

Woda w obszarach formowania gwiazd

Na początku jest woda



AGATA KARSKA

Wydział Fizyki, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Poznań
agata.karska@gmail.com

Dr Agata Karska jest astrofizyczką, kieruje Grupą Astrofizyki Molekularnej na Wydziale Fizyki UAM. W latach 2009-2014 pracowała w Instytucie Maksa Plancka Fizyki Pozaziemskiej w Niemczech oraz na Uniwersytecie w Lejdzie w Holandii. Zajmuje się fizyką i chemią obszarów formowania gwiazd przy wykorzystaniu teleskopów ESO i ESA. W tym roku otrzymała Nagrodę Naukową „Polityki”.

**Woda i ogień – trudno
o większe przeciwieństwo.
Co zatem woda może
mieć wspólnego
z ognistymi kulami,
jakimi są gwiazdy?
Jak pokazują pomiary
Kosmicznego
Obserwatorium Herschela,
młode gwiazdy właśnie
w niej powstają**

Chociaż znamy już ponad 1600 planet pozasłonecznych, wciąż niewiele wiemy o tym, jak powstają gwiazdy i ich układy planetarne. Problem jest w dużym stopniu natury obserwacyjnej – protogwiazdy, czyli obiekty, które w przyszłości zaczną czerpać energię z syntezy termojądrowej i staną się „prawdziwymi gwiazdami”, powstają w zagęszczeniach pyłu i gazu, które są nieprzepuszczalne dla światła widzialnego. Konieczne są obserwacje w dłuższych falach elektromagnetycznych, najlepiej w dalekiej podczerwieni. Tam właśnie znajduje się zarówno maksimum jasności pyłu, jak i kluczowe przejścia molekularne, które można wykorzystać do pomiaru temperatury i gęstości gazu w bezpośrednim otoczeniu protogwiazdy. Niestety, atmosfera Ziemi jest całkowicie nieprzepuszczalna dla większości pasm podczerwieni i do niedawna jedyne dostępne obserwacje pochodziły z eksperymentów balonowych lub niewielkich satelitów kosmicznych o bardzo ograniczonych możliwościach.

W 2009 zainaugurowało działalność Kosmiczne Obserwatorium Herschela, które dostarczyło przełomowych obserwacji w podczerwieni. Jednym z głównych celów naukowych misji były badania wody w obszarach formowania

gwiazd. W ramach kluczowego programu „Water in Star Forming Regions with Herschel” (WISH) ponad 80 naukowców z 35 instytutów badawczych z całego świata postanowiło przebadać wodę wokół protogwiazd w różnym wieku i o różnych masach. Taka strategia obserwacyjna miała umożliwić prześledzenie zawartości wody w materii wokół gwiazd od momentu ich narodzin do utworzenia planet.

Ku zaskoczeniu badaczy Herschel z łatwością znalazł wodę jedynie wokół najmłodszych protogwiazd – nie starszych niż pół miliona lat. W naturalny sposób pojawiło się pytanie: skąd tyle wody u młodych protogwiazd? Jakie procesy fizyczne odpowiadają za jej powstawanie i świecenie? I gdzie później znika?

Narodziny wody

Z chemicznego punktu widzenia woda może powstawać w Kosmosie na trzy sposoby: w wyniku zderzeń cząstek w gazie – jonów i cząstek neutralnych lub dwóch cząstek neutralnych – albo na powierzchni pyłu. W niemal pozbawionej materii przestrzeni międzygwiazdowej prawdopodobieństwo takich zdarzeń jest minimalne.

Lynds 1544 – chłodny obłok w gwiazdozbiornie Byka, w którym właśnie rodzi się gwiazda. Znajdująca się w nim para wodna po skropleniu mogłaby wypełnić 2000 ziemskich oceanów

Warunki w obszarach formowania gwiazd są jednak wyjątkowe: tu w jednym centymetrze sześciennym może znajdować się nawet milion cząsteczek wodoru molekularnego – najczęściej spotykanej cząsteczki we Wszechświecie. A gdy taki obszar rozgrzeje się do temperatury kilkuset kelwinów (czyli robi się ok. 100 razy cieplejszy niż typowy obłok materii), zderzenia między cząsteczkami neutralnymi mogą zachodzić bardzo efektywnie. W krótkim czasie zawartość wody w fazie gazowej może wzrosnąć nawet o kilka rzędów wielkości. Duża ilość wody zaobserwowana w obszarach formowania gwiazd pokazuje zatem, że zachodzą tam gwałtowne zjawiska, które dramatycznie zwiększają temperaturę wokół gwiazdy.

Jednym z pierwszych wyników projektu WISH była mapa emisji wody wokół protogwiazdy L1157 – prototypowego obszaru formowania gwiazdy podobnej do Słońca. Większość wody obserwujemy tam w podłużnych strukturach, nazywanych wypływami molekularnymi, które powstają w wyniku wyrzutu materii z otoczenia protogwiazdy. Niewielka część emisji związana jest z bezpośrednim otoczeniem centralnego obiektu, czyli tzw. otoczki.

Większość wody widzimy zatem tam, gdzie wypływy i wiatry gwiazdowe oddziałują na otoczenie protogwiazdy. Mapy, pokazujące wiele przejść molekuł wody oraz innych cząsteczek (np. tlenku węgla czy hydroksylu – OH), pozwalają wyznaczyć z niezłą dokładnością warunki panujące w wypływach molekularnych, w szczególności temperaturę i gęstość gazu. Porównując względną jasność poszczególnych linii molekularnych z modelami, dowiadujemy się, że dominującym procesem w wypływach są fale uderzeniowe. Są to zatem obszary, gdzie w sposób gwałtowny następuje wzrost temperatury i gęstości gazu – idealne warunki do powstawania wody!

Ile jest tej wody?

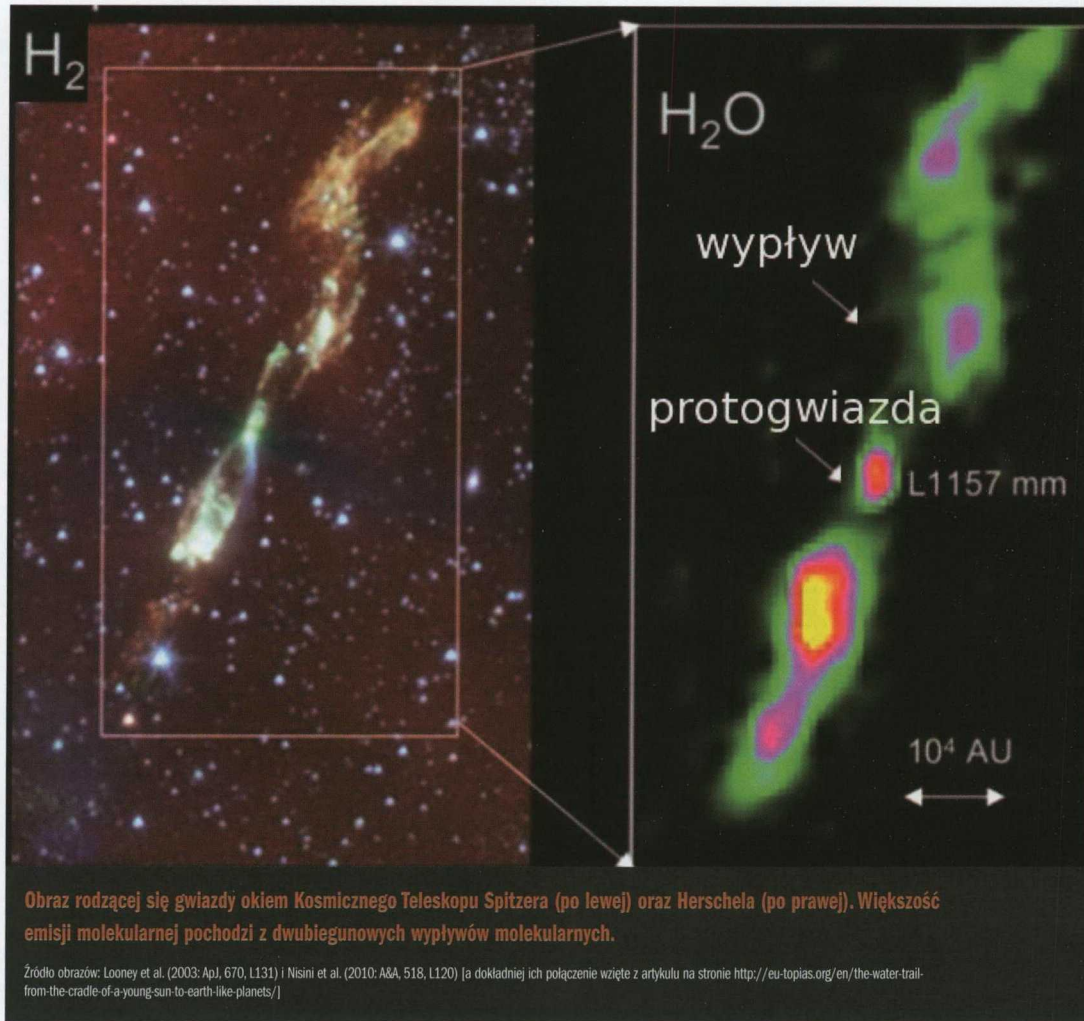
Dokładna analiza obserwacji Herschela podała jednak w wątpliwość ważny aspekt stosowanych powszechnie modeli fal uderzeniowych – ilość produkowanej przez nie wody. Porównanie obserwacji i modeli dla ok. 20 młodych protogwiazd z gwiazdozbioru Perseusza jednoznacznie wykazało, że obecne modele przewidują wytworzenie większych ilości wody, niż rzeczywiście obserwujemy.

Woda w obszarach formowania gwiazd

Rozwiązaniem tego problemu okazuje się uwzględnienie oświetlenia fal uderzeniowych przez promieniowanie ultrafioletowe. Źródłem tego światła nie jest sama protogwiazda, lecz materia, opadająca z dysku na gwiazdę i tworząca bardzo gorący, świecący obszar. Tego rodzaju promieniowanie prowadzi do fotodysocjacji wody, czyli jej rozpadu na tlen i wodór. Dodatkowo zmienia strukturę fali uderzeniowej, w której następuje jeszcze większa kompresja gazu. Nowe modele zaczynają uwzględniać te procesy, a pierwsze porównania z obserwacjami protogwiazd dają bardzo obiecujące wyniki.

I choć ta woda w większości opuści najbliższe otoczenie protogwiazdy, to lepszy opis zachodzących tam procesów ma duże znaczenie dla przewidzenia ostatecznej masy gwiazdy oraz składu chemicznego materii, z której powstaną planety.

Obserwacje Herschela otworzyły nowe perspektywy badań procesów wokół protogwiazd, ale na jednoznaczną odpowiedź na pytanie, skąd wzięła się woda na Ziemi, trzeba jeszcze poczekać. Od przyszłego roku największa sieć anten submilimetrycznych w Chile – ALMA – udostępni możliwość obserwacji wybranych linii wody z o wiele większą rozdzielczością



Obraz rodzącej się gwiazdy okiem Kosmicznego Teleskopu Spitzera (po lewej) oraz Herschela (po prawej). Większość emisji molekularnej pochodzi z dwubiegunowych wyptywów molekularnych.

Źródło obrazów: Looney et al. (2003: ApJ, 670, L131) i Nisini et al. (2010: A&A, 518, L120) [a dokładniej ich połączenie wzięte z artykułu na stronie <http://eu-topias.org/en/the-water-trail-from-the-cradle-of-a-young-sun-to-earth-like-planets/>]

przestrzenną niż Herschel. W 2019 roku rozpocznie działalność Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba, który wykona komplementarne obserwacje bardzo energetycznych przejść wody w fazie gazowej, a także lodu wokół młodych gwiazd. Tymczasem astronomowie nadal intensywnie pracują nad analizą danych z bogatego archiwum Herschela, które z pewnością kryje jeszcze wiele tajemnic. ■

Chcesz wiedzieć więcej?

- Matuszak M., Karska A., Kristensen L.E., Herczeg G.J., Tychoniec Ł., van Kempen T.A., Fuente A. (2015). Far-infrared CO and H₂O emission in intermediate-mass protostars. *Astronomy & Astrophysics* 578, A20.
- Karska A., Kristensen L.E., van Dishoeck E.F. i in. (2014). Shockingly low water abundances in Herschel/PACS observations of low-mass protostars in Perseus. *Astronomy & Astrophysics* 572, A9.
- Karska A., Herpin A.F., Bruderer S. i in. (2014). Far-infrared molecular lines from low- to high-mass star forming regions observed with Herschel. *Astronomy & Astrophysics* 562, A45.
- Karska A., Herczeg G.J., van Dishoeck E.F. i in. (2013). Water in star-forming regions with Herschel (WISH). III. Far-infrared cooling lines in low-mass young stellar objects. *Astronomy & Astrophysics* 552, A14.

