

## Kataliza syntezy jądrowej?

Synteza jądrowa, główne źródło energii gwiazd, jest niezwykle efektywnym sposobem uwalniania energii uwięzionej pod postacią masy. Wystarczy porównać masę czterech protonów (jąder wodoru) z masą cząstki  $\alpha$  (jądra helu), żeby się przekonać o prawie siedmiopromilowym zysku ze spakowania czterech nukleonów w jedno jądro.

Jest to najefektywniejszy sposób pozyskiwania energii z materii. Bardziej efektywna jest tylko anihilacja, ale ta wymaga użycia antymaterii, której nie ma skąd wziąć.

Opanowanie produkcji energii netto w wyniku kontrolowanej syntezy jądrowej mogłoby rozwiązać energetyczne problemy ludzkości. Jest jednak problem z temperaturą zapłonu.

Aby zaszła reakcja, należy bardzo zbliżyć dwa lekkie jądra, podczas gdy one bardzo silnie odpychają się elektrostatycznie.

Jednym z pomysłów na katalizowanie syntezy jądrowej jest ekranowanie dodatniego ładunku elektrycznego jądra. Dodanie elektronów nic nie pomaga, bo elektrony są o wiele za lekkie i powstające po dodaniu atomy są monstrualnych rozmiarów: są cztery rzędy wielkości za duże. Wystarczy jednak użyć 200 razy masywniejszych od elektronów mionów, żeby rozmiary atomu stały się porównywalne z rozmiarami jego jądra. To jednak problemów energetycznych ludzkości nie rozwiąże. Po pierwsze, miony są tak nietrwałe, że tylko nieliczne istnieją na tyle długo, aby mogły posłużyć katalizie. Po drugie, z tego samego powodu trzeba je stale produkować, a to obciąża bilans energetyczny.

Kiedyś było inaczej. Tuż po Wielkim Wybuchu mionów było pod dostatkiem. Czy miały one wpływ na proces pierwotnej nukleosyntezy? Proces ten jest bardzo dobrze znany od strony teoretycznej. Obliczenia zgadzają się nadzwyczaj dobrze z pomiarami. To, co wiemy na temat początkowego składu pierwiastkowego, zgadza się np. z oszacowaniami wynikającymi z pomiarów mikrofalowego promieniowania relikтового. Im bardziej precyzyjny staje się obraz, tym drobniejsze niezgodności rzucają się w oczy. Niepokojący jest nadmiar atomów litu 6 mierzony w starych gwiazdach o bardzo niskiej zawartości ciężkich pierwiastków, czyli w gwiazdach, które powstały z pierwotnej zupy bez udziału pyłu przetworzonego w wybuchach supernowych. Czy uwzględnienie udziału masywnych, naładowanych cząstek w procesie pierwotnej nukleosyntezy mogłoby pomóc w wyjaśnieniu tej niezgodności?

Oczywiście, miony nic tu nie pomogą, bo ich było co prawda pełno, ale dużo wcześniej. Potrzebne byłyby cząstki naładowane o czasie życia porównywalnym do czasu pierwotnej nukleosyntezy, czyli rzędu tysiąca sekund. Okazuje się, że takie obiekty są przewidywane przez wiele konkurencyjnych teorii cząstek. Jedną z nich jest supersymetria, uważana za jedno z najbardziej obiecujących rozszerzeń Modelu Standardowego.

Takie masywne (o masach rzędu masy najcięższych pierwiastków), naładowane cząstki o odpowiednim czasie życia są przewidywane w kilku wersjach supersymetrii. Niedawno ukazały się prace [1], które pokazują, że modele te pozwalają na uzyskanie zgodności danych dotyczących rozpowszechnienia litu z pierwotną nukleosyntezą.

Przydałby się jakiś Ockham ze swoją brzytwą, ale uprawiający kosmologię i fizykę cząstek już dawno

zapomnieli, że ktoś taki w ogóle istniał. Bardziej tradycyjnie nastawieni odczuwają niesmak, stykając się z informacją o badaniach, których nie wiadomo, jak sprawdzić. Wspomniany pomysł jednak do nich nie należy – proponowany scenariusz ma tę miłą cechę, że będzie można go sprawdzić i to prawie za chwilę. Jeżeli pierwotna nukleosynteza była katalizowana przez długożyciowe, masywne, naładowane cząstki, to właśnie takie cząstki będą produkowane w Wielkim Zderzaczu Hadronów LHC, który, mimo trudności, zbliża się do uruchomienia. Tylko czy cząstki takie da się w budowanych przy LHC detektorach wykryć?

Urządzenia te nie były projektowane w tym celu. Ponieważ poszukiwanie nieznanymi efektów wiąże się z bardzo małymi prawdopodobieństwami, więc LHC będzie działać z częstotliwością 40 MHz po to, aby choć trochę takich niezwykle rzadkich zdarzeń zarejestrować. Informacja o każdym zdarzeniu będzie rejestrowana przez miliardy kanałów elektroniki. Każdy dodatkowy kanał kosztuje. Chodzi nie tylko o pieniądze, lecz także o miejsce i czas potrzebny do przetworzenia rejestrowanej informacji. Detektory były optymalizowane pod kątem wyeliminowania zbędnych informacji. Za zbędną została uznana możliwość pomiaru masy stabilnych, z punktu widzenia detektora, cząstek.

W takim razie odróżnienie masywnych, naładowanych cząstek od pozostałych, praktycznie bezmasowych, powinno być niemożliwe.

Okazuje się, że nie tylko nie jest tak źle, ale wręcz jest bardzo dobrze. Ta sama oszczędność, która miała, z konieczności, ograniczyć wrażliwość detektorów, spowodowała jej zwiększenie. Detektory są otoczone warstwami tzw. komór mionowych, czyli aktywnych płaszczyzn, do których dochodzą praktycznie tylko miony, gdyż żyją dostatecznie długo, słabo oddziałują z materią (są bardzo przenikliwe) i są wystarczająco masywne, żeby nie tracić dużo energii na skutek oddziaływań elektromagnetycznych (tak, jak to dzieje się z elektronami). Hipotetyczne katalizatory pierwotnej nukleosyntezy zachowywałyby się tak samo jak miony. Główną różnicą byłoby ich opóźnienie związane z dużą masą, a więc zauważalnie mniejszą prędkością od prędkości światła. Szczęśliwie, jako komory mionowe zastosowano, między innymi, tuby dryfowe, czyli detektory, które precyzyjnie wyznaczają jedną współrzędną, mierząc czas dryfu sygnału z jonizacji do umieszczonego wzdłuż osi tuby drutu. W ten sposób jedna tuba potrafi obsłużyć kilka centymetrów mierzonej współrzędnej. Przy okazji spóźniałskie cząstki wyglądają inaczej niż relatywistyczne miony. Przechodząc przez wiele warstw, trafiają raz z lewej, raz z prawej strony drutu, więc sygnały przez nie spowodowane, zamiast ułożyć się na prostej, są systematycznie odsunięte od drutu. Pomiar wielkości tego odsunięcia pozwala na oszacowanie masy takiej cząstki.

Dzięki temu już niedługo przekonamy się, czy kataliza pierwotnej nukleosyntezy miała miejsce.

Piotr ZALEWSKI

[1] Zobacz np.: M. Pospelov, *Particle Physics Catalysis of Thermal Big Bang Nucleosynthesis*, Phys. Rev. Lett. **98** (2007) 231301