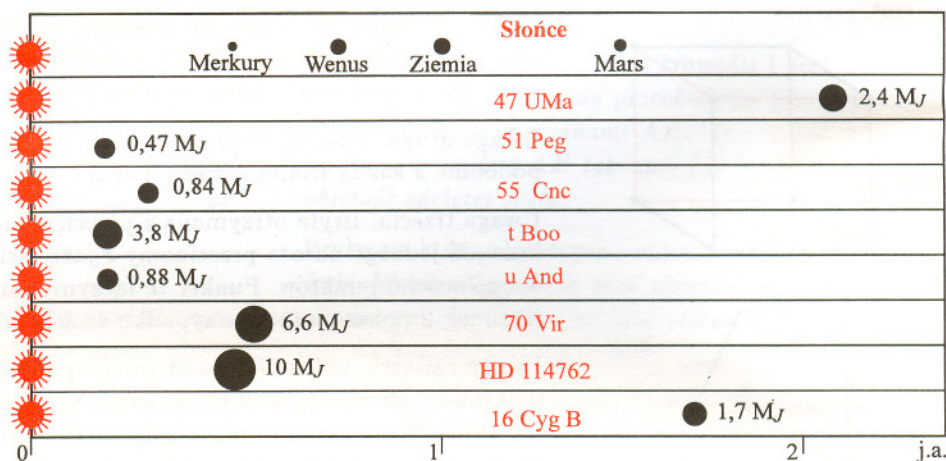


Nazwa: Kwirciel (para)
M. zam.: Ukl. 47 UMa

Niezwykle interesujące pytanie o możliwość istnienia pozasłonecznych formacji planetarnych wreszcie doczekało się odpowiedzi. Długoletnie badania prowadzone w tym kierunku przyniosły w ostatnich latach sukces – stwierdzono istnienie planet wokół kilku gwiazd! Jak do tego doszło? W jaki sposób dostrzec planetę krążącą w niewielkiej odległości wokół gwiazdy, która jest tysiące razy jaśniejsza od niej? Zważywszy, że najbliższa Słońcu gwiazda oddalona jest o 4,26 lat świetlnych, stanowi to niezwykle twardy orzech do zgryzienia. Nawet Kosmiczny Teleskop Hubble’a, dostarczający najwyższej jakości obrazów, nie jest w stanie bezpośrednio wykryć obecność tego rodzaju obiektu.



Rys. 1. Masy i odległości orbitalne odkrytych planet (M_J – masa Jowisza)

Obecnie możliwość taką dają pośrednie techniki detekcji. Największe znaczenie ma spektroskopia wykorzystywana do pomiaru zmian prędkości radialnej gwiazd, wokół których krążą planety. Bowiem wraz z planetą porusza się też gwiazda, co spostrzegamy jako naprzemienne przesuwanie się jej linii widmowych; raz w kierunku fal krótszych, innym razem w kierunku fal dłuższych. Ów dopplerowski „taniec linii” powtarza się z każdym okresem orbitalnym. Dokładne ustalenie przesunięcia dopplerowskiego linii widmowych, a stąd zmian prędkości radialnej gwiazdy, pozwala wyznaczyć elementy orbity obiegającej ją planety. Niestety, nie wiemy, pod jakim kątem „oglądamy” orbitę gwiazdy, dlatego możemy określić tylko dolną granicę masy planety, co stanowi istotną wadę tej metody. Stosując obliczenia statystyczne możemy dodatkowo stwierdzić, jakie jest prawdopodobieństwo, że planeta będzie miała założoną masę. Oddziaływanie Jowisza na ruch Słońca objawia się w postaci takich okresowych zmian o amplitudzie 13 m/s. Wynika stąd, że poszukiwanie planet o masie Jowisza wymaga instrumentów o czułości rzędu pojedynczych m/s, co jeszcze kilka lat temu było nieosiągalne. Decydujące znaczenie mają tu parametry spektrografu stosowanego do otrzymywania widma gwiazdy, ponieważ to jego jakość, w większym nawet stopniu niż rozmiary teleskopu, wpłynąć może na końcową precyzję i błędy pomiaru.

Znaczny wzrost precyzji przyniosło równoczesne otrzymywanie widma gwiazdowego i widma porównania, którego źródło stanowiła absorpcyjna komórka molekularnego jodu umieszczona przed szczeliną spektrografu. Światło gwiazd po przejściu przez nią kierowane było do szczeliny. W ten sposób komórka działała jak filtr dający mnóstwo nadzwyczaj ostrych linii na tle widma gwiazdy.

Pierwszą pozasłoneczną planetę wokół gwiazdy 51 Pegasi odkryli Michel Mayor i Didier Queloz, wywodzący się z Obserwatorium Genewskiego. Od kwietnia



Nazwa: Kwirciel (okres godowy)
M. zam.: Ukl. 47 UMa



Nazwa: Pruchwiel (samica)
M. zam.: Ukl. τ Boo

1994 roku monitorowali oni radialną prędkość 142 karłów typu widmowego G i K z precyzją 13 m/s. Zostały one wybrane z większej próbki badanej w niższej precyzji w ciągu 15 lat. W październiku 1995 r. donieśli o odkryciu planetarnego towarzysza wokół oddalonej o 13,7 pc, podobnej do Słońca gwiazdy 51 Peg. Dużym zaskoczeniem była wynosząca zaledwie 0,05 j.a. pół orbita ciała o minimalnej masie 0,47 M_J (masy Jowisza). W Układzie Słonecznym nie ma tego rodzaju obiektów i teoretyczne modele sugerowały również ich brak w innych układach planetarnych. Równolegle R. Paul Butler i Geoffrey W. Marcy zastosowali w Obserwatorium Licka własną technikę pomiaru prędkości radialnej gwiazd z błędami na poziomie 3 m/s. Po zbadaniu 120 karłów typów widmowych F,G,K,M wykryli planety wokół 6 gwiazd.

Jeszcze przed wykryciem jakiegokolwiek planety zastanawiano się, jakie czynniki decydować mogą o rozmiarach orbit planet olbrzymów. Spodziewano się, że planety olbrzymy powinny tworzyć się tam, gdzie temperatura jest niższa od punktu kondensacji wody, co wynikało z przyjętego scenariusza formowania się takich obiektów. Wówczas to jasność gwiazdy określałaby rozmiar orbit planet olbrzymów. W takim przypadku typowe okresy orbitalne mogły okazać się znacznie krótsze, niż się powszechnie uważało, gdyż przeciętna gwiazda jest chłodniejsza i ma mniejszą jasność niż Słońce. Rzeczywistość okazała się jeszcze bardziej zaskakująca.

Elementy orbitalne odkrytych planet znacząco różnią się od elementów planet Układu Słonecznego. Ich wartości zawierają się w bardzo szerokim zakresie. Cztery z nich zamieszczone w tabeli 1 wykazują podobieństwo, tworząc grupę obiektów typu 51 Peg. Okrążają one swoje rodzime gwiazdy około 100 razy bliżej niż Jowisz Słońce. Chociaż teoretycznie planety tego typu nie były przewidywane, to stosunkowo łatwo dają się wykrywać. Duża masa na małej orbicie sprawia, że oddziaływanie grawitacyjne na gwiazdę jest znaczące. Ponadto krótki okres obiegu pozwala wielokrotnie poddać orbitę obserwacjom w krótkim przedziale czasu.

Tabela 1

Param.	P [dni]	e	Δv [m/s]	a [j.a.]	M_{sini} [M_J]
51 Peg	4,23	0,015	57	0,05	0,47
ν And	4,61	0,15	74	0,057	0,68
τ Boo	3,31	0,015	469	0,046	3,8
55 Cnc	14,64	0,050	77	0,11	0,84

Tabela 2

Param.	P [dni]	e	Δv [m/s]	a [j.a.]	M_{sini} [M_J]
47 UMa	1107,6	0,01	48	2,1	2,4
70 Vir	116,7	0,404	315	0,43	6,6
16 Cyg B	819,4	0,57	44	1,6	1,7

Oznaczenia: P – okres orbitalny, e – mimośród orbity, Δv – amplituda zmian prędkości radialnej, a – pół wielka orbity, M_{sini} – dolna granica masy.

Tabela 2 przedstawia elementy orbit pozostałych planet leżących dalej od swoich gwiazd. Tylko 47 UMa ma jednocześnie kołową orbitę i odległość orbitalną podobną do planet olbrzymów w naszym układzie. Pozostałe dwa ciała mają bardzo dużą ekscentryczność, co nie jest bez znaczenia. Przeciwnie, kształt orbity najmaszywniejszych planet w układzie jest bardzo istotny również dla pozostałych ciał układu planetarnego. Gdyby np. Jowisz poruszał się po



Nazwa: Pruchwiel (samiec)
M. zam.: Ukl. τ Boo



Nazwa: *Siurmcia*k (osobnik dojrzały)
M. zam.: Ukl. 70 Vir

ekscentrycznej orbicie, Ziemia i Mars pod wpływem jego oddziaływania mogłyby zostać wyrzucone poza granice układu.

Szczególnie interesującym przypadkiem jest planeta wokół 16 Cyg B odkryta niezależnie przez Williama D. Cohrana i Artie P. Hatzesa w Obserwatorium Mc Donalda, oraz w trakcie badań planetarnych w Obserwatorium Licka. Jest to układ potrójny złożony z pary karłów typu G, tworzących układ wizualnie podwójny, i odległego karła typu M. Obydwa karły typu G są bardzo podobne do Słońca. Bardzo dużą ekscentryczność orbity próbuje się wyjaśnić na wiele sposobów. Jedna z teorii mówi, że jest ona związana z formowaniem się planety w układzie dynamicznie niestabilnej konfiguracji kilku gwiazd. Oddziaływanie grawitacyjne trzech ciał może wyrzucić jedno z nich z układu, a pozostałe dwa zbliżyć. Tak aktualnie wygląda układ 16 Cyg. Zjawisko to mogło zaburzyć orbitę planety wokół 16 Cyg B do obserwowanej obecnie postaci.

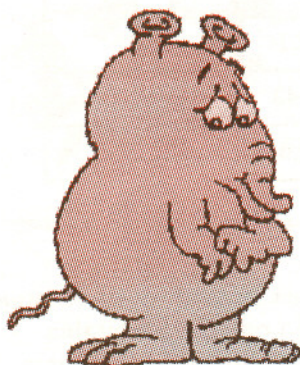
Inny scenariusz przewiduje, że jeśli kilka jowiszowych obiektów uformuje się w jakimś masywnym dysku, wówczas możliwa jest ewolucja układu do postaci, w której istnieć mogą obiekty w rodzaju planety 16 Cyg B. Numeryczne obliczenia pokazują, że układ jest stabilny do chwili dyssypacji dysku, później wzajemne oddziaływanie planet sprawia, że staje się on chaotyczny. Orbity zaczynają krzyżować się, co w krótkim czasie prowadzi do zderzenia się planet. W efekcie pojawia się masywna planeta na ciasnej, ekscentrycznej orbicie, czasami w towarzystwie innych planet na dużo szerszych orbitach.

Poszukiwania układów planetarnych nie doprowadziły do wykrycia brązowych karłów wokół badanych gwiazd. Ponieważ znamy tylko dolne granice mas planet, trwają spekulacje na temat klasyfikacji tych obiektów. Przykładem niech będzie podgwiazdowy towarzysz HD114762 odkryty w 1989 roku przez Davida Lathmana i jego współpracowników. Obiekt ma dolną granicę masy $10 M_J$ i krąży w odległości okołosłonecznej orbity Merkurego. Zrozumiałe jest, że wobec braku takich ciał w Układzie Słonecznym zaraz po odkryciu wielu badaczy wątpiło, że jest on planetą. Częściej utożsamiano go z krańcowo małym masywnym przedstawicielem obiektów gwiazdopodobnych – brązowym karłem. Jednakże w obliczu odkrycia niewiele mniej masywnego ciała wokół 70 Vir, towarzyszący HD114762 obiekt awansował w poczet nowo odkrytych planet (co nadal nie przesądza o tym, że jest faktycznie planetą). Obiekty powyżej 10 czy $20 M_J$ skłonni jesteśmy uznawać raczej za brązowe karły niż planety. Różnica jest zasadnicza. Planety, jak sądzimy, formują się w dysku materii wokół gwiazdy. Brązowe karły powstają w taki sam sposób jak gwiazdy, kondensując się bezpośrednio z obłoku gazowego. Skupiają jednak za mało materii, by zainicjować wewnętrzne reakcje termojądrowe, będące podstawowym źródłem energii gwiazd na ciągu głównym wykresu H-R.

Oprócz spektroskopii pośrednią metodą wykrywania planet wokół gwiazd jest także astrometria. Podejście to opiera się na skrupulatnych pomiarach pozycji gwiazdy. Orbitalny ruch wokół barycentrum powoduje periodyczne zmiany pozycji gwiazdy w płaszczyźnie nieba. Nakładają się one na średni ruch gwiazdy względem Układu Słonecznego ze składową, która odzwierciedla roczny i dzienny ruch obserwatora. Astrometria i spektroskopia stanowią wzajemnie uzupełniające się podejścia. Dzieje się tak dlatego, że astrometria maksimum czułości ma dla planet na odleglejszych orbitach. Spektroskopia z kolei najlepiej spisuje się w stosunku do masywnych planet na ciasnych orbitach. Astrometria jest najbardziej czuła dla bliskich systemów planetarnych, co wynika z tego, że widome rozmiary kątowe orbit maleją ze wzrostem odległości gwiazd od Słońca.

Dotychczas prezentowana czułość instrumentów nie przyniosła przekonujących dowodów na obecność pozasłonecznych planet, choć od lat pojawiają się takie sygnały. Ostatni z nich zakomunikował George D. Gatewood analizując 50-letnią serię zdjęć Lalande 21185 oraz dokonując własnych pomiarów w ciągu 8 lat. Doszedł do wniosku, że gwiazda ma dwóch jowiszowych towarzyszy. Badania

Diagram H-R (Hertzsprunga-Russella) przedstawia zależność jasności absolutnych gwiazd od ich typu widmowego. Gwiazdy „spalające” wodór układają się na diagramie wzdłuż tzw. ciągu głównego.



Nazwa: *Siurmcia*k (młody)
M. zam.: Ukl. 70 Vir



Nazwa: *Żaba*
M. zam.: **Ukł. Słoneczny**

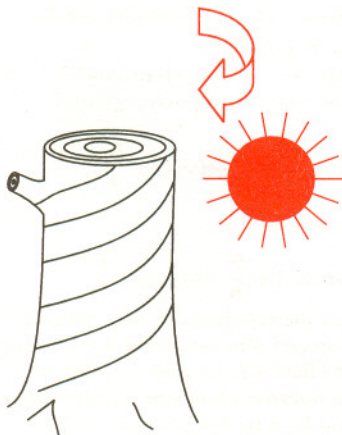
przeprowadzone w Obserwatorium Licka nie wykryły takich sygnałów. Na potwierdzenie wyników trzeba więc będzie jeszcze poczekać.

Kolejnym możliwym do wykorzystania sposobem wykrywania planet są systematyczne obserwacje fotometryczne gwiazd i rejestracja ich częściowych zaćmień przez planety. Jednakże ze względu na rzadkość i krótki czas trwania takich zaćmień efektywność tej metody jest problematyczna.

Innym zjawiskiem, którego obserwacje umożliwia fotometria, jest mikrosoczewkowanie grawitacyjne. Zachodzi ono wtedy, gdy światło odległej gwiazdy w drodze do obserwatora przechodzi w pobliżu innej masy punktowej, aby ulec grawitacyjnemu ogniskowaniu. Obserwuje się wówczas pojaśnienie soczewkowanej gwiazdy, którego skala czasowa zależy od masy obiektu soczewkującego. Obecność planet wokół soczewkującej gwiazdy objawia się w postaci deformacji krzywej blasku gwiazdy soczewkowanej lub jako dodatkowe krótkotrwałe maksima. Metoda pozwala tylko na jednorazową detekcję, co jest jej wadą. Można ją jednak wykorzystać do statystycznej oceny częstości występowania układów planetarnych.

Niewątpliwie bezpośrednie metody wykrywania planet są jeszcze atrakcyjniejsze niż opisane dotąd metody pośrednie. W niedalekiej przyszłości zostaną z pewnością zastosowane do wykrywania promieniowania planet. Jedną z najbardziej obiecujących to obserwacje w podczerwieni za pomocą interferometrów, gdyż w zakresie podczerwonym skupia się największa część promieniowania planety. Istotną przeszkodą jest ciepło emitowane przez Ziemię oraz cząstki pyłu międzyplanetarnego (światło zodiakalne). Problem rozwiązać można przez umieszczenie całej aparatury na okołosłonecznej orbicie w odległości orbity Jowisza. Interferometr wykorzystywałby fakt, że gdyby odbierał światło gwiazdy akurat w fazach przeciwnych, to światło planety położonej nieco „obok” odbierane byłoby w fazach zgodnych. Światło gwiazdy byłoby więc wygaszone, a planety nie, i można by je zarejestrować. Gdyby taki interferometr umieścić na orbicie pobliskiej gwiazdy i skierować na nasz Układ Słoneczny, odnalazłby Wenus, Ziemię, Marsa, Jowisza i Saturna. Zastosowanie instrumentów o coraz lepszych parametrach powinno niebawem poprawić czułość opisanych technik oraz otworzyć możliwość odkrywania planet rozmiarów Ziemi. Rozwój technologii spowoduje zapewne możliwość wykorzystania technik nie będących dotychczas w użyciu lub nie przynoszących dotąd spodziewanych rezultatów. Worek z planetami, który rozwiązał Aleksander Wolszczan znajdując trzy takie obiekty wokół pulsara PSRB1257+12, a po nim Michel Mayor i Didier Queloz odkrywając towarzysza normalnej gwiazdy, może niebawem okazać się niezwykle zasobny.

Drzewa w śrubkę



W Laponii, na północ od Kręgu Polarnego, prawie wszystkie drzewa są poskręcane. Jest to szczególnie widoczne, gdy drzewa są martwe, odarte z kory. Wówczas wyraźnie widać ich włókna. Nie są one pionowe, lecz układają się w linię śrubową. Co więcej, wszystkie drzewa są skrócone w tę samą stronę. Oznacza to, że rosnąc ulegały skręceniu – po prostu powoli obracały się tak, że w ciągu swojego życia wykonały kilka do kilkunastu obrotów. Dlaczego?

Wyjaśnienie wydaje się proste. Latem Słońce w Laponii cały czas znajduje się powyżej linii horyzontu. Ponieważ jednak igły i liście drzew obracają się w stronę Słońca, więc powoduje to powstanie siły skręcającej drzewo w jedną stronę (zgodną z ruchem Słońca) i w efekcie drzewo ulega skręceniu. Istotną rolę odgrywa tu fakt, że Słońce nie zachodzi. W Polsce podobnego zjawiska nie obserwuje się – na naszej bowiem szerokości geograficznej w nocy gałęzie drzewa odkręcają się, by ponownie, o wschodzie Słońca, zwrócić się na wschód.

Wyjaśnienie byłoby przekonujące, gdyby nie jeden mały szkopał. W Laponii wszystkie drzewa są skrócone w kierunku przeciwnym do ruchu Słońca. Czy ktoś z Was, Drodzy Czytelnicy, zna rozwiązanie tej zagadki?