

Warszawa, 6 czerwca 2013

Co Herschel powiedział nam nowego o kometach?

Teleskop Kosmiczny Herschel przez ostatnie cztery lata badał chłodne obiekty Wszechświata, w tym komety w zakresie mikrofalowym umożliwiającym między innymi dokonanie ocen proporcji deuteru do wodoru obecnych w tych obiektach. Uzyskane proporcje dla komet mocno zachwiały naszymi dotychczasowymi przekonaniem o miejscach powstania i ewolucji dynamicznej tych ciał.

Dzięki teleskopowi Herschel poznaliśmy stosunek deuteru do wodoru (D/H) w dwóch kometach. W jednej, 103P/Hartley 2, proporcja ta okazała się podobna do mierzonej w ziemskich oceanach, zaś w drugiej, C/2009 P1 Garradd, wyższa. Były to wyniki bardzo zaskakujące. Dlaczego?

„Stosunek deuteru do wodoru jest dla danego obiektu wskazaniem miejsca, gdzie powstawał on na początku istnienia Układu Słonecznego” - wyjaśnia dr Sławomira Szutowicz z Zespołu Dynamiki Układu Słonecznego i Planetologii CBK PAN, współautorka prac dotyczących obu komet. W pierwotnej mgławicy, z której wyłaniało się Słońce, zachodziła odwracalna reakcja syntezy cząsteczek wody z udziałem zarówno wodoru, jak i deuteru. W niskich temperaturach bardziej faworyzowana jest reakcja prowadząca do koncentracji deuteru w wodzie, stąd im dalej od Słońca powstawał obiekt, tym więcej powinno być tam deuteru w wodzie. Dalsza ewolucja stosunku deuteru do wodoru w funkcji odległości od Słońca była już wynikiem wzrostu ziaren i ich dynamiki w okresie już po powstaniu naszej gwiazdy.

Kometa C/2009 P1 Garradd jest kometą długookresową i badacze często zaliczają ją do grupy komet pochodzących z tzw. Obłoku Oorta, które zgodnie z obowiązującymi poglądami uformowały się w zaraniu istnienia Układu Słonecznego, w pobliżu dużych planet gazowych – Jowisza, Saturna, Urana i Neptuna. Natomiast krótkookresowa kometa 103P/Hartley 2 należy do populacji komet, które powstawały w bardziej zewnętrznych częściach Układu Słonecznego, najpewniej dalej niż orbita Urana.

Dziś znamy ponad dwa tysiące komet. Do niedawna tylko dla kilku jasnych i aktywnych możliwe było zmierzenie D/H. Co ważne, wszystkie z nich identyfikowano z populacją komet związanych z Obłokiem Oorta. Według tych pomiarów – woda, główny składnik lodowych jąder komet, jest dwukrotnie bardziej bogata w deuter niż woda w ziemskich oceanach. Może wydawać się to paradoksalne, ale nie cała woda na naszej niebieskiej planecie jest tutaj od samego początku. Istnieją różne teorie na temat tego w ilu etapach i w jakich ilościach akumulowała ziemska woda, a w końcu z jak odległych obszarów Układu Słonecznego pochodzi woda dostarczona na Ziemię już po jej uformowaniu.

„Pierwotny lód wodny zachował się w obszarach Układu Słonecznego poza orbitą Marsa, skąd został dostarczony na Ziemię około 4 miliardy lat temu w okresie tzw. Wielkiego Bombardowania. Najpewniej istotnie uzupełnił znajdujące się już na Ziemi zasoby wody” – mówi dr Szutowicz. Zgodnie z obecnymi poglądami, co najwyżej 10 procent ziemskiej wody pochodzi z upadków komet. Tymczasem ostatnie wyniki obserwacji kosmicznym teleskopem Herschel podważają ten utarty pogląd, wskazując, że upadki komet mogły odegrać znacznie większą rolę w historii Ziemi. W poszukiwaniu „dostawców” wody na Ziemię bardzo ważnym miernikiem jest deuter. Na Ziemi stosunek deuteru do wodoru wynosi w przybliżeniu 1:6400. Podobny stosunek tych dwóch izotopów posiadają planetoidy poruszające się w zewnętrznym rejonie Pasa Głównego Planetoid, czyli bliżej orbity Jowisza. Stąd też powszechnie to właśnie one uważane są za głównego dostawcę wody na Ziemi.

Teleskop Herschel umożliwił odkrycie, że woda na komecie Hartley 2 charakteryzuje się takim samym stosunkiem deuteru do wodoru, jak woda w ziemskich oceanach. Bliskie przejście w listopadzie 2010 tej komety w pobliżu Ziemi pozwoliło na bardzo precyzyjną rejestrację jej promieniowania w dalekiej podczerwieni, czyli na pomiar emisji wody oraz ciężkiej wody w takim zakresie widma, który nie jest osiągalny przy użyciu teleskopów naziemnych. Ciężkiej wody jest bardzo niewiele w kometach, dlatego też strumień promieniowania jest niski i potrzebne są instrumenty o wysokiej czułości, takie jak HIFI na pokładzie Herschela. „Nasze pomiary pokazały, że w wodzie komety Hartley 2 na jeden atom deuteru przypada 6200 atomów wodoru, czyli tak jak w wodzie ziemskiej (CBK130606b_rys01s.png). Stąd wniosek, że nie tylko kolizje z planetoidami, ale także komety powinny być poważnie brane pod uwagę w dyskusji o obiektach, które dostarczały w przeszłości wodę na Ziemię” - mówi dr Szutowicz. Powstają dodatkowe pytania, na które trudno odpowiedzieć. Czy niska wartość D/H wskazuje na to, że kometa Hartley 2 uformowała się znacznie bliżej Słońca niż dotąd sądzono? Czy obowiązująca teoria na temat rozkładu deuteru z odległością od Słońca powinna ulec zmianie?

Kolejne obserwacje kosmicznym teleskopem Herschel, tym razem emisji wody w długookresowej komecie C/2009 P1 Garradd, przyniosły kolejną niespodziankę. Nowe pomiary wyraźnie wskazały, że zawartość deuteru w tej populacji komet, a przynajmniej jej części, nie jest tak wysoka, jak dotychczas przyjmowano, chociaż wciąż większa niż w wodzie na Ziemi. „Stąd paradygmat o dużej wartości D/H dla wszystkich tzw. komet z Obłoku Oorta przestaje być słuszny, wskazując na znaczną izotopową ich różnorodność” - podkreśla dr Szutowicz. Ostatnie modele opisujące dynamikę Układu Słonecznego we wczesnych etapach jego ewolucji zdają się sugerować, że rozkład małych ciał (pierwotnych komet i planetoid) podlegał wielkoskalowym procesom wymieszania podczas migracji wielkich planet. Stąd przypuszczenie o możliwym zróżnicowaniu izotopowym obiektów należących do tej samej populacji dynamicznej.

Jeszcze niedawno o pochodzeniu komet wnioskowaliśmy wyłącznie z rachunków numerycznych. Te wskazują, że dwie główne populacje, na jakie dzielimy dziś obserwowane komety, powstawały u zarania formowania się Układu Słonecznego tylko w częściowo pokrywających się jego obszarach, generalnie w rejonach ówczesnie zajmowanych przez planety-olbrzymy i w Pasie Kuipera. Przy czym wydaje się, że komety krótkookresowe powstawały dalej od Ziemi niż komety długookresowe, dziś poruszające się po orbitach o mimośrodkach bliskich jedynie. Te ostatnie, obecnie po raz pierwszy pojawiając się w wewnętrznych rejonach Układu Słonecznego, faktycznie przychodzą bezpośrednio z Obłoku Oorta, czyli hipotetycznego obłoku miliardów brył skalno-lodowych, poruszających się na dalekich rubieżach naszego Układu. „Komety długookresowe, takie jak C/2009 P1 Garradd, mylnie jednak utożsamia się z kometami dynamicznie nowymi,

czyli nowymi gośćmi przybyłymi bezpośrednio z Obłoku Oorta. Być może ewolucja dynamiczna C/2009 P1 jest bardziej skomplikowana, niż dotąd sądziliśmy. Spośród komet o obecnie znanym stosunku D/H, tylko jedna wydaje się być kometa dynamicznie nową. To także ciekawe czasy dla badaczy ewolucji dynamicznej małych ciał Układu Słonecznego” - komentuje dr hab. Małgorzata Królikowska-Sołtan z Zespołu Dynamiki Układu Słonecznego i Planetologii CBK PAN.

Badania naukowców z CBK PAN związane z misją Herschel sfinansowano dzięki grantowi Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (181/N-HSO/2008/0). Dotychczas ukazało się kilkanaście publikacji z udziałem polskich naukowców, dotyczących obserwacji atmosfer dużych planet, księżyców Saturna oraz Marsa, a także atmosfer kometarnych. Wysoka rozdzielczość obserwacji spektroskopowych pozwoliła m.in. monitorować w atmosferze kometarnej anizotropową emisję wody. Przykład takiej emisji, czyli przestrzenny rozkład jej intensywności, jaki 19 lipca 2010 zarejestrował teleskop Herschel dla krótkookresowej komety 10P/Tempel 2, przedstawiono na rys. 2 (CBK130606b_rys02s.png).

INFORMACJE DODATKOWE:

1. Centrum Badań Kosmicznych PAN (CBK PAN) to interdyscyplinarny instytut naukowy Polskiej Akademii Nauk. Utworzony w 1976 roku, 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: CASSINI (badania Saturna i jego księżyca, Tytana), INTEGRAL (kosmiczne laboratorium wysokich energii), MARS EXPRESS (orbiter marsjański) czy 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 związane 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. badanie stopnia zagrożenia Ziemi przez te obiekty.

3. Kosmiczne Obserwatorium Herschel to jedna z flagowych misji Europejskiej Agencji Kosmicznej. Został umieszczony na orbicie 9 maja 2009 roku. Przez ostatnie cztery lata był największym teleskopem działającym w przestrzeni kosmicznej o średnicy zwierciadła 3.5 m zamontowanym w układzie Cassegraina. Urządzenia detekcyjne teleskopu rejestrują promieniowanie w zakresie dalekiej podczerwieni i fal submilimetrowych, i pracują w temperaturze bliskiej zera absolutnego, co umożliwia badanie najchłodniejszych obiektów Wszechświata. Obecnie ciekły hel, służący do chłodzenia detektorów, uległ wyczerpaniu i teleskop stopniowo kończy swoją pracę. Z Ziemi takie badania są niemożliwe z powodu nieprzezroczystości atmosfery. W CBK PAN została skonstruowana jednostka kontrolna lokalnego oscylatora teleskopu – LCU, ang. *Local Oscillator Control Unit*. Waga ok. 17 kg skrzynka zawiera 28 modułów elektronicznych o wysokiej odporności na radiację. Zadaniem LCU było zasilanie, sterowanie i kontrolowanie układów powielaczy mikrofalowych oraz syntetyzera częstotliwości instrumentu HIFI, ang. *Heterodyne Instrument for the Far Infrared*. Wielostopniowy system zabezpieczeń sprzętowych i programowych, zaproponowany przez CBK PAN i zrealizowany w kooperacji z Max-Planck-Institut für Radioastronomie z Bonn, zapewnia ochronę bardzo czułych elementów mikrofalowych teleskopu. Prace nad LCU trwały około dziesięć lat (od 1999 do 2008 roku) i zaangażowanych w nie było 17 pracowników CBK PAN pod kierownictwem dr. Piotra Orleańskiego. Grupa naukowców z CBK PAN: prof. dr hab. Marek Banaszkiewicz, dr Maria I. Błęcka i dr Sławomira Szutowicz, wchodzi w skład międzynarodowego zespołu badawczego – Herschel Solar System Observations (HssO), który zajmuje się szerokim zakresem zagadnień związanych z procesami fizycznymi i chemicznymi zachodzącymi z udziałem wody w atmosferach planetarnych oraz kometarnych.

4. Komety bardzo różnią się od planetoid, zarówno swoją budową fizyczną, jak i dynamiką. Są to małe obiekty naszego Układu Słonecznego, których jądra są bryłami o rozmiarach zwykle nieprzekraczających kilkunastu kilometrów i o mniej lub bardziej zwartej budowie. W przeciwieństwie do planetoid, komety poruszają się wokół Słońca po orbitach zwykle znacznie bardziej „wydłużonych”, toteż większość swego okresu orbitalnego spędzają daleko od Słońca. Ponieważ złożone są głównie z lodów i pyłu, to podczas zbliżania się do Słońca ich aktywność rośnie – powstaje otoczka gazowo-pyłowa wokół jądra i rozwijają się warkocz kometarne.

UWAGI DLA REDAKTORÓW:

Dodatkowe informacje o misji Herschel, udziale w niej naukowców oraz inżynierów z CBK PAN można znaleźć w materiałach prasowych dostępnych pod adresem: <http://press.cbk.waw.pl/11/cbk110209/>

KONTAKTY DO NAUKOWCÓW:

Misja Herschel, fizyka komet:

dr Sławomira Szutowicz
Pracownia Dynamiki Układu Słonecznego i Planetologii
tel. +48 22 4966212
email: slawka@cbk.waw.pl

Dynamika komet:

dr hab. Małgorzata Królikowska-Sołtan
Pracownia Dynamiki Układu Słonecznego i Planetologii
tel. +48 22 49662321
email: mkr@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://www.esa.int/SPECIALS/Herschel/>
Główna strona Kosmicznego Obserwatorium Herschel w serwisie ESA.

<http://www.mps.mpg.de/projects/herschel/HssO/>
Główna strona grupy Herschel Solar System Observations (HssO).

MATERIAŁY GRAFICZNE:**CBK130606b_rys01s.png****HR:**http://press.cbk.waw.pl/13/CBK130606/CBK130606b_rys01.png

Stosunek deuteru do wodoru (D/H) w wodzie kometarnej w porównaniu do węglistych meteorytów (z zewnętrznego obszaru Pasa Głównego Planetoid) oraz wody w ziemskich oceanach (źródło - opracowanie S. Szutowicz w oparciu o Balsiger H., et al. 1995, Bockelée-Morvan D. et al.1998, Meier R. et al. 1998, Biver N. et al. 2006, Hutsémekers D, et al. 2008, Villanueva G. et al. 2009, Hartogh P. et al. 2011, Bockelée-Morvan D. et al. 2012, Robert F. 2006, De Laeter J.R. et al.2000).

CBK130606b_rys02s.png**HR:**http://press.cbk.waw.pl/13/CBK130606/CBK130606b_rys02.png

Mapa atmosfery komety 10P/Tempel 2 otrzymana 19 lipca 2010 przy pomocy instrumentu HIFI z pokładu Kosmicznego teleskopu Herschel. Pokazany jest strumień emisji wody dla jej podstawowego przejścia rotacyjnego wyrażony poprzez temperaturę jasnościową mierzoną w kelwinach (źródło: S Szutowicz).