

Wiele egzoplanet mniejszych niż trzykrotność promienia Ziemi zostało już zmierzonych w celu niezależnego określenia ich promienia i masy. Praca wykonana przez astronomów Sarę Gettel i Davida Charbonneau w 2016 roku pokazuje, że przy masie około pięciokrotnie większej od naszej Ziemi egzoplaneta przechodzi ze świata w większości skalistego do takiego, w którym dominuje woda. Te „wodne światy” w strefie zamieszkiwalnej miałyby prawdopodobnie niewiele mas kontynentalnych. Ponieważ są one nieco mniejsze niż Uran czy Neptun, gdyby znajdowały się dalej od swojej gwiazdy niż HZ, nazwano by je Światami Lodowymi.

## ATMOSFERY

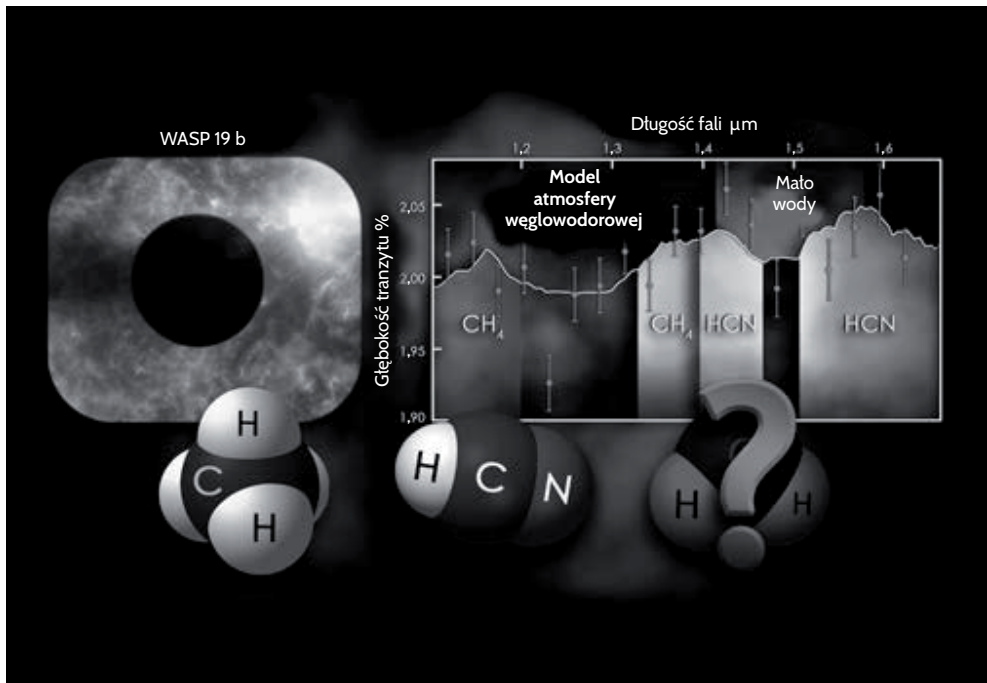
Oprócz składu tych światów pojawia się pytanie, czy mają one wykrywalne atmosfery. Badania spektroskopowe mogą wykryć atmosfery wielu z tych egzoplanet, gdy światło słoneczne przechodzi przez atmosferę podczas tranzytu. Badanie tych atmosfer byłoby pierwszym krokiem do stwierdzenia, czy są one zdadne do zamieszkania przy odpowiedniej gęstości i ciśnieniu oraz czy zawierają ślady biologicznie wytworzonych gazów, takich jak ozon (związany z wolnym tlenem) i azot. Do 2018 roku wykryto ponad dwa tuziny atmosfer egzoplanet, w większości związanych z tzw. gorącymi jowiszami najbliższymi swoich gwiazd, gdzie światło słoneczne jest najbardziej intensywne, a atmosfery rozciągają się w największym stopniu z powodu ogrzewania. Najczęstsze wykryte związki to dwutlenek węgla i para wodna, ale niektóre z najgorętszych atmosfer zawierają chmury tlenku wanadu i dwutlenku krzemu, w których deszcz na ich powierzchniach przypomina stopioną skałę. Widmo WASP-19b, znajdującej się 882 lata świetlne od Ziemi i krążącej wokół swojej gwiazdy podobnej do Słońca co 19 godzin, ujawnia obecność atmosfery węglowodorowej zawierającej metan i cyjanowodór.

## FORMOWANIE PLANET

Odkąd w 1755 roku po raz pierwszy wysunięto hipotezę obłoku pyłowego w formowaniu się planet w wirującym dysku gazowym, ten intuicyjnie prosty pomysł był wielokrotnie testowany przy użyciu zaawansowanych obliczeń dynamiki płynów na superkomputerach i okazał się zasadniczo poprawny. Dodano szczegóły, takie jak to, że dysk byłby centralnie ogrzewany przez ewoluującą protogwiazdę. To wytworzyłoby gradient temperatury malejący od 2000 K w pobliżu protogwiazdy do poniżej 100 K

na obrzeżach. Ten gradient temperatury umożliwia zachodzenie różnorodnych reakcji chemicznych, w wyniku których powstają różne cząsteczki i związki pozostające w równowadze z lokalnym otoczeniem.

Bogate w żelazo skały krzemianowe będą powszechnie występować w pobliżu gwiazdy, podczas gdy związki bogate w wodę, amoniak i metanowe lody będą powszechne w dużych odległościach. Skład planety zależy od miejsca jej uformowania w tym dysku. Takie dyski protoplanetarne mogą zawierać nawet 10% masy gwiazdy lub więcej. Masywne dyski sprzyjają tworzeniu się dodatkowych towarzyszy gwiazdowych, co prowadzi do powstawania układów podwójnych lub potrójnych gwiazd. Dyski o mniejszej masie sprzyjają powstawaniu planet i mniejszych ciał.



Atmosfera egzoplanety WASP-19b. Metan ( $CH_4$ ) i cyjanowodór ( $HCN$ ) są powszechnymi składnikami atmosfery ze względu na obfitość tych pierwiastków w Drodze Mlecznej. Woda ( $H_2O$ ) wydaje się nieobecna w atmosferze tej planety