

Warszawa, 25 kwietnia 2016

Ciepła Bryza potwierdza deformację heliosfery

Słońce wytwarza wokół Układu Słonecznego bańkę, nazywaną heliosferą, która chroni nas przed galaktycznym promieniowaniem kosmicznym. Naukowcy z Centrum Badań Kosmicznych PAN w Warszawie we współpracy z badaczami ze Stanów Zjednoczonych, Szwajcarii i Rosji odkryli nieznaną dotąd składową neutralnego gazu międzygwiazdowego, docierającą do wnętrza Układu Słonecznego. Kierunek napływu tej składowej, nazwanej Ciepłą Bryzą, jest odchylony o prawie dziesięć stopni od kierunku ruchu Słońca w ośrodku międzygwiazdowym. Najprawdopodobniej Ciepła Bryza powstaje na granicy heliosfery, a jej odchylenie wskazuje płaszczyznę symetrii heliosfery, zdeformowanej przez międzygwiazdowe pole magnetyczne. Zidentyfikowanie źródeł Ciepłej Bryzy otwiera nową perspektywę badania opływu heliosfery przez materię międzygwiazdową.

Korona słoneczna, którą widać w trakcie całkowitych zaćmień Słońca, jest nieustającym źródłem wiatru słonecznego, będącego przenikniętą polem magnetycznym mieszaniną protonów, elektronów i zjonizowanych jąder atomowych. Wiatr słoneczny wytwarza wydłużoną wnękę w ośrodku międzygwiazdowym, nazywaną heliosferą, która sięga ponadstukrotnie dalej niż orbita Ziemi i chroni ją przed bezpośrednim działaniem galaktycznego promieniowania kosmicznego.

Ośrodek międzygwiazdowy jest wypełniony rozrzedzoną i częściowo zjonizowaną materią o temperaturze około 7500 K. Słońce porusza się w nim z szybkością około 25.8 km/s. Naładowana elektrycznie część tej materii nie może swobodnie wnikać do wnętrza heliosfery ze względu na oddziaływanie z polem magnetycznym i musi ją opływać, zaś niezjonizowane atomy wnikają swobodnie do jej środka. Na ruch atomów w heliosferze wpływają dwa czynniki – grawitacja, która je przyciąga i ciśnienie promieniowania, które je odpycha. Część z tych atomów dociera w pobliże Ziemi jako "neutralny wiatr międzygwiazdowy", gdzie można je dokładnie zbadać. W 2008 roku NASA wystrzeliła małego satelitę *Interstellar Boundary Explorer* (IBEX), którego zadaniem jest obserwacja strumieni tych atomów. „Wodór, którego jest najwięcej w ośrodku międzygwiazdowym, dociera do orbity Ziemi w znikomych ilościach, bo jest po drodze prawie w całości jonizowany. Dlatego najwięcej rejestrowanych atomów to hel, który jest jonizowany znacznie słabiej” – tłumaczy doktorantka Justyna Sokół z zespołu naukowców CBK PAN, który zajmuje się analizą strumieni atomów pochodzących z ośrodka międzygwiazdowego. – „Oprócz helu udało nam się jednak zaobserwować i wodór, a także tlen, neon i śladowe ilości deuteru”.

Większość rejestrowanego sygnału pochodzi od badanego od dawna helu

międzygwiazdowego, który uczeni z CBK PAN wraz z amerykańskimi kolegami analizowali od samego początku misji IBEX. „Jednak w danych było coś jeszcze, coś, czego się nie spodziewaliśmy. Doszliśmy do wniosku, że to musi być jakiś dodatkowy strumień atomów, ale nie wiedzieliśmy, jakie jest jego źródło, bo mieliśmy za mało danych” – opowiada mgr Marzena Kubiak z CBK PAN, która wraz z Justyną Sokół i Maciejem Bzowski opracowała warszawski model rozkładu gazu międzygwiazdowego w heliosferze oraz wykonała symulacje niezbędne do analizy obserwacji. – „Wiedzieliśmy tylko, że jest dużo rzadszy niż hel międzygwiazdowy, znacznie od niego cieplejszy, napływa wolniej i trochę z boku. Postawiliśmy kilka hipotez, skąd się ta «Ciepła Bryza» może brać i w 2014 roku ogłosiliśmy jej odkrycie w *The Astrophysical Journal Supplement Series*” .

Obserwacja gazu międzygwiazdowego jest możliwa tylko wtedy, gdy IBEX wraz z Ziemią porusza się pod prąd tego napływu. W praktyce przyrządy IBEX-a "widzą" hel międzygwiazdowy tylko w pierwszym kwartale każdego roku, a Ciepłą Bryzę od grudnia do marca. Dokładniejsze zbadanie Ciepłej Bryzy wymagało drobiazgowego przeanalizowania danych z sześciu lat obserwacji i precyzyjnego wyznaczenia temperatury oraz kierunku i szybkości napływu "wiatru międzygwiazdowego" na heliosferę. „Sygnały od Ciepłej Bryzy i helowego wiatru międzygwiazdowego częściowo się przekrywają i chodziło o to, aby jak najlepiej je rozdzielić” – wyjaśnia dr hab. Maciej Bzowski, kierownik zespołu CBK PAN, który prowadził te badania. – „Bez dokładnego zbadania wiatru międzygwiazdowego nie mogliśmy posunąć się dalej w badaniu Bryzy”. W listopadzie zeszłego roku wyniki najprecyzyjniejszej jak dotąd analizy wiatru międzygwiazdowego, do uzyskania których w zasadniczej mierze przyczynili się badacze z CBK PAN, zostały opublikowane w specjalnym numerze czasopisma *The Astrophysical Journal Supplement Series*.

Obecnie grupa z CBK PAN wraz z kolegami ze Stanów Zjednoczonych i Szwajcarii zakończyli kolejny etap badania nowego zjawiska, jakim jest Ciepła Bryza. Na podstawie danych z pięciu sezonów obserwacyjnych dokładnie wyznaczyli temperaturę oraz szybkość i kierunek napływu Ciepłej Bryzy. „Kiedy zobaczyliśmy te wyniki i zestawiliśmy je z kierunkami napływu na heliosferę międzygwiazdowego helu i wodoru, natychmiast zrozumieliśmy, czym jest Ciepła Bryza. To musi być tzw. wtórna populacja gazu międzygwiazdowego, która powstaje w podgrzanej plazmie opływającej heliosferę” – opowiada Paweł Swaczyna, doktorant z zespołu CBK PAN, który opracował metodę wyznaczenia parametrów napływu, uwzględniającą znane źródła niepewności pomiarowych danych IBEX-a. – „Te trzy kierunki z bardzo dobrą dokładnością układają się wzdłuż jednej płaszczyzny, dokładnie tak, jak przewiduje teoria dla heliosfery zdeformowanej przez międzygwiazdowe pole magnetyczne. Trudno uwierzyć, aby to był przypadek”.

Przechodząc przez Lokalny Obłok Międzygwiazdowy, heliosfera rozpycha na boki międzygwiazdową plazmę, podobnie jak dziób płynącego statku wzburza falę na wodzie. Modele heliosfery przewidują, że w obrębie tej fali powinna powstawać dodatkowa populacja atomów neutralnych, tzw. populacja wtórna, z których część wpływa do wnętrza heliosfery: to właśnie jest Ciepła Bryza. Gdyby w materii międzygwiazdowej wokół Słońca nie było pola magnetycznego, heliosfera miałaby symetrię osiową wokół kierunku swego ruchu i populacja wtórna, czyli Ciepła Bryza, napływałaby dokładnie od czoła. Jednak w obecności pola magnetycznego, nachylonego pod pewnym kątem do kierunku ruchu Słońca, heliosfera powinna się odkształcić w charakterystyczny sposób, a populacja wtórna powinna napływać do heliosfery pod pewnym kątem. Wielkość tego kąta zależy od pierwiastka – jest mniejsza dla wodoru, a większa dla helu – ale płaszczyzna odchylenia powinna być wspólna. I to właśnie zaobserwowano.

Co więcej, okazało się, że płaszczyzna ta zawiera także środek Wstęgi IBEX-a. Wstęga IBEX-a to wielka łukowata struktura na niebie, z którego napływa podwyższony strumień atomów neutralnych o prędkościach około dziesięciokrotnie wyższych od prędkości atomów gazu międzygwiazdowego. Wstęga została odkryta zaraz na początku misji IBEX. Jednym z głównych celów misji IBEX była obserwacja strumieni szybkich atomów, pochodzących z granic heliosfery, ale istnienia Wstęgi nikt się nie spodziewał. Odkrycie jej pociągnęło za sobą lawinę hipotez co do jej pochodzenia. Obecnie wydaje się, że najbardziej prawdopodobne jest powiązanie istnienia Wstęgi z polem magnetycznym w Obłoku Lokalnym, opiętym na heliosferze trochę jak naciąg rakietowej opina się na piłce. Środek Wstęgi powinien wskazywać na kierunek tego pola. Modele przewidują, że płaszczyzna, w której odchylona jest Bryza, powinna być wyznaczona przez kierunek ruchu Słońca przez Obłok Lokalny i kierunek lokalnego pola magnetycznego. Zatem widziany z wnętrza Układu Słonecznego środek Wstęgi powinien znajdować się w płaszczyźnie odchylenia wtórnej populacji gazu międzygwiazdowego – i to właśnie stwierdziła grupa z CBK PAN.

„Zrozumienie natury Bryzy otwiera zupełnie nowe perspektywy badania heliosfery i jej otoczenia” – mówi dr Bzowski. – „Po raz pierwszy mamy okazję obserwacyjnego zbadania opływu heliosfery przez materię międzygwiazdową. Dzięki temu będziemy mogli określić deformację heliosfery przez pole magnetyczne i zbadać stan fizyczny materii w zewnętrznym otoku heliosfery. Dotychczas mogliśmy to studiować wyłącznie w symulacjach opartych o teoretyczne modele”. – „Rozpoznanie natury Ciepłej Bryzy i precyzyjne wyznaczenie prędkości i temperatury wiatru międzygwiazdowego to świetny punkt wyjścia do zupełnie unikatowych badań nad materią międzygwiazdową” – wtóruje mu Justyna Sokół. – „Teraz możemy szukać w danych dowodów, że materia międzygwiazdowa przy heliosferze ma «różne temperatury w różnych kierunkach», czyli że temperatura materii jest anizotropowa, że jest w niej nadwyżka cząstek o wyższych energiach i tak dalej. Sprawdziliśmy już, gdzie należałoby szukać oznak tego na niebie, ale najbardziej przydałby się nam nowy, lepszy instrument. Na przykład taki, jaki ma być na planowanym satelicie *Interstellar Mapping and Acceleration Probe*” – dodaje uczona.

Grupa z Zespołu Fizyki Układu Słonecznego i Astrofizyki CBK PAN (dr hab. Maciej Bzowski, mgr Marzena A. Kubiak, mgr Justyna M. Sokół, mgr Paweł Swaczyna) prowadzi badania nad heliosferą i materią międzygwiazdową w ramach Zespołu Naukowego misji IBEX we współpracy z naukowcami ze Stanów Zjednoczonych, Szwajcarii, Niemiec i Rosji. Wyniki dotyczące zrozumienia natury Ciepłej Bryzy przedstawione zostały w artykule opublikowanym w prestiżowym czasopiśmie naukowym *The Astrophysical Journal Supplement Series*. Udział polskich badaczy w misji IBEX możliwy jest dzięki projektom finansowanym przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, a następnie przez Narodowe Centrum Nauki w ramach grantów 2012/06/M/ST9/00455 i 2015/18/M/ST9/00036.

INFORMACJE DODATKOWE:

1. Centrum Badań Kosmicznych Polskiej Akademii Nauk (CBK PAN) to interdyscyplinarny instytut naukowy, utworzony w 1976 roku. CBK PAN prowadzi za pomocą eksperymentów kosmicznych badania w zakresie fizyki bliskiej przestrzeni kosmicznej, w tym badania Słońca, planet i małych ciał Układu Słonecznego oraz geodynamiki i geodezji planetarnej, a także prace badawczo-rozwojowe w zakresie technologii satelitarnych i technik kosmicznych dla badań Ziemi. CBK PAN brało udział w najbardziej prestiżowych międzynarodowych misjach kosmicznych, m.in. CASSINI (badania Saturna i jego księżyca, Tytana), INTEGRAL (kosmiczne laboratorium wysokich energii), MARS EXPRESS (orbiter marsjański) i ROSETTA (misja do komety). W Centrum zbudowano ok. 70 przyrządów, które zostały wyniesione w przestrzeń kosmiczną na pokładach satelitów i sond międzyplanetarnych.

2. Badania prowadzone przez CBK PAN pozwoliły zbudować lokalny model jonosfery nad Europą, zapewniający dokładne prognozy heliogeofizyczne dla krajowych służb telekomunikacyjnych oraz międzynarodowego systemu ISES. Dzięki wykorzystaniu nawigacji satelitarnej GPS, w CBK PAN opracowano jednorodną sieć powierzchniową Polski i związano ją z europejskim fundamentalnym układem geodezyjnym EUREF, utworzono Polską Atomową Skalę Czasu o wysokim stopniu stabilności, i uruchomiono stację monitorującą systemu nawigacji satelitarnej EGNOS. Prace w innych dziedzinach pozwoliły poznać m.in. mechanizmy: wydzielania energii w koronie Słońca; oddziaływania wiatru słonecznego z plazmą lokalnego ośrodka międzygwiazdowego i składową neutralną materii międzygwiazdowej w heliosferze; wzbudzenia i propagacji fal plazmowych; kształtowania środowiska plazmowego komety Halleya. Skonstruowany w CBK PAN globalny obraz elektromagnetycznego otoczenia Ziemi pozwolił odkryć jego antropogenne uwarunkowania. W Centrum powstał również jeden z najbardziej wszechstronnych systemów obliczeń orbitalnych małych ciał Układu Słonecznego, umożliwiający m.in. badania stopnia zagrożenia Ziemi przez te obiekty.

3. IBEX to niskobudżetowa sonda amerykańskiej agencji kosmicznej NASA, zbudowana w ramach programu Small Explorers, prowadzonego przez należący do NASA ośrodek Goddard Space Flight Center w Greenbelt, Maryland. Przyrząd powstał w Southwest Research Institute w San Antonio w Teksasie. W zespole naukowym misji znajdują się naukowcy amerykańscy, polscy, szwajcarscy, rosyjscy i niemieccy.

ARTYKUŁY NAUKOWE:

Najnowszy artykuł na temat interpretacji Ciepłej Bryzy jako wtórnej populacji gazu międzygwiazdowego:

Kubiak, M.A., Swaczyna, P., Bzowski, M., Sokół, J.M., Fuselier, S.A., Galli, A., Heirtzler, D., Kucharek, H., Leonard, T.W., McComas, D.J., Möbius, E., Park, J., Schwadron, N.A., Wurz, P. – 2016, *Interstellar neutral helium in the heliosphere from IBEX observations. IV. Flow vector, Mach number, and abundance of the Warm Breeze*, The Astrophysical Journal Supplement Series Vol. **223**:35, doi: 10.3847/0067-0049/223/2/35

<http://iopscience.iop.org/article/10.3847/0067-0049/223/2/25>,

<http://arxiv.org/abs/1603.01741>)

Artykuł o odkryciu Ciepłej Bryzy:

Kubiak, M.A., Bzowski, M., Sokół, J.M., Swaczyna, P., Grzedzielski, S., Alexashov, D.B., Izmodenov, V.V., Möbius, E., Leonard, T., Fuselier, T., Wurz, P., McComas, D.J. – 2014, *Warm Breeze from the starboard bow: a new population of neutral helium in the heliosphere*, The Astrophysical Journal Supplement Series Vol. **213**:29, doi:10.1088/0067-0049/213/2/29

<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0067-0049/213/2/29>),

Artykuły grupy z CBK PAN na temat wyznaczenia temperatury, szybkości i kierunku napływu na heliosferę neutralnego wiatru międzygwiazdowego, opublikowane w specjalnym wydaniu *The Astrophysical Journal Supplement Series*:

<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0067-0049/220/2/26>,

<https://arxiv.org/abs/1510.06187>)

<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0067-0049/220/2/27>,

<https://arxiv.org/abs/1510.04869>)

<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0067-0049/220/2/28>,

<https://arxiv.org/abs/1510.04835>)

<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0067-0049/220/2/29>,

<https://arxiv.org/abs/1510.04874>)

UWAGI DLA REDAKTORÓW:

Informacje na temat badania temperatury Lokalnego Obłoku Międzygwiazdowego, otaczającego Słońce, oraz kierunku i szybkości ruchu Słońca przez ten obłok znaleźć można pod adresami:

http://www.cbk.waw.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=606:dylemat-dotyczcy-najblizszego-galaktycznego-otoczenia-socaroozwiązany&catid=1&Itemid=92

http://www.cbk.waw.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=664:2016-04-19-11-39-53&catid=1:z-naszycz-bada&Itemid=92

Dodatkowe informacje o misji IBEX, udziale w niej naukowców z CBK PAN oraz odkryciu kosmicznej Wstęgi można znaleźć w materiałach prasowych dostępnych pod adresami:

<http://press.cbk.waw.pl/10/cbk10051401/>,

<http://press.cbk.waw.pl/09/cbk09101501/> oraz

<http://press.cbk.waw.pl/09/cbk09122001/>

KONTAKTY DO NAUKOWCÓW:

Misja IBEX, fizyka heliosfery:

dr hab. **Maciej Bzowski**

tel. +48 22 4966308

email: bzowski@cbk.waw.pl

mgr **Marzena Kubiak**

tel. +48 22 4966311

email: mkubiak@cbk.waw.pl

mgr **Justyna Sokół**

tel. +48 22 4966307

email: jsokol@cbk.waw.pl

mgr **Paweł Swaczyna**

tel. +48 22 4966307

email: pswaczyna@cbk.waw.pl

POWIĄZANE STRONY WWW:

<http://www.cbk.waw.pl/>

Strona główna Centrum Badań Kosmicznych PAN.

<http://press.cbk.waw.pl/>

Serwis prasowy Centrum Badań Kosmicznych PAN.

<http://pfusia.cbk.waw.pl/>

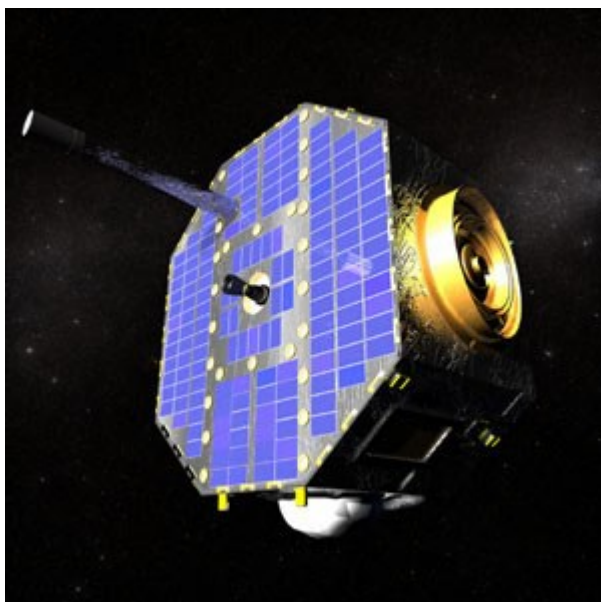
Strona Zespołu Fizyki Kosmicznej i Astrofizyki Centrum Badań Kosmicznych PAN.

<http://ibex.swri.edu/>

Główna strona misji IBEX.

http://www.nasa.gov/mission_pages/ibex/

Misja IBEX na stronach NASA.



CBK120131b_fot01s.jpg – wysoka rozdzielczość

http://press.cbk.waw.pl/12/CBK120131/CBK120131b_fot01.jpg

Wizualizacja komputerowa przedstawiająca sondę IBEX na orbicie wokółziemskiej. (Źródło: NASA, The IBEX Team)