

**dr Łukasz Tychoniec**

Bada pierwsze etapy powstawania gwiazd i planet przy użyciu Kosmicznego Teleskopu Jamesa Webba i sieci teleskopów radiowych ALMA.  
tychoniec@strw.leidenuniv.nl

# POWSTAWANIE GWIAZD

**Proces powstawania gwiazd to spektakl, od którego trudno oderwać wzrok. Śledząc ten proces, dowiadujemy się także o naszych własnych początkach.**

**Łukasz Tychoniec**

Leiden Observatory  
Leiden University w Holandii

**G**wiazdy kojarzą nam się z trwałością i niezmiennością. Syriusz, Wega, Gwiazda Polarna były już znane starożytnym i nawet jeśli ich położenie minimalnie się zmienia, pozostaną na naszym niebie przez kolejne miliardy lat.

Gwiazdy podobne do Słońca żyją około 10 mld lat. W kosmicznych skalach czasu proces powstawania gwiazd wydarza się w mgnieniu oka – wystarczy kilka milionów lat, by z beładnej chmury gazu i pyłu uformowała się jasno świecąca kula rozgrzanej plazmy wraz z otaczającymi ją planetami.

Przyrównajmy to do skali czasu ludzkiego życia. Gdyby gwiazda żyła 100 lat, to powstawałaby przez mniej więcej miesiąc. A kluczowy etap tego procesu, czyli moment, w którym gwiazda nabiera większość swojej masy, trwałby około dwóch dni. To właśnie ten krótki czas jest młodością gwiazdy.

## Fajerwerki


Narodziny gwiazdy zaczynają się w chłodzie i ciemności. W obłokach tak gęstych, że przesłaniają światło gwiazd znajdujących się za nimi. To w tych skupiskach

gazu i pyłu panują sprzyjające warunki do stworzenia nowej gwiazdy. Nazywamy je obłokami molekularnymi, ponieważ wodór przybiera w nich formę molekuly ( $H_2$ ) w przeciwieństwie do typowej przestrzeni międzygwiazdnej, gdzie zazwyczaj znajdujemy go w formie atomowej.

Obserwacje obłoków molekularnych nie należą do najłatwiejszych. Chłodne obiekty nie emitują światła widzialnego. Jedną ze sztuczek, których używają astronomowie, jest wykorzystanie światła gwiazd za chmurami. Przeświećta ono międzygwiazdny pył, który absorbując je, zdradza swój skład. Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba (JWST) jest szczególnie czuły na promieniowanie podczerwone. Dzięki temu udało się zaobserwować kluczowe składniki na ziarnach pyłu w międzygwiazdnych obłokach: wodę, metanol, etanol, amoniak, dwutlenek węgla, co pozwala nam lepiej poznać pierwotny skład materii budującej gwiazdy i planety.

W centrum obłoku formuje się centralny obiekt, jeszcze zbyt chłodny, by nazwać go gwiazdą. Zapadająca się chmura ma pewną początkową rotację – w wyniku jej kolapsu pod własnym ciężarem rotacja przyspiesza, a sama chmura nieco się spłaszcza. W jej centrum, wokół powstającej gwiazdy, tworzy się gazowo-pyłowy dysk. Od tego momentu to dysk jest mediatorem materiału z chmury do gwiazdy. Jest on też miejscem, w którym zaczynają się formować planety.

Powstająca gwiazda obwieszcza swoje narodziny, wypychając w przestrzeń ogromne ilości gazu i pyłu, w ten sposób w przestrzeń kosmiczną zostaje wyrzu-



Obłok gwiazdotwórczy  
w gwiazdozbiorze Wilka.  
Podczas gdy niektóre gwiazdy  
ciemnego i chłodnego obłoku  
już rozświetlają otoczenie,  
inne dopiero powstają  
w jego wnętrzu

cone około jednej trzeciej materiału. Dzięki temu możemy obserwować pokaz „kosmicznych fajerwerków” – protogwiazdne dżety.

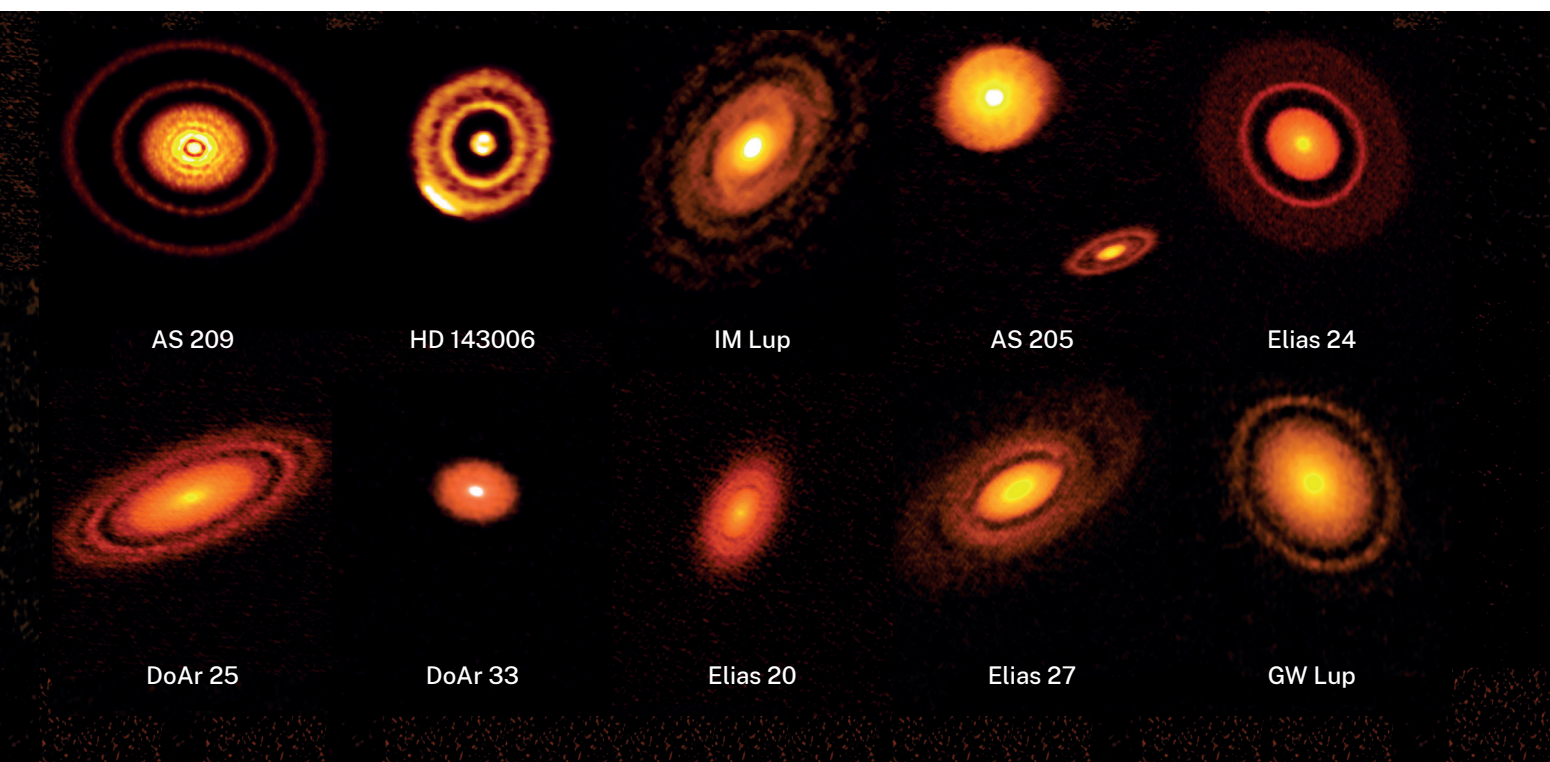
Rozpędzone do setek kilometrów na sekundę strumienie gazu wprowadzają poważne zamieszanie w otoczeniu. Gdy zderzają się z chłodnym obłokiem otaczającym protogwiazdę, rozgrzewają go do czerwoności, wtedy możemy zaobserwować gaz w teleskopach.

Przez lata protogwiazdne dżety stały się ważnym elementem badania protogwiazd – znając naszą odległość do protogwiazdy i prędkość dżetu, możemy

dość łatwo wyliczyć jego wiek. Możemy również badać skład pyłów wyrzucanych z dysku przez dżety.

## Kolebki planet

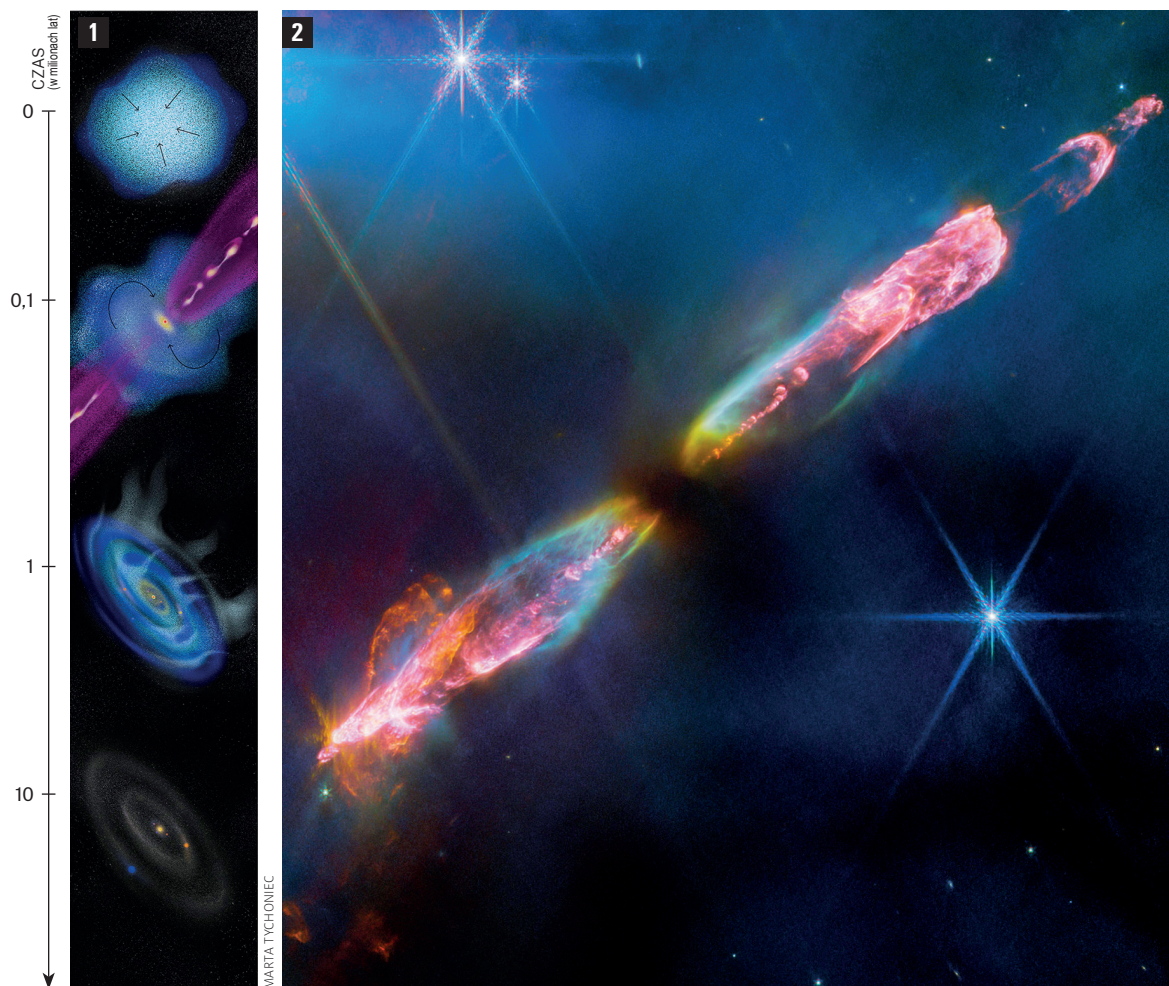
W wyniku wyrzutu protogwiazdnych dżetów i gwiazdowego wiatru obłok się rozprasza, a nam ukazują się protoplanetarne dyski. Młoda gwiazda wciąż przeżywa burzliwe chwile, rozbłyskuje i nieregularnie pochłania resztki swojego dysku. Przez długi czas uważano, że to dopiero wtedy rozpoczyna się powstawanie



ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), S. ANDREWS ET AL.; NRAO/AUI/NSF, S. DAGNELLO

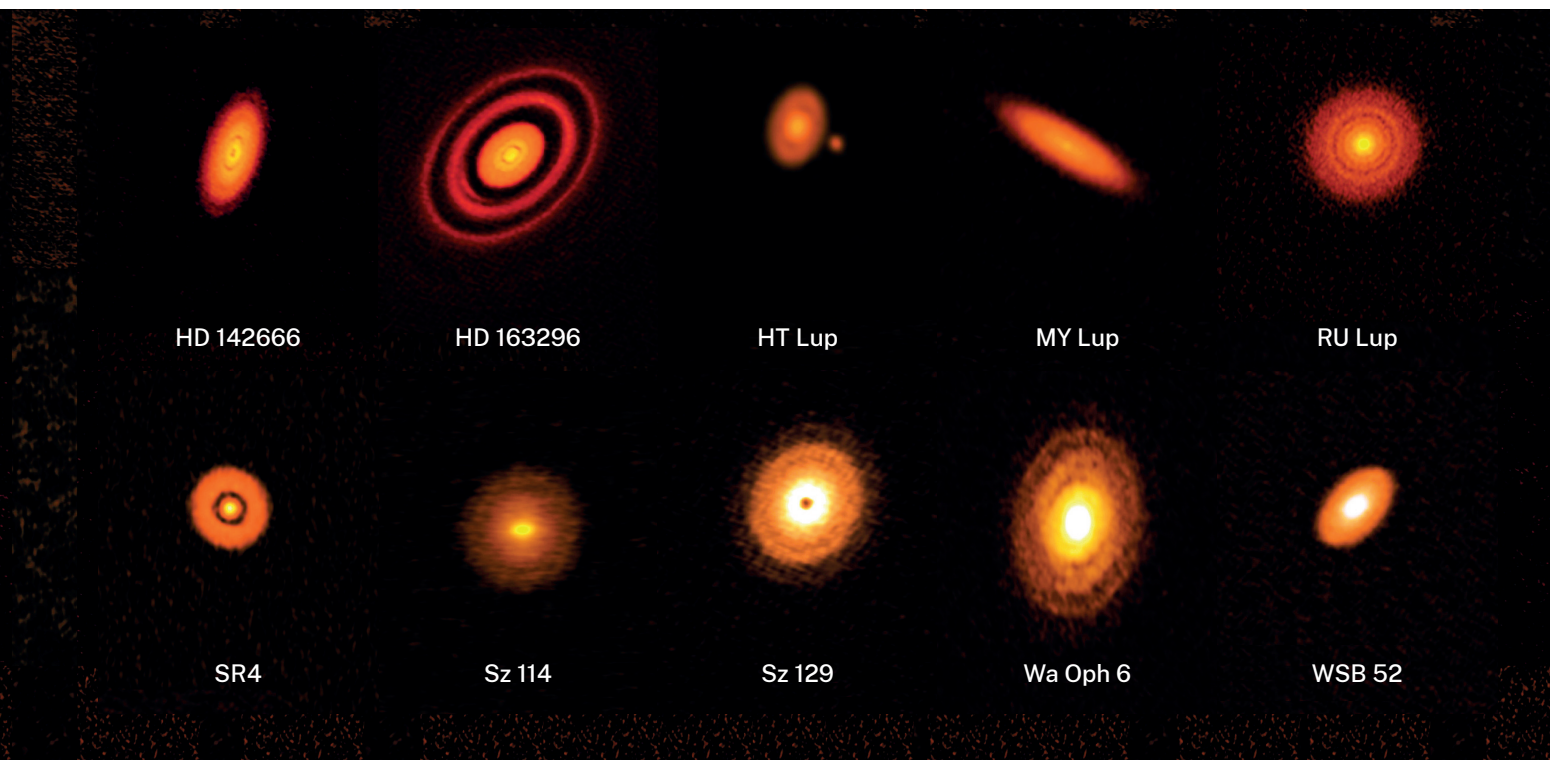
Rys. 1  
Szkicowe przedstawienie procesu powstawania gwiazdy. Od chłodnej chmury gazu i pyłu, przez rozświetloną protogwiazdę z superszybkim dżetem i dysk z powstającymi wewnątrz planetami, aż po dojrzałą gwiazdę otoczoną planetami

Rys. 2  
Młodziutka protogwiazda (ok. 10 000 lat) obwieszcza swoje narodziny spektakularnym naddźwiękowym wyrzutem gazu: protogwiezdnym dżetem



MARTA TYCHONIEC

ESA/WEBB, NASA, CSA, TOM RAY (DUBLIN)



ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), S. ANDREWS ET AL.; NRAO/AUI/NSF, S. DAGNELLO

planet. Jednak gdy do badań wkroczył najpotężniejszy radiointerferometr: Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA), naukowcom ukazał się dość zaskakujący obraz: wiele z tych dysków już wskazuje ślady powstających planet – dyski są pełne pierścieni i przerw, sugerujących, że wewnątrz już powstają planety.

Gęsty dysk jest doskonałym miejscem do łączenia się ziaren pyłu. O ile w przestrzeni kosmicznej rzadko obserwujemy ziarna większe od 10  $\mu\text{m}$  (0,01 mm), to w dysku już w ciągu kilkuset tysięcy lat mogą one połączyć się w kamyki o rozmiarach rzędu centymetrów.

Największe protoplanety, osiągające masę kilku dziesięciu mas Ziemi, są wystarczająco masywne, by przyciągać z dysku również gaz. W ten sposób powstają gazowe giganty podobne do naszego Jowisza. Ten proces w skali kosmicznej jest bardzo szybki – trwa kilka milionów lat, ponieważ materia z dysku niewykorzystana w procesie kształtowania planety opada na gwiazdę albo „wyparowuje” w wyniku coraz to intensywniejszego promieniowania samej gwiazdy.

Tak jak protogwiezdne dżety obwieszają narodziny gwiazdy, tak wiatr z dysku kończy ten proces. Coraz jaśniej świecąca gwiazda rozprasza resztki dysku, a to, co z niego pozostaje, tworzy układ planetarny. Żeby gwiazdę można było uznać za dojrzałą, musi ona rozpaść reakcje jądrowe w swoim wnętrzu. Gdy zbiera wystarczająco dużo gazu, gęstość i temperatura wewnątrz sprawiają, że atomy wodoru zaczną łączyć się w hel, przy okazji wyzwalając ogromne ilości

energii. To bardzo wydajne jej źródło – gwiazda będzie sukcesywnie spalać wodór przez najbliższe kilka miliardów lat.

## Słońce

W naszej galaktyce jest pełno obłoków, w których właśnie teraz powstają gwiazdy – obłoki w gwiazdozbiorach Byka, Perseusza czy spektakularna Mgławica Oriona należą do najbliższych nam gwiazdotwórczych obłoków (wszystkie znajdują się w promieniu 2000 lat świetlnych). Obserwując je, próbujemy zrozumieć, jak powstają gwiazdy dzisiaj, a także jak 4,5 mld lat temu powstało Słońce.

Dzięki znajomości składu chemicznego Ziemi i Słońca wiemy, że Słońce powstawało w otoczeniu masywnej gwiazdy – jej wybuch wzbogacił otoczenie w pierwiastki, które dziś znajdujemy w ziemskiej skorupie.

Używając najbardziej nowoczesnych narzędzi – m.in. teleskopu JWST czy sieci interferometrów ALMA, możemy prześledzić proces powstawania gwiazd i planet w drobnych szczegółach. Oba te instrumenty dostarczają także kluczowych informacji do rozwikłania jednej z najważniejszych zagadek nauki: jak powstało życie na Ziemi i jak powszechne jest ono we Wszechświecie? Dzięki badaniom składu chemicznego powstających gwiazd, wiemy, że „ziarna życia” – proste organiczne molekuly – są dostępne obficie już w obłokach molekularnych, zanim jeszcze proces powstawania gwiazd rozpocznie się na dobre. ■

Obserwacje ALMA przyniosły przełom w naszym rozumieniu powstawania planet – wiele dysków ma struktury wskazujące, że proces budowania planet już się rozpoczął

Chcesz wiedzieć więcej?

McClure M.K. et al., *An Ice Age JWST inventory of dense molecular cloud ices*, „Nature Astronomy” 2023, vol. 7, doi: 10.1038/s41550-022-01875-w

Ray T. et al., *Outflows from the youngest stars are mostly molecular*, „Nature” 2023, vol. 622, doi: 10.1038/s41586-023-06551-1

Stahler S.W., Palla F., *The Formation of Stars*, Weinheim 2004, doi: 10.1002/9783527618675