

Poszukiwanie pozasłonecznych planet poprzez precyzyjne pomiary prędkości gwiazd

# Planety wielu słońc



**Dr hab. Maciej Konacki** zajmuje się poszukiwaniem planet pozasłonecznych w skomplikowanych wielokrotnych układach gwiazd

**MACIEJ KONACKI**  
Centrum Astronomiczne, Toruń  
Polska Akademia Nauk  
maciej@ncac.torun.pl

**Problem istnienia planet podobnych i niepodobnych do Ziemi interesował astronomów od stuleci. Ale dopiero na początku lat 80. XX wieku pojawiła się techniczna możliwość ich odkrywania**

Odnalezienie planety obiegającej inną gwiazdę jest trudne z dwóch podstawowych powodów: po pierwsze – planety, które świecą światłem odbitym, są od miliarda (w zakresie widzialnym) do miliona (w podczerwieni) razy słabsze od swoich gwiazd macierzystych; po drugie – odległość kątowa na niebie między gwiazdą a obiegającą ją planetą jest bardzo mała ze względu na dużą odległość obserwatora na Ziemi od jakiegokolwiek gwiazdy innej niż Słońce. Dlatego jesteśmy skazani na tzw. metody pośrednie – zamiast bezpośrednio szukać planet, badamy same gwiazdy, by wykryć wpływ ewentualnych planet na ich zachowanie.

Trzy podstawowe typy pomiarów w astronomii to pomiary jasności, położenia oraz prędkości ciała niebieskiego. Pomiar prędkości gwiazdy (a dokładniej tzw. prędkości radialnej) jest najbardziej efektywną metodą detekcji planet. Spośród około 240 znanych planet obiegających inne gwiazdy ponad 90% odkryto właśnie poprzez pomiary prędkości radialnych gwiazd. Aby móc w taki sposób odkrywać planety, musimy mierzyć prędkość z dokładnością rzędu 10 m/s. Na przykład obecność Jowisza w Układzie Słonecznym sprawia, że Słońce porusza się wokół środka masy układu i zmienia prędkość z amplitudą 12 m/s i okresem 12 lat. Ponieważ astronomowie wyznaczają prędkości gwiazd dzięki spektroskopii (mierząc przesunięcia ich widm związane z efektem Dopplera), uzyskiwanie pomiarów o tak dużej dokładności stało się możliwe dopiero na początku lat 80. XX

wieku dzięki opracowaniu sprytnych metod, radzących sobie z niestabilnością stosowanych w astronomii spektrografów. Wcześniej precyzja pomiarów sięgała ledwie 1 km/s.

## Gorące Jowisze

Pierwsze odkrycie planety wokół podobnej do Słońca gwiazdy (51 Pegasi) nastąpiło dopiero w 1995 roku. Dokonali go Szwajcarzy Michel Mayor i Didier Queloz. Po raz pierwszy udowodniono wtedy, że wokół podobnej do Słońca gwiazdy istnieje planeta; okazała się ona bardzo niezwykła. Planeta 51 Pegasi to pierwszy członek licznie dziś reprezentowanej grupy tzw. gorących Jowiszy, czyli olbrzymich planet obiegających swoje gwiazdy po bardzo ciasnych orbitach. Planeta 51 Pegasi obiega swoją gwiazdę w zaledwie 4 dni (czyli tyle właśnie – 4 dni – trwa na niej rok). Zmusiła nas ona do zrewidowania ówczesnych teorii formowania się jowiszopodobnych planet.

**Planety w układach wielokrotnych – jeśli uda się potwierdzić ich istnienie – stanowią nie lada wyzwanie dla współczesnych teorii powstawania planet**

Klasyczny model powstawania planet olbrzymów, podobnych do Jowisza, nazywano modelem „z akrecją na jądro”. Zakładał on, że w otaczającym młodą gwiazdę dysku protoplanetarnym, składającym się z gazem, pyłem i bryłkami lodu, najpierw powstaje stałe jądro planety, które dopiero później pozyskuje gazową otoczkę poprzez akrecję gazu z dysku. W tym modelu jądro jowiszowej planety musi powstać z dala od gwiazdy, w odległości kilku jednostek astronomicznych, za tzw. linią śniegu, za którą w dysku protoplanetarnym występuje ilość lodu wystarczająca do budowy masywnego stałego jądra. Tymczasem planeta wokół 51 Pegasi znajduje się ledwie 0,05 jednostki astronomicznej od swojej gwiazdy. Skąd się tam wzięła? Obecnie tłumaczymy ten fakt migracją młodych planet w dysku protoplanetarnym. Według tej teorii jowiszowe pla-





NASA/JPL-Caltech

nety powstają faktycznie z dala od gwiazdy, ale potem wędrują ku niej i „parkują” na ciasnych, krótkookresowych orbitach. Z jakiegoś powodu w Układzie Słonecznym migracja nie nastąpiła – nasze olbrzymie planety znajdują się z dala od Słońca. We Wszechświecie jednak migracja planet musi być zjawiskiem powszechnym, bo aż 20% znanych planet obiegających inne gwiazdy to gorące Jowisze.

Gorącym Jowiszom zawdzięczamy błyskawiczny rozwój poszukiwania i charakteryzowania planet jako gałęzi astrofizyki. Systematyczne poszukiwania planet zaczęły się już we wczesnych latach 80. zeszłego wieku. Kanadyjczycy Bruce Campbell, Gordon Walker i Stevenson Yang nastawili się jednak na szukanie planet podobnych do naszego Jowisza – czyli obiegających gwiazdy po długookresowych orbitach. Skupili się na obserwacji małej próbki gwiazd, przez wiele lat. Gdyby tylko zdecydowali się na szalony wówczas pomysł szukania wielkich planet na krótkookresowych orbitach, to już 25 lat temu poznalibyśmy pierwsze pozasłoneczne planety. Precyzja ich pomiarów wręcz z zapasem wystarczyłaby do znalezienia gorących Jowiszy! Wiedza o Układzie Słonecznym, uogólniona na inne układy planetarne, ogra-

niczyła naszą wyobraźnię przy poszukiwaniu innych planet.

Nawiasem mówiąc, również Szwajcarzy Mayor i Queloz nie szukali gorących Jowiszy – planetę wokół 51 Pegasi odkryli przypadkiem przy okazji badania krótkookresowej aktywności gwiazd. I to mimo że równocześnie, tym samym instrumentem, prowadzili oni ambitne poszukiwania „normalnych” Jowiszy!

### Marzenia o „drugiej Ziemi”

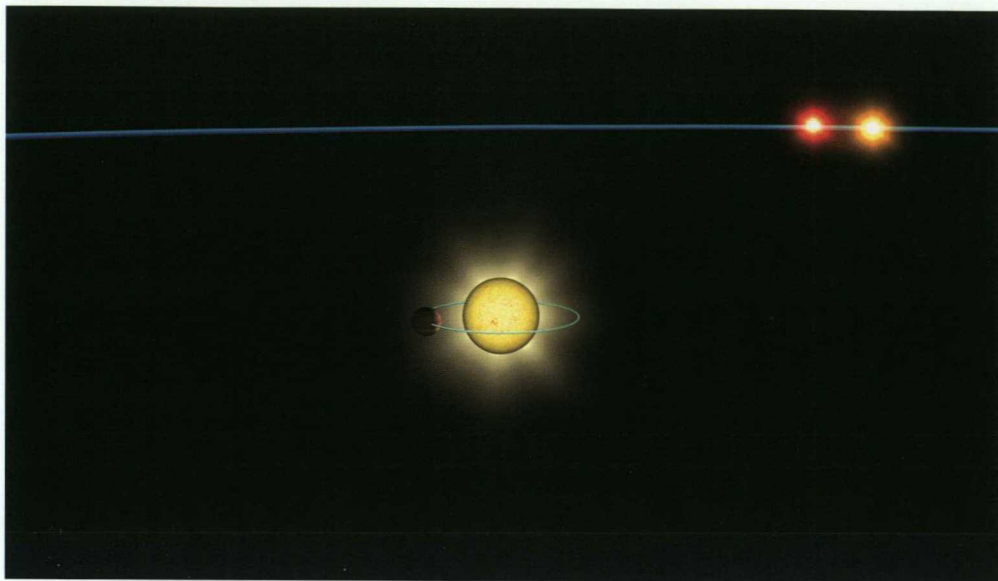
Precyzyjnym pomiarom prędkości gwiazd zawdzięczamy dziś większość naszej wiedzy o pozasłonecznych planetach. Odkryliśmy m.in. wiele planet mających bardzo ekscentryczne (tzn. wydłużone, nie kołowe) orbity. Orbity planet Układu Słonecznego praktycznie przypominają okręgi. Istnieje kilka wyjaśnień niekołowości orbit pozasłonecznych planet. Jedno z nich przewiduje znaczące grawitacyjne oddziaływanie młodych planet między sobą, prowadzące do m.in. zwiększenia ekscentryczności ich orbit. Znowu okazuje się, że z jakiegoś powodu te procesy nie odegrały istotnej roli w formowaniu się Układu Słonecznego. Można wręcz zaryzykować stwierdzenie, że dotychczas odkryte układy planetarne są zupełnie niepodobne

**Kandydatce na planetę w układzie potrójnym HD 188753 nadano już nazwę – Tatooine, zaczerpniętą z filmu „Gwiezdne wojny”. Tak nazywała się rodzinna planeta Luke’a Skywalkera, nad którą wschodziły dwa słońca**



## Poszukiwanie pozasłonecznych planet poprzez precyzyjne pomiary prędkości gwiazd

Jedynie „bezpieczne”  
miejsce w układzie  
potrójnym, gdzie  
orbita planety nie jest  
ustawicznie zmieniana  
przez gwiazdy towarzyszą,  
znajduje się w pobliżu  
głównej gwiazdy układu.  
Jednak najpopularniejsze  
obecnie teorie formowania  
planet nie potrafią  
wyjaśnić, jak planeta  
mogłaby powstać  
w takim otoczeniu



NASA/JPL-Caltech

do naszego systemu. Należy jednak podkreślić, że do niedawna precyzja pomiarów pozwalała tylko na odkrywanie dużych, masywnych planet o stosunkowo krótkich okresach orbitalnych. Odkrycie planety o parametrach podobnych do którejkolwiek z planet Układu Słonecznego było niemożliwe. Detekcja „drugiej Ziemi” wciąż wymaga usprawnienia technik obserwacyjnych. Na razie zadowolamy się szukaniem planet o masach porównywalnych z masą Ziemi, ale obiegających mało masywne gwiazdy i do tego po krótkookresowych orbitach. Te dwa czynniki powodują bowiem, że amplituda zmian wywołanych przez planetę w prędkości gwiazd rośnie i jest rzędu 1 m/s, czyli na poziomie obecnej precyzji pomiarów prędkości gwiazd. Gdybyśmy faktycznie chcieli znaleźć drugą Ziemię, potrzebujemy dokładności na poziomie 10 cm/s. To wciąż jest przed nami.

### Metale i planety

Najciekawszym w ostatnich kilku latach wynikiem badań planet jest odkrycie związku między szansą na powstanie planet wokół gwiazdy a jej metalicznością. W astronomii przez metaliczność gwiazdy rozumie się zawartość w gwieździe pierwiastków cięższych niż wodór i hel. Wygodnie jest porównywać ją do metaliczności Słońca. Okazuje się, że ok. 5% gwiazd podobnych do Słońca ma planety. Ale planety ma aż 30% gwiazd o metaliczności 3 razy większej niż słoneczna i tylko 0,3% gwiazd o metaliczności 3 razy mniejszej niż Słońce. Inymi słowy, szansa na uformo-

wanie się planet wzrasta wraz z zawartością pierwiastków cięższych niż wodór i hel w materii, z której powstała gwiazda i potem planety. Ponieważ wniosek ten jest w przeważającej mierze oparty na badaniach znanych nam jowiszowych planet, odnosi się właśnie do teorii ich powstawania. Zdaje się on sugerować poprawność modelu z akrecją na jądro, jako że cięższe pierwiastki ułatwiają formowanie się stałego jądra jowiszowej planety. Jest to o tyle istotne, że istnieje również konkurencyjny (choć mocno nieortodoksyjny) model, w którym jowiszowe planety powstają poprzez grawitacyjną niestabilność dysku protoplanetarnego dzięki zapadaniu się fragmentów dysku (czyli mniej więcej tak samo jak gwiazdy).

### Układy wielokrotne

Obecnie, by wnieść znaczący wkład w rozwój astrofizyki pozasłonecznych układów planetarnych, nie wystarczy już odkrycie kolejnej planety. Programy obserwacyjne zaplanowane są tak, by testować czy nawet podważać różne aspekty teorii powstawania planet. W tym duchu prowadzę poszukiwania planet w skomplikowanych układach gwiazd podwójnych i wielokrotnych.

Większość gwiazd z galaktycznego otoczenia Słońca to gwiazdy podwójne, a nawet wielokrotne – czyli układy związane ze sobą grawitacyjnie. Wybierając losowo gwiazdę z nocnego nieba, mamy 60% szans, że będzie to gwiazda podwójna lub potrójna, a i bardziej skomplikowane układy nie są rzadkością. Konfiguracje te są na tyle małe i odległe, że



obserwowane gołym okiem gwiazdy wyglądają na pojedyncze. Ale już przez teleskop ich wielokrotność widać wyraźnie.

Ze względu na trudności techniczne w mierzaniu prędkości gwiazd podwójnych techniką spektroskopową z precyzją umożliwiającą znajdowanie planet poszukiwania skupiały się dotychczas na gwiazdach pojedynczych. Trudność polega głównie na tym, że mamy wówczas do czynienia z widmem, które jest złożeniem widm gwiazd tworzących układ podwójny czy wielokrotny. Z tego powodu astronomowie po prostu unikali układów gwiazd. Mimo takiego podejścia okazuje się, że około 40 planet obiega gwiazdy z podwójnych albo nawet potrójnych układów gwiazd! Jednak w tych wypadkach gwiazdowi towarzysze gwiazd z planetami są na tyle odlegli (na niebie i fizycznie), że można je traktować (i obserwować) jak pojedyncze.

### Planeta trzech słońc?

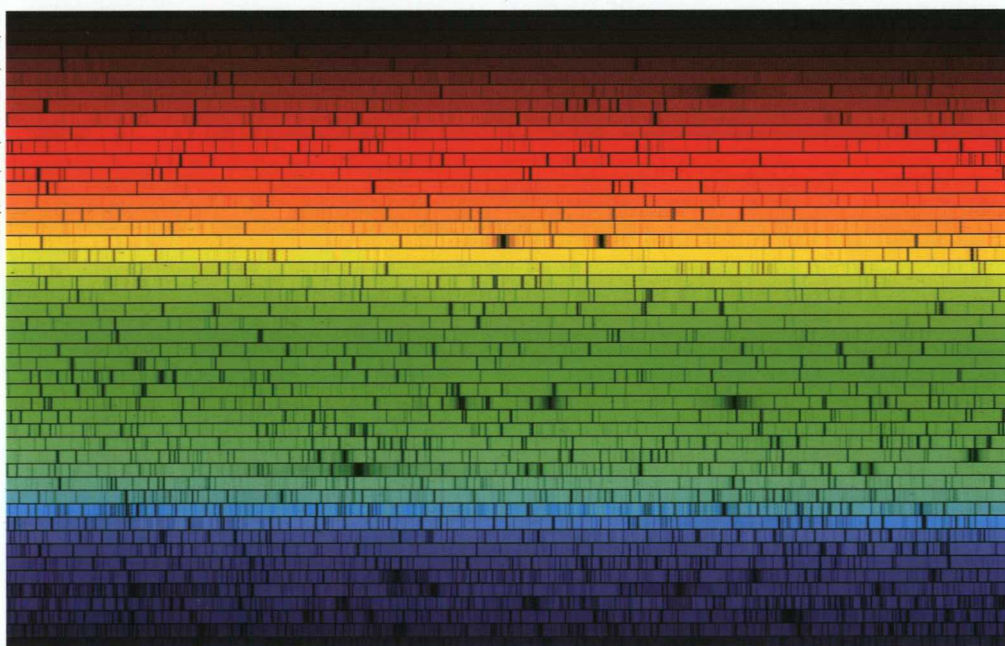
W 2003 roku opracowałem technikę mierzania prędkości gwiazd w ciasnych układach wielokrotnych i rozpocząłem poszukiwania planet wokół gwiazd z takich układów, korzystając z 10-metrowego teleskopu Keck I na Hawajach. W 2006 roku program ten został przeniesiony na europejski (włoski) 3,5-metrowy teleskop TNG na Wyspach Kanaryjskich. Program przyniósł już pierwszą kandydatkę na planetę, obiegającą główną gwiazdę potrójnego układu HD 188753.

Szukanie tego typu planet jest istotne, ponieważ mogą one stanowić ważny test teorii powstawania planet. Zauważmy bowiem, że wpływ bliskich towarzyszy gwiazdowych na protoplanetarny dysk (z którego musi powstać planeta) wokół głównej gwiazdy ma charakter destrukcyjny. W układzie HD 188753 dysk protoplanetarny zostałby grawitacyjnie „obcięty” przez towarzyszy do rozmiaru nieco większego niż orbita Ziemi. Jeśli zatem istnieje planeta w układzie HD 188753 potwierdzą prowadzone przez mnie dodatkowe obserwacje, planeta ta stanowić będzie nie lada wyzwanie dla istniejących teorii. Kolejne planety pojawiające się w tym programie czekają na potwierdzenie i publikację. Do tego za 2-3 lata na teleskopie SALT (na którym Polska ma prawo do 10% czasu obserwacyjnego) dostępny będzie spektrograf, który umożliwi szukanie takich planet także na półkuli południowej. Niewątpliwie polowanie na planety wymaga cierpliwości, ale rezultaty często przechodzą najśmielsze oczekiwania. ■

#### Chcesz wiedzieć więcej?

- Konacki M. (2005). Precision radial velocities of double-lined spectroscopic binaries with an iodine absorption cell. *Astrophysical Journal*, 626, 431.
- Konacki M. (2005). An extrasolar giant planet in a close triple-star system. *Nature*, 436, 230.
- Konacki M., Torres G., Jha S., Sasselov D.D. (2003). An extrasolar planet that transits the disk of its parent star. *Nature*, 421, 507.

N.A. Sharp, NOAO/NSO/Kitt Peak FTS/AURA/NSF



Astronomowie wyznaczają prędkości gwiazd dzięki spektroskopii, mierząc przesunięcia ich widm związane z efektem Dopplera