

## Ośrodek międzygwiazdowy w okolicy Słońca: wnioski z analizy obserwacji strumieni atomów neutralnych

Przestrzeń kosmiczna w Galaktyce wypełniona jest namagnesowaną plazmą, nazywaną ośrodkiem międzygwiazdowym. Ośrodek międzygwiazdowy jest niejednorodny i składa się z obszarów o znacząco różnych warunkach fizycznych, jak temperatura, gęstość i stopień jonizacji. Słońce znajduje się w Lokalnym Obłoku Międzygwiazdowym, który ma łączną gęstość jonów i atomów ok.  $0.5 \text{ cm}^{-3}$  i temperaturę ok. 7500 K. Jest on jednym z wielu obłoków o podobnych własnościach, poruszających się względem siebie z prędkościami rzędu kilku km/s i zanurzonych w tzw. Lokalnym Bąblu o bardzo niskiej gęstości ( $0.001 \text{ cm}^{-3}$ ) oraz wysokiej temperaturze ( $10^6 \text{ K}$ ). Struktura ta została wykształcona na skutek serii wybuchów supernowych około miliona lat temu. Słońce emituje wiatr słoneczny, który tworzy wnękę w Lokalnym Obłoku Międzygwiazdowym, nazywaną heliosferą, odgradzącą Układ Słoneczny od bezpośredniego wpływu zewnętrznej plazmy. Słońce porusza się względem otaczającego ośrodka, co powoduje, że heliosfera przybiera wydłużony, kometopodobny kształt. Kilka lat temu Voyager 1 po 35 latach od startu przekroczył granicę pomiędzy heliosferą a zewnętrznym ośrodkiem, nazywaną heliopauzą, w odległości ok. 120 AU (120 razy większej niż odległość Ziemi od Słońca). Umożliwiło to po raz pierwszy bezpośrednio zbadanie otaczającego nas ośrodka międzygwiazdowego. Niestety, część przyrządów uległa do tego czasu awarii, nie pozwalając między innymi na dokładne badania plazmy. Z tego powodu istotna jest możliwość zdalnego badania ośrodka międzygwiazdowego. Pole magnetyczne w heliosferze i ośrodku międzygwiazdowym powoduje, że cząstki naładowane, jak jony czy elektrony, praktycznie nie przenikają z ośrodka międzygwiazdowego tak, by była możliwa ich obserwacja w okolicach Ziemi. Takich ograniczeń nie mają między innymi atomy neutralne. Dlatego stanowią one istotne źródło informacji o materii na zewnątrz heliopauzy. Poruszają się po trajektoriach nieznacznie zakrzywionych przez grawitację i ciśnienie promieniowania, co pozwala na identyfikację kierunku, z którego pochodzą.

IBEX jest satelitą Ziemi przeznaczonym do obserwacji atomów o energiach w zakresie 0.01 – 6 keV (dla atomu wodoru 1 keV oznacza prędkość ok. 440 km/s). Grupa z CBK PAN uczestniczy w tych badaniach od ich początku. Między innymi, na podstawie wyników misji zbadała atomy helu pochodzące z ośrodka międzygwiazdowego i na tej podstawie wyznaczyła jego temperaturę rzędu 7500 K oraz prędkość względem Słońca 26 km/s. Udało się nam również odkryć pewną dodatkową populację, nazwaną przez nas Ciepłą Bryzą, która jest skierowana nieco na ukos względem głównego kierunku płynięcia Słońca. Wydaje się, że jej źródłem są jony podgrzane na skutek zderzenia ośrodka międzygwiazdowego i heliosfery na zewnątrz heliopauzy, które ulegają neutralizacji na skutek wymiany ładunku z atomami neutralnymi. Wedle przewidywań modeli heliosfery, odchylenie napływu Ciepłej Bryzy przebiega w płaszczyźnie wyznaczonej przez kierunek pola magnetycznego i napływu materii międzygwiazdowej.

IBEX w wyższych energiach obserwuje energetyczne atomy neutralne wodoru (ang. ENA – energetic neutral atom), które powstają na skutek wymiany ładunku jonu o wysokiej energii z atomem ośrodka międzygwiazdowego. Jednym z niespodziewanych wyników było odkrycie tzw. Wstęgi IBEX-a, czyli rozciągniętego na znacznej części nieba obszaru, z którego obserwuje się podwyższony strumień ENA. Spośród wielu zaproponowanych modeli obecnie najbardziej prawdopodobny wydaje się tzw. model wtórnych ENA, w którym obserwowane atomy powstają za heliopauzą, w miejscach gdzie linie pola magnetycznego są prawie prostopadłe do kierunku widzenia. Ich pierwotnym źródłem są zneutralizowane jony wiatru słonecznego. Model ten tłumaczy wiele wykazywanych przez Wstęgę własności, lecz nieznanym jest powód zmiany położenia Wstęgi w różnych energiach. Modele sugerują tylko nieznaczne jej przesunięcie wzdłuż płaszczyzny odchylenia Bryzy, a w rzeczywistości jest ono niemal prostopadłe do niej. INCA na sondzie Cassini jest innym instrumentem, który obserwuje ENA o wyższych energiach niż IBEX. Na podstawie tych obserwacji zauważono tzw. Pas INCA, który jest podobny do obserwowanej Wstęgi, lecz jednak względem niej przesunięty o ok.  $35^\circ$ .

W tym projekcie chcemy zbadać hipotezy, które mogłyby wyjaśnić, czy Wstęga IBEX-a i Pas INCA są przejawem tego samego, czy różnych zjawisk fizycznych. Sprawdzimy, czy to struktura wiatru słonecznego (wolny koło równika, szybki przy biegunach) powoduje widoczne przesuwanie się tych obiektów na niebie. Zbadamy, czy oddziaływanie naszego i sąsiedniego obłoku międzygwiazdowego między sobą lub naszego obłoku z gorącą plazmą Lokalnego Bąbla może częściowo tłumaczyć obserwacje w wyższych energiach. Mogłoby to pozwolić na wyznaczenie odległości do miejsca oddziaływania. Obecnie nie jest możliwe wyznaczenie odległości do granicy Lokalnego Ośrodka Międzygwiazdowego na podstawie obserwacji teleskopowych wskutek zbyt małej grubości optycznej i znana jest tylko górna granica takiej odległości, szacowana na ok. 20 000 AU. Wytłumaczenie obserwacji wskutek procesów na jej granicy mogłoby pozwolić na lepsze zrozumienie struktury tej granicy oraz procesów zachodzących w ośrodku międzygwiazdowym.