale również poprzez mod B. Sam wkład do polaryzacji, o który chodzi, jest związany z tzw. ostatnim oddziaływaniem fotonów z elektronami, których ruch był wymuszony przez propagujące się przez plazmę fale.

Instrument BICEP2 działał w latach 2010–2012 na biegunie południowym. Jest to idealne miejsce ze względu na możliwość praktycznie ciągłej obserwacji wybranego fragmentu nieba, dużą wysokość n.p.m. oraz bardzo małą wilgotność. Trudno o miejsce na Ziemi mniej przesłonięte przez atmosferę. BICEP2 był w całości schłodzony do temperatury ciekłego helu teleskopem zwierciadlanym o średnicy 26 cm, z niezwykle precyzyjnym odczytem, którego częścią był SQUID (nadprzewodzący interferometr kwantowy). Bezpośrednim jego poprzednikiem był BICEP1, już działającym następcą jest *Keck Array*, a wersja BICEP3 ma zacząć obserwacje w przyszłym roku. Oprócz tego całe stado innych zespołów przeprowadza lub planuje podobne badania, na czele z Planckiem, którego analiza ma być opublikowana jeszcze w tym roku.

Efekt, o którym raportuje BICEP2 [1], jest nadspodziewanie duży (odwrotnie proporcjonalny do wielkości zespołu badawczego). Na podstawie wcześniejszych pośrednich oszacowań (informacje zdobywane o promieniowaniu relikowym są wzajemnie powiązane) spodziewano się czegoś znacznie mniejszego. A wielkość efektu jest bezpośrednio (choć jednak modelowo) związana z wartością potencjału inflacyjnego. Jeżeli potwierdzi się pomiar BICEP2, to jest to energia odpowiadająca wielkiej unifikacji (energia $2 \cdot 10^{16}$ GeV).

Po raz pierwszy zmierzone zostało coś o charakterystycznej energii pomiędzy skalą elektroslabą a skalą Plancka. Ciekawe, do jakiej temperatury podgrzali się zajmujący się tą problematyką teoretycy.

Piotr ZALEWSKI

[1] BICEP2 Collaboration, *BICEP2 I: Detection of B-mode polarization at degree angular scales*, <http://bicepkeck.org>, 17 marca 2014.

