MODEL WIELKIEGO WYBUCHU

JAKO TEORIA POWSTANIA WSZECHŚWIATA

OPRACOWANIE

Poznań 2007

Teoria Wielkiego Wybuchu

Wstęp

"WIELKI WYBUCH"
gwałtowna eksplozja bardzo gorącego i bardzo
skondensowanego Wszechświata 15-20 mld lat temu,
po której rozpoczęła się jego ewolucja

Wszystko, co istnieje we wszechświecie – galaktyki, gwiazdy, planety, czyli cała materia wszechświata, było kiedyś skupione w obiekcie o wymiarach znacznie mniejszych od ziarenka piasku. Jest to oczywiście tylko obrazowe przybliżenie, pewne porównanie, ponieważ trudno sobie wyobrazić ten obiekt o nieskończenie małych rozmiarach. Jednak naukowcy stworzyli taką właśnie teorię powstania wszechświata, która została nazwana teorią Wielkiego Wybuchu.

Zgodnie z tą teorią wszechświat nie istniał od zawsze (według starożytnych filozofów), lecz powstał w pewnym momencie w przeszłości i nie jest statyczny ani nieskończony. Ta teoria wydawała się tak niezwykła, że choć część z tych zagadnień zostało udowodnionych, to wielu badaczy nadal szuka dowodów, że mogłoby być inaczej. Dopiero odkrycia z początku XX wieku sprawiły, że teorie o pełnym ruchu we wszechświecie zaczęły przybierać realne kształty.

Jaka droga prowadziła do teorii Wielkiego Wybuchu?

Już Isaac Newton, autor prawa powszechnej grawitacji, zauważył, że model statyczny nie zgadza się z ówczesną wiedzą. Zgodnie z jego odkryciem dwa dowolne ciała we wszechświecie przyciągają się z siłą, która jest tym większa, im większe są masy tych ciał i im mniejsza jest odległość między nimi. A zatem gwiazdy powinny przyciągać się wzajemnie - nie mogłyby więc pozostawać w spoczynku. Idea jednak tak bardzo kłóciła się z ogólnie przyjętymi poglądami, że Newton i jego następcy woleli tworzyć wymyślne koncepcje, by potwierdzić wygodną teorię, że wszechświat jest statyczny), niż szukać racjonalnego wytłumaczenia tej zagadki.

Niemiecki astronom Heinrich Wilhelm Olbers postawił pytanie: skoro wszechświat rozciąga się w nieskończoność w przestrzeni, a gwiazdy są równomiernie rozłożone, to, dlaczego niebo jest ciemne? Patrząc niemal w każdym kierunku, obserwator powinien dostrzec światło gwiazd. Zagadkę, którą zadał Niemiec, nazwano paradoksem Olbersa. Sam twórca starał się wytłumaczyć ją w sposób typowy dla zwolenników statyczności wszechświata, że w kosmosie znajduje się materia, która pochłania część światła. Nawet Albert Einstein, obawiał się ośmieszenia i mimo że jego matematyczny model uzasadniał przekonanie, iż wszechświat kurczy się lub rozszerza, wolał go zmodyfikować. Wymyślił więc tak zwaną stałą kosmologiczną - siłę nie związaną z żadnym konkretnym źródłem, równoważącą przyciąganie materii znajdującej się we wszechświecie. Dzięki niej udało mu się dopasować wzory do idei wiecznego i nieskończonego wszechświata. Później, kiedy uzyskano materialne dowody na nieprawdziwość wielowiekowej koncepcji, Einstein przyznał, że włączenie stałej kosmologicznej do równań było największym błędem jego życia. Dowody podważające założenia o statycznym wszechświecie i potwierdzające prawdziwość teorii o jego rozszerzaniu się dostarczył w latach dwudziestych XX wieku amerykański astronom Edwin Powell Hubble.

W 1924 roku Hubble przeprowadził obserwacje astronomiczne, które wykazały, że nasza Galaktyka nie jest jedyna we wszechświecie. Dowiódł on, że w rzeczywistości istnieje wiele innych, oddzielonych od siebie pustymi obszarami pustej przestrzeni. Przy okazji badania widma gwiazd w odległych galaktykach, zauważył, że widać w nim dokładnie te same układy kolorów co w widmach gwiazd naszej Galaktyki. Z pewną różnicą: kolory te były przesunięte w kierunku czerwonego krańca widma o taką samą względną wartość długości fali. Hubble doszedł do wniosku, że docierające na Ziemię światło z ciał kosmicznych zawiera fale elektromagnetyczne o mniejszych częstotliwościach, (czyli przesunięte w kierunku czerwonego krańca widma), niż należałoby tego oczekiwać, gdyby źródło światła było nieruchome. A zatem przesunięcie ku czerwieni świadczyło, że galaktyki oddalają się od Ziemi. Udowodnienie ruchu galaktyk względem siebie nie zakończyło badań ani nie rozwiało wątpliwości. Większość astronomów była przekonana, że poruszają się one zupełnie przypadkowo, w takim wypadku część widm powinna być przesunięta ku czerwieni, (gdy obiekty oddalały się od Ziemi), a część w stronę niebieskiego krańca, (gdy się do niej przybliżały). Ku powszechnemu zdumieniu okazało się, że prawie wszystkie widma są przesunięte ku czerwieni, a zatem przeważająca część galaktyk oddala się od Ziemi. Jeszcze bardziej zaskoczyło naukowców następne odkrycie Hubble'a, zgodnie, z

którym wielkość przesunięcia widma ku czerwieni jest wprost proporcjonalna do odległości galaktyki. Im dalej znajduje się ona od Ziemi, tym większą ma prędkość i tym szybciej oddala się od obserwatora. A to już z całą pewnością oznaczało, że wszechświat nie pozostaje statyczny, lecz się rozszerza. Pojawiło się jednak kolejne pytanie: skoro wszystkie galaktyki oddalają się od Ziemi, to może nasza planeta zajmuje szczególne miejsce we wszechświecie? Myśl ta była przyjemna dla ludzkości, która przez wieki wierzyła w geocentryzm, jednak naukowcy wybrali postawę sceptyczną. Rosyjski fizyk Aleksander Friedmann stwierdził, że rozszerzanie się wszechświata przypomina nadmuchiwanie cętkowanego balonu: w miarę jego powiększania się odległość między dwiema dowolnymi cętkami wzrasta niezależnie od tego, w którym miejscu balonu się one znajdują; a zatem żadna z nich nie może być uznana za centrum. W dodatku im większa odległość między nimi, tym szybciej się od siebie oddalają. Było to obrazowe potwierdzenie przypuszczeń Hubble'a, jednocześnie wykluczające centralne miejsce Ziemi we wszechświecie. Belgijski uczony Georges Edouard Lemaître, który prowadził badania dotyczące rozszerzania się wszechświata równolegle z Friedmannem, twierdził, że skoro galaktyki się oddalają, to w przeszłości musiał istnieć stan, gdy znajdowały się blisko siebie. Było to bardzo dawno temu (zdaniem Friedmanna od ok. 10 do 20 mld lat temu); wtedy cała materia wszechświata koncentrowała się w jednym punkcie o ogromnej gęstości. Teorię tę nazwano Wielkim Wybuchem (ang. Big Bang - "Wielkie Bum"). Powstały dwa różniące się modele oparte na koncepcji rozszerzającego się wszechświata. Pierwszy z nich przewiduje, że wszechświat będzie rozszerzał się w nieskończoność. Zgodnie z drugim "ucieczka" galaktyk jest na tyle wolna, że grawitacja może zwolnić, a następnie zatrzymać ekspansję. W takim wypadku galaktyki zaczęłyby się zbliżać do siebie, a wszechświat zacząłby się kurczyć. Kiedy materia zostałaby ściśnięta w bardzo mały punkt o ogromnej gęstości, nastąpiłaby Wielka Zapaść. Wszechświat mógłby cyklicznie kurczyć się i rozszerzać.

Początek

Przed czasem, określanym jako "czas Plancka" (10^{-43} sekundy) od momentu inicjacji „wybuchu", wszystkie cztery fundamentalne oddziaływania (jądrowe silne, elektromagnetyczne, jądrowe słabe i grawitacyjne) były zunifikowane w jedno - chociaż wówczas siły oddziaływania elektromagnetycznego i słabego jądrowego występowały w postaci tzw. oddziaływania 'elektrosłabego'). Cała materia, energia, przestrzeń i czas, tworząc jedność, uległy eksplozji z pojedynczego punktu - osobliwości. I tylko tyle wiemy na

temat tego okresu.
Nie oznacza to oczywiście tego, że wiemy więcej na temat następnych chwil powstawania wszechświata, jednak nie ma obecnie spójnego modelu obrazującego i tłumaczącego ówczesne wydarzenia w tak ekstremalnych warunkach.

W momencie przypadającym na 10^{-43} sekundy, nastąpiło oddzielenie grawitacji od pozostałych trzech sił, które jeszcze wtedy ulegały tzw. wielkiej unifikacji. Na czas ok. 10^{-36} sekundy współczesne modele przewidziały separacje silnego oddziaływania jądrowego. W roku 1970 Sheldon Glashow i Howard Georgi zaproponowali stwierdzenie, że zunifikowane trzy oddziaływania (silne, słabe i elektromagnetyczne) mają energię rzędu 10^{14} GeV. Jeżeli dostosować koncepcję energii cieplnej do ówczesnych warunków, obliczona temperatura każdej cząstki o średniej energii 10^{14} GeV będzie wynosić 10^{27} K. Chociaż w tym czasie silne oddziaływanie jądrowe oddzieliło się od grawitacyjnego i elektrosłabego, jednak jego poziom energetyczny był wciąż zbyt wysoki aby utrzymywać protony i neutrony razem - dlatego taki wszechświat był "skwierczącą zupą kwarkową".

Między 10^{-36} a 10^{-32} sekundy trwała tzw. era inflacyjna. W tak krótkim czasie wszechświat powiększył się co najmniej 10^{20} razy w porównaniu z rozmiarem wcześniejszym. Hipoteza wszechświata inflacyjnego jest w stanie poradzić sobie nawet z problemem horyzontu zdarzeń.
Po zakończeniu tego etapu, wszechświat składał się prawie wyłącznie z energii w postaci fotonów i z takich cząstek elementarnych, które nie mogły istnieć jako związane ze sobą stabilniejsze cząstki - spowodowane to było ogromną gęstością energii. Mogły istnieć jako mieszanina kwarków i antykwarków pływających w opisanej wyżej "plazmie kwarkowej". Okres ten trwał między 10^{-32} a 10^{-5} sekundy. W tym czasie rozdzieliło się również oddziaływanie elektrosłabe (na elektromagnetyczne i słabe jądrowe), co zakończyło erę unifikacji fundamentalnych sił (przypada to na czas 10^{-12} sekundy).

Kiedy rozszerzający się pierwotny wszechświat ochłodził się do temperatury 10^{13} K (10^{-6} sekundy), wartość energii obniżyła się do 1 GeV i kwarki mogły już łączyć się formując pojedyncze protony i neutrony (oraz przypuszczalnie inne bariony). W tym czasie istniały już wszystkie cząstki, które obecnie występują we wszechświecie, mimo iż temperatura była nadal zbyt wysoka aby umożliwić powstawanie jąder atomowych. Od tego momentu możemy już zacząć mówić o standardowym modelu Wielkiego Wybuchu.

W 0.02 sekundy wszechświat składa się prawie wyłącznie z fotonów, elektrony i pozytony tworzą ze sobą pary i ulegają anihilacji. Produkcja par elektron-pozyton dostarcza maksymalnej energii 1 MeV, stąd energia cieplna wynosiła 8.6 MeV (temperatura 10^{11} K a gęstość 4×10^{9} *).
Różnica energii między neutronem i protonem wynosiła 1.29 MeV, dlatego też protony mogły się swobodnie zamieniać w neutrony w takiej temperaturze, jaka wówczas panowała. Oszacowano, na podstawie wartości gęstości, że na liczbę 10^{9} fotonów przypada tylko jeden barion. Odkąd wprowadzono zasadę zachowania liczby barionowej, wnioskujemy, że stosunek fotonów do barionów jest stały nawet mimo procesu ekspansji wszechświata.

W 0.11 sekundy gęstość materii wynosiła 30 000 000 (temperatura 3×10^{10} K, energia 2.6 MeV). Wolne neutrony zanikały, tworząc protony - nastąpiła nadwyżka protonów nad neutronami (w stosunku 68% do 38%).

W 1.09 sekundy wszechświat zaczyna być przeźroczysty dla neutrin. Przypuszcza się, że obecnie kosmos jest wypełniony promieniowaniem elektromagnetycznym, które jest źródłem wyłaniających się wtedy neutrin. Jednak rozszerzająca się materia nadal nie przepuszcza fal elektromagnetycznych (temperatura rzędu 10^{10} K, energia równa 860 KeV, stosunek liczby protonów do neutronów: 76% do 24%).

W kolejnym etapie (13.8 sekundy) liczba elektronów i pozytonów gwałtownie maleje. Istnieje już możliwość formowania się jąder atomowych, takich jak np. helu-4, jednak nie tworzą się one trwale ze względu na niestabilność w temperaturze 3×10^{9} K (energia wynosiła 260 MeV).

W czasie 3 min. 2 sekund od Wielkiego Wybuchu głównymi składnikami materii wszechświata są fotony i neutrina. Elektrony i pozytony prawie wyginęły. Przewaga protonów nad neutronami jest ponad sześciokrotna (86% protonów, 14% neutronów), mimo to reprezentują niewielki ułamek całkowitej zgromadzonej energii (86 KeV), temperatura wynosi 10^{9} K.

Dochodzimy do czasu 3 min. 46 sekund kiedy to deuter jest już stabilny. Wszystkie

neutrony przemieniają się najpierw w deuter a potem w jądra helu (cząstki alfa). W tym czasie hel stanowi już 26% masy całego ówczesnego wszechświata.
Gdyby proces ekspansji przebiegał wolniej, prawie wszystkie neutrony mogłyby zaniknąć i nie utworzyłyby się żadne atomy (temperatura wszechświata wynosiła 0.9×10^9 K, energia 78 KeV).

Około 34 minuty istnienia wszechświata zatrzymały się przemiany jądrowe, trwała natomiast jego ekspansja i dalsze ochładzanie się.

700 000 lat po Wielkim Wybuchu wszechświat był na tyle chłodny aby powstawać mogły trwałe atomy wodoru i helu. Brak zjonizowanych gazów sprawił, że wszechświat stał się, po raz pierwszy, przeźroczysty dla promieniowania świetlnego. Temperatura wynosiła 3000 K, natomiast energia równa była 0.26 eV.

Przyszłe losy Wszechświata

Współczesna Kosmologia próbuje odpowiedzieć na pytanie, jaka będzie przyszłość obecnego Wszechświata. Czy będzie on rozszerzał się nieskończenie? Czy ucieczka galaktyk zostanie powstrzymana i nastąpi proces odwrotny - kurczenie się Wszechświata? W jakiej formie przetrwa materia i co będzie z nami…? Kiedy dostaniemy odpowiedź, oznaczać to będzie władzę człowieka nad kosmosem.

Bibliografia:
Hawking, S. W.: Krótka historia czasu, Warszawa 1990
Heller, M.: Początek jest wszędzie, Warszawa 2002
Heller, M.: Ewolucja kosmosu i kosmologii, Warszawa 1985.
Barrow, J.: Początek Wszechświata, Warszawa 1995.
Internet