

Chłód ciemnej materii

Każdy fizyk-turysta wie, że igła magnesu wskazuje kierunek północny, gdyż jest ona dipolem magnetycznym, który oddziałuje z polem magnetycznym Ziemi. Analogiczne efekty mają także miejsce dla znacznie mniejszych układów opisywanych fizyką kwantową. Na poziomie pojedynczych atomów moment magnetyczny jąder atomowych oddziałuje z polem elektromagnetycznym wytwarzanym przez elektrony oraz z momentami magnetycznymi elektronów, w wyniku czego powstaje wiele poziomów energetycznych bardzo niewiele różniących się energią, nazywanych strukturą nadsubtelną widma energetycznego. W przypadku atomu wodoru promieniowanie odpowiadające przejściu między takimi dwoma poziomami należy do zakresu mikrofalowego i ma częstotliwość 1420 MHz oraz długość fali 21 cm. Prawdopodobieństwo emisji takiego promieniowania jest niezwykle małe – stan wzbudzony żyje około 10 mln lat. Powoduje to, że niełatwo badać takie przejścia w laboratorium.

Badanie emisji i absorpcji promieniowania związanego ze strukturą nadsubtelną atomu wodoru ma wielkie znaczenie w astrofizyce i kosmologii. Pierwsza detekcja miała miejsce w roku 1951 i została dokonana przez Harolda Ewena i Edwarda Purcella. Już kilka lat później badania natężenia tego promieniowania pozwoliły na zbadanie rozkładu materii w naszej Galaktyce i jednoznaczne określenie, że Droga Mleczna jest galaktyką spiralną oraz zmierzenie prędkości obiegu materii galaktycznej wokół centrum. Pomiar natężenia tego promieniowania może również pozwolić na wyznaczenie rozkładu materii w całym obserwowalnym wszechświecie, również w nieprzezroczystych obłokach gazowych, a przez to lepsze zrozumienie, skąd ta materia się wzięła i jak ewoluowała.

Niedawno Judd Bowman ze współpracownikami donieśli o zaobserwowaniu takiego promieniowania pochodzącego z odległych galaktyk i wyemitowanego w czasach, kiedy powstawały pierwsze gwiazdy. Na tej podstawie można było wyznaczyć temperaturę gazu, który oddziaływał z tym promieniowaniem. Ku zaskoczeniu badaczy okazało się, że kosmiczny wodór nie tylko był bardzo zimny, zimniejszy niż wypełniające wszechświat mikrofalowe promieniowanie tła, ale jeszcze tej różnicy temperatur nie dało się wyjaśnić żadną znaną fizyką.

Istnieje wiele mechanizmów podgrzewania kosmicznego gazu, ale jego chłodzenie wymaga oddziaływania z materią, która jest od niego zimniejsza. Czym mogła być tego rodzaju materia? Kosmologowie mają na to w zanadru gotową odpowiedź – to tzw. zimna ciemna materia, złożona z nieodkrytych jeszcze w laboratorium i stosunkowo ciężkich cząstek, która na tym etapie ewolucji wszechświata oddziałuje z pozostałymi jego składnikami przede wszystkim za pomocą oddziaływań grawitacyjnych.

Możliwe są jednak niezwiązane z grawitacją bardzo słabe oddziaływania ciemnej materii z tą widzialną. Prawdopodobieństwo takiego oddziaływania może zależeć od temperatury, a dokładniej od względnej prędkości między barionem a cząsteczką ciemnej materii, którą rozprasza – im mniejsza jest ta prędkość, tym oddziaływanie bardziej prawdopodobne. Okres tworzenia pierwszych gwiazd zapewnia wyjątkowe warunki fizyczne, które nie występowały w innych chwilach ewolucji wszechświata. W szczególności, w tym czasie gaz kosmiczny jest najzimniejszy – wcześniej był gorętszy, bo stygnął w miarę rozszerzania się wszechświata, a później był podgrzewany za pomocą promieniowania rentgenowskiego i innego promieniowania ciepłego

z obiektów astrofizycznych. Oznacza to, że prędkości atomów gazu są w tym czasie najmniejsze.

Modelowanie sygnału otrzymanego przez Bowmana i współpracowników wskazuje na to, że cząstki tworzące zimną ciemną materię powinny mieć masę rzędu masy protonu, a siła ich oddziaływań ze znaną materią, tłumacząca skuteczne chłodzenie, pozostaje w zgodzie ze znanymi ograniczeniami fizycznymi.

Czy oznacza to, że (znowu) odkryto ciemną materię? Na takie stwierdzenie jest jeszcze za wcześnie, zwłaszcza że możliwa obecność ciemnej materii jest tu stwierdzana tylko pośrednio. Jednak badanie w skali kosmicznej promieniowania pochodzącego z przejść między poziomami struktury nadsubtelnej atomu wodoru jest jeszcze w powijakach, można zatem sądzić, że kolejne obserwacje i pomiary przyniosą jeszcze bardziej interesujące wyniki.

- [1] J.D. Bowman, A.E.E. Rogers, R.A. Monsalve, T.J. Mozdzen, N. Mahesh, An absorption profile centered at 78 megahertz in the sky-averaged spectrum, *Nature* 555 (2018) 67–70
- [2] R. Barkana, Possible interaction between baryons and dark-matter particles revealed by the first stars, *Nature* 555 (2018) 71–74

Krzysztof TURZYŃSKI