

Badania kosmiczne w dalekiej podczerwieni i zakresie submilimetrowym

Podglądanie Wszechświata



RYSZARD SZCZERBA

Centrum Astronomiczne im. M. Kopernika, Toruń
Polska Akademia Nauk
szczerba@ncac.torun.pl
Prof. dr hab. Ryszard Szczerba jest koordynatorem programu misji Herschel w Polsce

Oko ludzkie nie jest w stanie rejestrować promieniowania spoza zakresu widzialnego, w którym większość swojej energii emituje Słońce. Aby poznać procesy zachodzące w otaczającym nas świecie zarówno w skali mikro, jak i w skali makro, musimy sięgnąć do innych zakresów promieniowania elektromagnetycznego

Jednym z zakresów długości fal, który w dużej części był niewykorzystywany w dotychczasowych badaniach Wszechświata, jest zakres fal submilimetrowych. Jest to spowodowane obecnością gazów (głównie pary wodnej) w atmosferze Ziemi, które absorbują promieniowanie z tego zakresu długości fal. Obecnie rozwój technologiczny pozwolił na budowę detektorów rejestrujących takie promieniowanie.

Badania w podczerwieni

Promieniowanie podczerwone zostało odkryte w 1800 r. przez angielskiego astronoma urodzonego w Hanowerze, sir Fredericka Williama Herschela podczas badań nad rozszczepianiem światła słonecznego. Zauważył on mianowicie, że temperatura promieniowania rośnie od barwy niebieskiej do czerwonej, a termometry umieszczone poza czerwoną składową widma słonecznego wychodzącego z pryzmatu pokazują jeszcze wyższą temperaturę. Było to dowodem na istnienie promieniowania niewidocznego gołym okiem.

Promieniowanie to w zależności od długości fali nazywane jest obecnie bliską, średnią i daleką podczerwienią. Graniczne długości

fal nie są precyzyjnie zdefiniowane, ale przez bliską podczerwień rozumiemy cały zakres promieniowania o falach dłuższych od promieniowania widzialnego do 3–5 mikrometrów, przez średnią podczerwień promieniowanie o falach dłuższych od bliskiej podczerwieni do około 30 mikrometrów, a wszystko powyżej nazywane jest daleką podczerwienią (ang. *Far InfraRed* – FIR). Zakres fal elektromagnetycznych o długościach fal poniżej 1 milimetra (1000 mikrometrów) nosi nazwę zakresu submilimetrowego (submm). Warto podkreślić, że techniki obserwacyjne stosowane w bliskiej podczerwieni są podobne do tych używanych w zakresie optycznym, podczas gdy w zakresie submm używamy technik radiowych (heterodyny) i bolometrów.

APEX najlepszy na świecie

Atmosfera ziemska stanowi swoisty parasol dla większości promieniowania elektromagnetycznego. Jednym z najlepszych miejsc na Ziemi do obserwacji w zakresie dalekiej podczerwieni jest płaskowyż Chajnantor na pustyni Atacama w Chile, położony na wysokości 5100 m i wyjątkowo suchy. To tam operuje obecnie najlepszy na świecie radioteleskop do obserwacji molekularnych APEX (ang. *Atacama Pathfinder EXperiment*) i powstaje obserwatorium ALMA (ang. *Atacama*

ESA/CNES/ARIANESPACE - Photo Optique Vidéo CSG, P. Baudouin, 2009



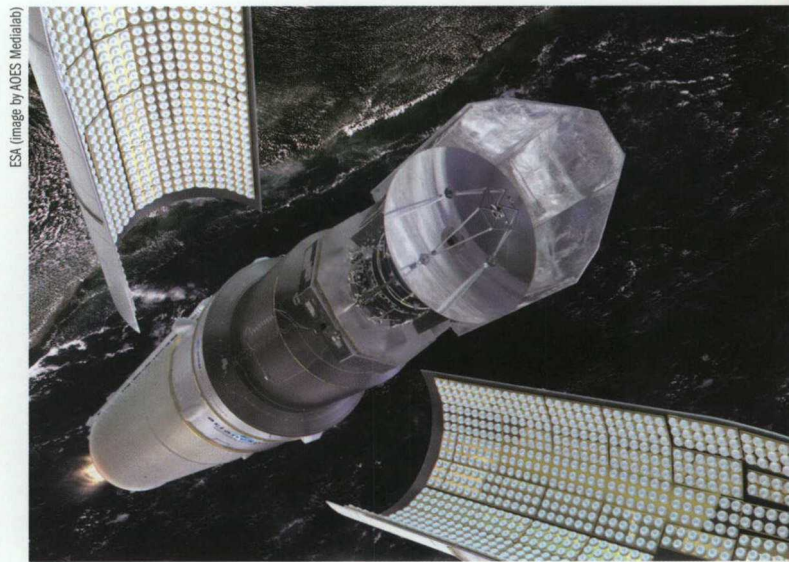
Herschel wraz z drugą misją Planck wyruszył w drogę na pokładzie rakiety Ariane 5 14 maja 2009 r.

Large Millimeter Array). Pomimo tych idealnych warunków w zakresie submilimetrycznym możliwe są obserwacje tylko w tzw. oknach obserwacyjnych, wokół 850, 750, 450 i 300 mikrometrów, gdzie absorpcja przez parę wodną jest najmniejsza. Przy czym w trzech ostatnich oknach można przeprowadzać efektywne obserwacje tylko przy bardzo suchej pogodzie, która występuje na półkuli południowej głównie podczas zimy (tj. od czerwca do września). Jedynym sposobem na niezakłócone obserwacje w zakresie submilimetrycznym jest więc wynoszenie instrumentów naukowych poza atmosferę ziemską, a najlepiej w przestrzeń kosmiczną.

Po orbitach Lissajous

Pierwszą znaczącą misją kosmiczną badającą Wszechświat w średniej i dalekiej podczerwieni była misja IRAS (ang. *InfraRed Astronomical Satellite*), wystrzelona na początku lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku. Przegląd nieba wykonany przez IRAS w zakresie długości fal od około 10 do ponad 100 mikrometrów (tj. od 0,01 do 0,1 milimetra), pomimo stosunkowo małego teleskopu o średnicy około 60 cm, pozwolił na odkrycie bez mała pół miliona źródeł podczerwonych. Kolejne misje kosmiczne badające Wszechświat widoczny w promieniowaniu podczerwonym/submm/mm to: COBE (ang. *Cosmic Background Explorer*) wystrzelony przez NASA w 1989 r.; ISO (ang. *Infrared Space Observatory*) wystrzelone przez ESA (ang. *European Space Agency*) w 1995 r.; SST (ang. *Spitzer Space Telescope*) wystrzelony w 2003 r. przez NASA oraz AKARI – japoński satelita wystrzelony w 2004 r.

Dwa lata temu, 14 maja 2009 roku, Europejska Agencja Kosmiczna (ESA) wystrzeliła za pomocą rakiety nośnej Ariane 5 jednocześnie dwie misje satelitarne: Planck oraz Obserwatorium Kosmiczne Herschela (ang. *Herschel Space Observatory* – HSO). Start misji odbył się z Gujany Francuskiej, a sterowanie lotem zostało przekazane do ESOC (ang. *European Space Operations Center*) w Darmstadt. Po rozdzieleniu, w początkowej fazie lotu, obydwie misje kontynuowały około dwumiesięczny lot do drugiego punktu Lagrange’a (L2) układu Słońce-Ziemia, który położony jest w odległości 1,5 miliona km od Ziemi (4 razy dalej niż Księżyc). Obydwie misje kosmiczne poruszają się obecnie po



ESA (image by ADES MediaLab)

rozległych orbitach Lissajous wokół punktu L2, podążając za Ziemią w jej ruchu dookoła Słońca. Herschel i Planck są pierwszymi misjami kosmicznymi wysłanymi do tak odległego miejsca. Jego zaletą jest to, że trzy najjaśniejsze (bo bliskie) źródła promieniowania: Słońce, Ziemia i Księżyc, znajdują się zawsze prawie na jednej linii i wystarczy się przed tymi ciałami osłonić. W efekcie stosunkowo łatwo możemy ustabilizować temperaturę teleskopu, stosując „tarczę ochronną”.

Herschel podgląda Wszechświat

Obserwatorium Kosmiczne Herschela (w skrócie Herschel) jest projektem ESA zrealizowanym przy około 20% zaangażowaniu finansowym NASA oraz mniejszym wsparciu z innych krajów niestowarzyszonych, takich jak Kanada czy Polska. Całkowity koszt realizacji misji wyniósł ponad miliard euro. Herschel wyposażony jest w 3,5-metrowe zwierciadło (dla przykładu Teleskop Kosmiczny Hubble’a ma zwierciadło o średnicy około 2 m), które wykonano z węgla krzemowego i jest ono największym zwierciadłem wśród wyniesionych dotychczas w przestrzeń kosmiczną. Rozmiary zwierciadeł wynoszonych w przestrzeń kosmiczną ograniczają m.in. możliwości pomieszczenia ich w lukach transportowych rakiet nośnych. Z tego powodu następne misje (np. planowany teleskop James Webb – następcą teleskopu Hubble’a – będzie miał już zwierciadło wielosegmentowe).

Instrumenty znajdujące się na pokładzie misji Herschel obserwują Wszechświat w zakresie fal od 0,06 do 0,67 milimetra. Każde

Obie misje rozdzieliły się wkrótce po wyniesieniu w przestrzeń kosmiczną i rozpoczęły długą drogę do docelowego punktu L2 oddalonego o 1,5 mln km od Ziemi

Badania kosmiczne w dalekiej podczerwieni i zakresie submilimetrym

ciało emituje promieniowanie własne (termiczne) w pobliżu fali, której długość jest odwrotnie proporcjonalna do jego temperatury. Dla przykładu: Słońce najwięcej energii wysiewa w zakresie widzialnym o charakterystycznej długości fali 0,55 mikrometra, a emisja termiczna człowieka ($T \sim 300$ K) jest widoczna w średniej podczerwieni na długości fali około 10 mikrometrów (dlatego do obserwacji organizmów żywych nocą używane są noktowizory). Widać więc, że Herschel będzie obserwował najchłodniejsze obszary i obiekty we Wszechświecie (obiekt o temperaturze około 10 K będzie emitował większość swojej energii termicznej na falach o długości około 300 mikrometrów). Dodatkowo, molekuly mają najniższe przejścia (tzw. przejścia rotacyjne) leżące właśnie w zakresie submm.

Obserwacje Wszechświata w dalekiej podczerwieni i w zakresie submilimetrym wymagają schłodzenia detektorów do temperatur bliskich zera bezwzględnego (bez tego detektory widziałyby promieniowanie termiczne pochodzące od samych siebie). Aby schłodzić detektory do tak niskiej temperatury, wykorzystuje się nadciekły hel. Herschel zabrał ponad 2200 litrów nadciekłego helu, który pozwoli utrzymać detektory w temperaturach zbliżonych do zera bezwzględnego przez 3-4 lata.

Zaawansowane instrumenty naukowe

Instrumenty dla misji Herschel zostały wybrane w drugiej połowie lat 90. ubiegłego stulecia. Są to: PACS (ang. *Photodetector Array Camera and Spectrometer*); SPIRE (ang. *Spectral and Photometric Imaging Receiver*) oraz HIFI (Heterodyne Instrument for FarInfrared). Ich budowa trwała około dziesięciu lat! Warto wspomnieć, że pierwsza propozycja, aby przygotować misję do obserwacji kosmicznych w zakresie submm pochodzi z początku lat 80. ubiegłego stulecia. Pokazuje to, ile czasu zajmuje wszechstronne przygotowanie takich misji.

Podstawowe informacje na temat poszczególnych instrumentów, a także linki do ich bardziej szczegółowych opisów można znaleźć na stronie ESAC (ang. *European Space Astronomy Center*) (patrz: http://herschel.esac.esa.int/science_instruments.shtml). W skrócie: PACS zbudowało konsorcjum kierowane przez A. Poglitsch z MPE (ang. *Max-Planck-Institute for Extraterrestrial Physics*); SPIRE powstał w konsorcjum kierowanym przez M.



Griffin z Uniwersytetu Cardiff; HIFI zbudowało konsorcjum kierowane przez T. de Grauw, a w ciągu ostatnich 2 lat przez F. Helmich z SRON (ang. *Netherlands Institute for Space Research*).

PACS, SPIRE i HIFI

PACS – może pracować jako kamera (ang. *imaging photometer*) lub zestaw spektrometrów (ang. *integral field spectrometer*) w zakresie od około 60 do 210 mikrometrów. W tym drugim trybie rozdzielczość wynosi od 1000 do 5000, a widma otrzymywane są jednocześnie z 25 pól położonych w obszarze $47'' \times 47''$. Pracując jako kamera, PACS ma pole widzenia $1.75' \times 3.5'$ i może otrzymywać mapy w dwóch pasmach jednocześnie: od 60 do 85 lub od 85 do 130 mikrometrów (matryca 64×32 pikseli) i od 130 do 210 mikrometrów (matryca 32×16 pikseli). Badania w tym zakresie długości fal koncentrują się na szukaniu odpowiedzi na pytania dotyczące powstawania gwiazd wraz z ich układami planetarnymi, powstawania galaktyk i ewolucji Wszechświata.

SPIRE podobnie jak PACS może pracować jako kamera i jako spektrometr, jednak w zakresie fal dłuższych niż PACS, mianowicie od około 200 do 670 mikrometrów. W trybie spektrometrycznym obserwacje z rozdzielczością maksymalnie 300 km/s można prowadzić w polu o średnicy $2'$ widzianym jednocześnie przez 37 i 19 pikseli, które są czułe odpowiednio na promieniowanie w zakresie od 200 do 300 mikrometrów i od 300 do 670 mikrometrów. W trybie fotometrycznym SPIRE ma pole widzenia $4' \times 8'$, które jest obserwowane jednocześnie przez matryce złożone z 139, 88

Wykonane z węgla krzemu zwierciadło Herschela o średnicy 3,5 metra jest największym z wyniesionych dotychczas w przestrzeń kosmiczną

i 43 pikseli czułych na promieniowanie w szerokich zakresach fal o długościach centralnych odpowiednio 250, 350 i 500 mikrometrów. Dwa zasadnicze problemy naukowe stojące przed SPIRE to: szukanie odpowiedzi na pytanie, kiedy i jak powstawały galaktyki, oraz zrozumienie cyklu życiowego gwiazd od ich powstania aż do „śmierci”.

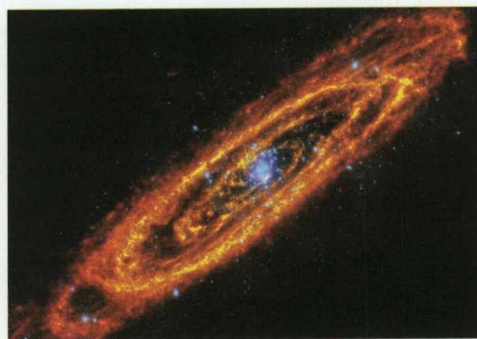
HIFI – w przeciwieństwie do poprzednich instrumentów wykorzystuje technikę radiową, stosowaną w naziemnych obserwatoriach radioastronomicznych, do zakresu fal submilimetrycznych (od 157 do 615 mikrometrów z przerwą od 210 do 236 mikrometrów). Jest to najwyższej klasy spektrometr o bardzo wysokiej rozdzielczości, pozwalający na szczególnie badanie linii spektroskopowych, swoistych „linii papilarnych” molekuł i atomów znajdujących się w różnych fazach ośrodka międzygwiazdowego. Widma HIFI pozwalają nie tylko zbadać skład chemiczny, poprzez porównanie obserwowanych „linii papilarnych” z liniami wzorcowymi znanymi z laboratoriów, ale również szczegółowo odtworzyć warunki fizyczne panujące w obserwowanych obiektach/obszarach. Jedną z molekuł, której obecności we Wszechświecie nie jesteśmy w stanie badać z obserwatoriów naziemnych ze względu na jej obecność w atmosferze ziemskiej, jest woda. Dlatego jednym z kluczowych zadań stojących przed HIFI jest prześledzenie obecności wody we Wszechświecie, począwszy od atmosfer najbliższych nam planet, komet i otoczek gazowo-pyłowych wokół gwiazd kończących swoją ewolucję, poprzez obszary formowania się gwiazd i rozrzedzony ośrodek międzygwiazdowy, aż do odległych galaktyk.

Polski czas gwarantowany

W budowę tego bardzo zaawansowanego technologicznie instrumentu, jakim jest HIFI, zaangażowanych było 25 instytutów naukowych z 13 krajów, w tym Centrum Astronomiczne M. Kopernika PAN (autor tego artykułu pełnił funkcję koordynatora udziału Polski w budowie HIFI) i Centrum Badań Kosmicznych PAN z dr. Piotrem Orleańskim, który kierował pracą zespołu inżynierów zaangażowanych w budowę jednostki sterującej tzw. lokalnym oscylatorem HIFI. Warto podkreślić, że jeszcze 10 lat temu zbudowanie tak zaawansowanego instrumentu nie byłoby możliwe ze względu na ograniczenia technologiczne. Niektóre kluczowe podzespoły

zostały skonstruowane po raz pierwszy i istnieją tylko w kilku egzemplarzach. Koszt budowy instrumentu HIFI to około 300 milionów euro, a zaangażowanie finansowe Polski poprzez granty z Komitetu Badań Naukowych i później z Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego wyniosło około 500 tysięcy euro. Niemniej jednak prace wykonane w Polsce zostały „wycenione” na ponad 4 miliony euro, co zaowocowało przyznaniem Polsce 3% czasu gwarantowanego na instrumencie HIFI.

Przyznany Polsce czas gwarantowany został rozdystrybuowany na 4 projekty badawcze związane z badaniem końcowych faz ewolucji gwiazd mało- i średniomasywnych, z badaniem ośrodka międzygwiazdowego w naszej, ale również w innych galaktykach oraz z badaniem atmosfer planet i komet w Układzie Słonecznym. Realizacja tych projektów odbywa się w ramach dużych zespołów badawczych, w skład których wchodzi naukowcy z krajów, które brały udział w budowie instrumentu HIFI. Ze strony polskiej zaangażowani są naukowcy z CAMK PAN, CBK PAN, UMK (Uniwersytet Mikołaja Kopernika) i IChF (Instytut Chemii Fizycznej) PAN. Warto podkreślić, że czas gwarantowany to jedynie około 1 roku obserwacji. Pozostały czas obserwacyjny (2–3 lata) zostanie rozdysponowany na tzw. czas otwarty.



ESA/Herschel/PACS/SPIRE/J. Fritz, U. Gent; X-ray: ESA/XMM Newton/EPIC/W. Pietsch, MPE

Galaktyka Andromedy obserwowana w podczerwieni przez Herschela i światło rentgenowskie przez misję XMM Newton. To dzięki misji podczerwonej możemy oglądać obłoki chłodnego gazu, z którego powstają nowe pokolenia gwiazd

Pierwsze wyniki misji Herschel są już dostępne w pismach fachowych i Internecie. Instrumenty misji pracują bez większych zakłóceń i dostarczają ogromną ilość danych, których dogłębne zrozumienie zajmie naukowcom przynajmniej kilka następnych lat. ■

Chcesz wiedzieć więcej?

<http://herschel.esac.esa.int/home.shtml>

<http://sci.esa.int/science-e/www/area/index.cfm?fareaid=16>