

Kryzys w kosmologii?

W poprzednim stuleciu kosmologia przeszła kilka kryzysów, które diametralnie zmieniły nasze spojrzenie na ewolucję Wszechświata. Autorzy publikacji, która ukazała się w „Nature Astronomy” [1], sugerują, że być może jesteśmy w przededniu kolejnego momentu zwrotnego w kosmologii.

Naukowcy rozważają w niej model Wszechświata z dodatnią krzywizną przestrzeni, który dobrze pasuje do kąтового widma mocy map anizotropii temperatury mikrofalowego promieniowania tła CMB (*cosmic microwave background*) zmierzonego przez satelitę Planck. Główną zaletą tego modelu jest duża zgodność parametrów kosmologicznych oszacowanych oddzielnie dla dużych i małych skal kątowych map anizotropii. W przypadku powszechnie przyjętego standardowego modelu kosmologicznego, zakładającego płaski Wszechświat (tzn. z zerową krzywizną przestrzeni), obserwowane są pewne (nieistotne statystycznie) różnice między parametrami kosmologicznymi dla dużych i małych skal kątowych. Chociaż Wszechświat z dodatnią krzywizną jest lepiej dopasowany do kąтового widma mocy promieniowania tła, okazuje się niezgodny z obserwacjami kosmologicznymi obiektów nam bliższych (tzn. o przesunięciu ku czerwieni mniejszym niż 3). Szczególnie duże rozbieżności, na poziomie pięciu standardowych odchyień, dotyczą wartości stałej Hubble’a. Podczas gdy dla kąтового widma mocy promieniowania tła i Wszechświata o dodatniej krzywiznie otrzymujemy wartość stałej $H_0 = 54,4_{-4,0}^{+3,3}$ km s⁻¹ Mpc⁻¹, to z pomiarów lokalnych supernowych typu Ia otrzymujemy wartość $H_0 = 73,52 \pm 1,62$ km s⁻¹ Mpc⁻¹. Co więcej, rozbieżności te są znacznie większe niż dla standardowego modelu płaskiego Wszechświata, dla którego powyższa rozbieżność stałej Hubble’a sięga trzech standardowych odchyień (Δ_{19}^{11} „Jak szybko rozszerza się Wszechświat?”). Jak piszą autorzy publikacji zamieszczonej w „Nature Astronomy”, fakt ten sugeruje, że powszechnie przyjęty model Wszechświata z zerową krzywizną może niejako ukrywać poważną niezgodność między obserwacjami kosmologicznymi pochodzącymi z większych odległości (jak CMB) a bliższymi nam częściami Wszechświata.

Kątowe widmo mocy określa amplitudę mapy anizotropii temperatury $\Delta T(\hat{n})$ dla poszczególnych skal kątowych θ . Otrzymuje się je, rozkładając mapy w bazie harmonik sferycznych $Y_{\ell m}$, gdzie indeks $\ell \propto \pi/\theta$, a następnie uśredniając po indeksie m kwadrat modułu współczynników tego rozkładu $a_{\ell m}$, tzn. $C_\ell \equiv \frac{\sum_m |a_{\ell m}|^2}{2\ell+1}$.

Według autorów obserwowane rozbieżności można wyjaśnić na trzy sposoby. Być może przyczyną są niewykryte jeszcze błędy systematyczne w mapach CMB z satelity Planck lub pomiarach obiektów o niższym przesunięciu ku czerwieni. Druga możliwość to nieznaczną statystyczną fluktuacja w kątowym widmie mocy map anizotropii w ramach standardowego modelu płaskiego Wszechświata. Jeżeli jednak nie jest to żadna z powyższych możliwości, niezgodność może wskazywać na konieczność poważnej zmiany obowiązującego obecnie modelu kosmologicznego.

Można by zadać jednak pytanie, dlaczego tej rozbieżności nie dostrzegli naukowcy z zespołu opracowującego dane z satelity Plancka? Otóż dostrzegli. Zespół Plancka miał świadomość lepszego dopasowania modelu Wszechświata z dodatnią krzywizną do kąтового widma mocy map anizotropii [2]. Jednak dopasowanie to wynika głównie z pewnej różnicy w widmie mocy dla dużych i małych skal kątowych, której konsekwencją są wspomniane już różnice w oszacowanych na podstawie tych widm wartości parametrów kosmologicznych dla płaskiego Wszechświata. Zespół Plancka pokazał, że różnica ta nie jest związana z jakimś znanym błędem systematycznym. Ponadto jej istotność statystyczna kształtuje się na poziomie około dwóch standardowych odchyień, więc obserwowaną rozbieżność można uznać za nieznaczną

fluktuację statystyczną w ramach modelu Wszechświata o zerowej krzywiznie. I tak też jest ona interpretowana przez zespół współpracy naukowej Planck. Interpretacja ta jest również zgodna z wartością krzywizny przestrzeni otrzymanej dla modelu kosmologicznego dopasowanego do pełnych danych Plancka, tzn. nie tylko do kąтового widma mocy map anizotropii, ale też zaobserwowanych korelacji anizotropii wywołanych soczewkowaniem grawitacyjnym promieniowania tła. Tak oszacowana krzywizna jest wówczas w granicach błędu równa zero, zaś dopasowany model kosmologiczny jest dużo bardziej zgodny z obserwacjami bliższych nam obiektów kosmologicznych.

Możemy mieć nadzieję, że już wkrótce nowe obserwacje z przeprowadzanych obecnie eksperymentów mierzących CMB oraz przeglądów wielkoskalowej struktury Wszechświata pozwolą rozstrzygnąć, czy rzeczywiście mamy w kosmologii kryzys i czy potrzebujemy kolejnej zmiany w naszym postrzeganiu Wszechświata.

Paweł BIELEWICZ

Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Grupa Współpracy Naukowej Planck

[1] E. Di Valentino, A. Melchiorri, J. Silk, *Planck evidence for a closed Universe and a possible crisis for cosmology*, Nature Astronomy 11 (2019), 484.

[2] Planck Collaboration, et al., *Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters*. arXiv:1807.06209 (2018).