



## *Ewolucja kosmosu i kosmologii*

*Michał Heller*

*Papieska Akademia Teologiczna w Krakowie*



Jako wprowadzenie do wywiadu z Ks. Profesorem Michałem Hellerem proponujemy fragment z książki:

*Ewolucja kosmosu i kosmologii*, Michał Heller, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1985

[...]

### **Scenariusz kosmicznej ewolucji**

Umowna chwila  $t = 0$ . Ale tak naprawdę wielka biała plama. Biała plama, którą mamy nadzieję, wypełni w przyszłości kosmologia kwantowa, zbudowana na podstawie poeinsteinowskiej, kwantowej teorii grawitacji.

Chwila  $t = 10^{-44}$  s. Gęstość materii wynosi  $10^{94}$  g/cm<sup>3</sup>, temperatura  $10^{33}$  K. Jest to era Plancka, zwana inaczej epoką progę; mniej więcej w tym momencie przestają odgrywać rolę kwantowe efekty grawitacji, prawa ogólnej teorii względności stopniowo, ale stanowczo zaczynają obejmować całkowitą dominację. Z chwilą gdy dominacja ta stała się faktem dokonany, nabiera sensu pytanie o geometryczną strukturę czasoprzestrzeni. I tu otwierają się dwie możliwości, obydwie niesprzeczne z tym, co wiemy na temat młodego Wszechświata: albo świat jest przestrzennie anizotropowy, ale anizotropia ta, pod wpływem dziejących się wówczas procesów fizycznych (np. jak sądzą niektórzy, na skutek lepkości fotonów lub neutrin), szybko wygładza się, przechodząc w izotropowość, albo też przestrzeń Wszechświata jest izotropowa od samego początku. Wybór jednej z tych dwóch możliwości istotnie zmienia scenariusz pierwszych ułamków sekund koniecznej ewolucji, ale nie ma większego wpływu na to, co będzie się działo potem (chyba że zbyt późno chwile wygładzania się anizotropii).

Przy tak wysokich temperaturach na geometrycznej arenie, opisywanej równaniami ogólnej teorii względności, główną rolę odgrywają tzw. oddziaływania silne, czyli hadronowe. Są to oddziaływania utrzymujące razem protony i neutrony w jądrach atomowych. Ich zasięg jest bardzo krótki, gdyż wynosi zaledwie  $10^{-13}$  cm, ale są to oddziaływania naprawdę „silne”. Dwa, odpowiednio zbliżone do siebie, protony przyciągają się oddziaływaniem hadronowym 100 razy silniej, niż odpychają się wzajemnie siłami elektromagnetycznymi, a  $10^{40}$  razy silniej, niż przyciągają się siłą grawitacji. Główną składową materii w tej epoce stanowią hadrony i antyhadrony, czyli cząstki oddziałujące na siebie silnie; epokę tę nazywamy erą hadronową.

Im bliżej epoki progu, tym dziwniejsze rzeczy (z punktu widzenia naszej znajomości fizyki) dzieją się na arenie świata. Tak na przykład odpowiednio blisko planckowskiego progu samo pojęcie cząstki zaczyna tracić sens, a to dlatego, że odległość, poza którą nie może się przedostać żaden sygnał fizyczny, zaczyna być porównywalna z rozmiarami samej cząstki: teoretycy zwykli mawiać, iż cząstka wypełnia sobą cały „horyzont”. W miarę oddalania się od progu, tak łatwo generującego paradoksy, nasza wiedza staje się coraz „bezpieczniejsza”, ale dokładne odtworzenie scenariusza zdarzeń jest ciągle niemożliwe z powodu niedorozwoju obecnej fizyki wysokich energii. Mniej lub bardziej prawdopodobnymi (ale nie nieprawdopodobnymi!) hipotezami wypełniamy braki naszej wiedzy. Należy jednak podkreślić, że niepewności co do „szczegółów” ery hadronowej nie są znaczące dla odtworzenia późniejszych dziejów świata. Istotne znaczenie ma tu fakt, iż w pierwszych sekundach swojej ewolucji Wszechświat znajdował się w stanie termicznej równowagi, a to, co dzieje się w stanie termicznej równowagi, zależy tylko od praw mechaniki statystycznej, a nie od poprzedzającej historii. Stąd, gdy cofamy się w czasie wstecz i napotykamy stan równowagi, możemy nie troszczyć się zbyt, co było przedtem (jeżeli tylko potrafimy opanować wrodzoną człowiekowi ciekawość) bez obawy o poprawność całej naszej dotychczasowej rekonstrukcji.

Chwila  $t = 10^{-4}$  s. Gęstość zmalała już do wartości  $10^{14}$  g/cm<sup>3</sup>, a temperatura do  $10^{12}$  K. Wszechświat staje się za chłodny dla hadronów, które zderzając się z antyhadronami, zamieniają się w promieniowanie. Główną składową Wszechświata stanowią: elektrony, mezony  $\mu$ ; neutrino oraz ich antycząstki. Wszystkie te cząstki oddziałują na siebie tzw. siłami słabymi, czyli leptonowymi. Stąd nazwa cząstek – leptony i nazwa tego okresu ewolucji – era leptonowa. Zgodnie ze swoją nazwą oddziaływanie słabe jest  $10^{14}$  razy słabsze od silnego (jądrowego), ale mimo to znacznie silniejsze od grawitacyjnego. Świat jest jeszcze ciągle bardzo gęsty, leptony nieustannie zderzają się ze sobą i znajdują się, tak jak przedtem hadrony, w stanie równowagi termodynamicznej.

Ważne wydarzenie miało miejsce, gdy zegar kosmicznej ewolucji wskazywał godzinę  $t = \text{ok. } 2 \text{ s}$ . Temperatura spadła wtedy do tego stopnia, że droga swobod-

na neutriny wydłużyła się tak, iż cząstki te przestały praktycznie oddziaływać z innymi postaciami materii. Nastąpiło odłączenie się neutrino od procesów ewolucyjnych. Odłączone neutrino, po odpowiednim ostudzeniu spowodowanym ekspansją Wszechświata, powinny dziś istnieć równomiernie rozłożone w przestrzeni, podobnie jak pole promieniowania tła. Obserwacyjne wykrycie „neutrino tła” byłoby bardzo mocnym potwierdzeniem standardowego modelu Wszechświata i dostarczyłoby informacji wprost z ery leptonowej. Niestety, właśnie fakt, że neutrino bardzo słabo oddziałują z innymi postaciami materii, stawia przed przyszłymi obserwatorami neutrino kosmicznych ogromne trudności techniczne.

Chwila  $t = 10$  s. Gęstość  $10^4$  g/cm<sup>3</sup>, temperatura  $10^{10}$  K. Koniec panowania dynastii leptonów. Elektrony i pozytony zamieniają się na promieniowanie. Główną składową świata stają się fotony, czyli promieniowanie elektromagnetyczne. Świat wkracza w erę promienistą. Na przełomie ery leptonowej i promienistej resztki protonów i neutronów, ocalała z pogromu (anihilacji) końca ery hadronowej, łączy się w jądra helu. Badanie rozkładu helu we Wszechświecie jest ważnym testem kosmicznym, niesie ono informacje z okresu, w którym historia świata toczyła się dopiero od kilku sekund.

W dalszym ciągu Wszechświat rozszerza się, gęstość materii maleje, temperatura staje się coraz niższa. Nieznaczne ilości innych cząstek są zanurzone w morzu fotonów, czyli promieniowania elektromagnetycznego. Niejako „obok”, nie biorąc udziału w innych procesach, istnieje pole neutrino. Ekspansja trwa nieustannie, ale ewolucja jakby zmęczyła się, coraz rzadziej następują istotnie ważne zdarzenia.

W ten sposób minęło ok. 1 000 000 lat, gęstość zmalała do  $10^{-21}$  g/cm<sup>3</sup>, temperatura do 30 000 K. Teraz droga swobodna fotonów wydłużyła się tak, że z kolei one wyłączają się z ciągu ewolucyjnych procesów. Formuje się to, co nazywamy dziś promieniowaniem tła i co zostało obserwacyjnie odkryte przez Penziasa i Wilsona w 1956 roku. Dzięki temu zyskaliśmy bezpośredni wgląd w koniec ery promienistej. Prawie równocześnie rozgrywa się drugie ważne wydarzenie. Ocalałe z procesów anihilacji w poprzednich erach protony i elektrony łączą się w atomy wodoru. Z czasem wodór staje się główną składową materii, oprócz pól neutrino i elektromagnetycznego.

Gaz wodorowy z domieszką helu, powstałego jeszcze na przełomie er leptonowej i promienistej (hel pierwotny), był początkowo rozłożony mniej więcej równomiernie, ale przypadkowe zagęszczenia stały się źródłem silniejszego przyciągania grawitacyjnego. Ten tzw. mechanizm grawitacyjnej niestabilności, zapoczątkował proces powstawania galaktyk lub nawet gromad galaktyk. Na skutek analogicznego procesu w galaktykach zaczęły powstawać gwiazdy. Ewolucja świata wkroczyła w erę galaktyczną.

Proces powstawania gromad galaktyk i galaktyk jest wielką białą plamą na standardowym modelu kosmicznym. Istnieje na ten temat kilka częściowo konkurujących ze sobą, a częściowo uzupełniających się hipotez. Z pewnością niestabil-

ność grawitacyjna odgrywała istotną rolę w genezie galaktyk i ich gromad. Czy jednak tylko ona? Czy nie trzeba przyjąć jeszcze innych, „pomocniczych” czynników? Jak obserwacyjnie rozstrzygnąć problemy różnych hipotez? Pytania te do dziś w dużej mierze pozostają otwarte.

Chcąc dalej śledzić ewolucję Wszechświata, kosmologia musi odwołać się do pomocy innych dyscyplin. I tak teoria ewolucji gwiazd została dobrze opracowana przez astrofizykę. W erze galaktycznej astrofizyka uzupełnia obraz kreślony przez kosmologię. Inna dyscyplina, zwana teorią nukleosyntezy kosmicznej lub astrofizyką jądrową, uczy o powstawaniu pierwiastków chemicznych we wnętrzach masywnych gwiazd. Bez pomocy astrofizyki jądrowej świat kosmologii byłby światem gazu wodorowo-helowego powstałego we wcześniejszych fazach ewolucji pola, promieniowania elektromagnetycznego i pola neutrin. W takim świecie nie mogłoby powstać ani życie, ani rozumny badacz-observator. Tu właśnie biologia powinna wyjaśnić, w jaki sposób na jednej z planet krążących wokół przeciętnej gwiazdy w dość typowej galaktyce powstało życie. Niestety, współczesna biologia tego nie czyni. Odnosi ona ogromne sukcesy, ale jest nadal bardzo odległa od rozwiązania zagadki życia. A wydaje się, że dopóki tego nie zrobi, nie będziemy mogli całkowicie sensownie postawić pytania o możliwości życia we Wszechświecie poza planetą Ziemią. Wprawdzie i na ten temat zapisano już tony papieru, ale twórczość ta stanowi w najlepszym wypadku literaturę z pogranicza *science fiction*. A z tego rodzaju pomocy kosmologia, jako nauka z ambicjami, korzystać nie może.

Wprawdzie współczesny obraz kosmicznej ewolucji utkany jest wieloma znakami zapytania, pokrywa on jednak wielki obszar: od pierwszych ułamków sekundy od początkowej osobliwości aż do kosmicznego teraz, gdy zegar wskazuje czas  $t = 15\text{--}20$  miliardów lat, gęstość materii wynosi  $10^{-31}\text{--}10^{-28}$  g/cm<sup>3</sup>, a temperatura 2,7 K. Ekspansja trwa.