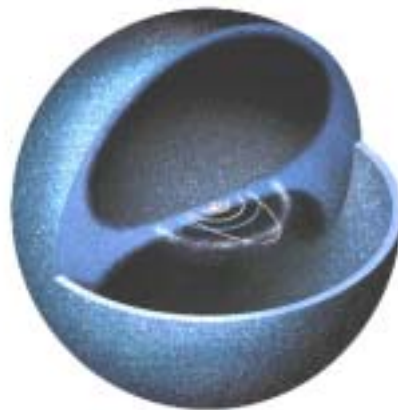


poszukiwania Pozasłonecznych Układów Planetarnych

Autor :

Bogusława Ćwikła



Pod kierunkiem :

mgr Mirosława Trociuka

Bibliografia:

1. Andrzej Niedzielski, „Jak znaleźć planetę poza Układem Słonecznym” cz.1, *Urania– Postępy Astronomii* 3,693 (2001).
2. Andrzej Niedzielski, „Jak znaleźć planetę poza Układem Słonecznym” cz.2, *Urania– Postępy Astronomii* 4,694 (2001)
3. Michał Różyczka, „Pozasłoneczne układy planetarne”, *Urania – Postępy Astronomii* 1,685 (2001).
4. Jacek Leliwa– Kopystyński, „Układ Słoneczny”, *Urania – Postępy Astronomii* 4,676 (2001) .
5. Michał Różyczka, „Coraz więcej planet ”, *Wiedza i Życie* 6,2001.
6. Leszek P. Błaszkiwicz, „Czy zagłuszamy kosmos”, *Wiedza i Życie* 3,2001.
7. Bogdan Wszolek: „Wprowadzenie do astronomii”, *Wydawnictwo WSP Częstochowa*, (2000)
8. www.astro.rug.nl/~planet/planeet.html
9. William Cochran, „Planety poza Układem Słonecznym”, *Postępy Fizyki*3,(1998)
10. Michał Różyczka, „Układy planetarne w podczerwieni”, *Wiedza i Życie* 8,1998.
11. www.obspm.fr/encycl/encycl
12. Multimedialna Encyklopedia Powszechna– edycja 2001, Onet.pl S.A.
13. Słownik Fizyczny, Warszawa 1984 .Wiedza Powszechna

Wstęp

Układ Słoneczny to gwiazda – Słońce plus ogromna liczba ciał pozostających w jego bliskim otoczeniu. Odkrywaniem planet krążących wokół Słońca zajmowano się już w starożytnej Grecji. Ówczesni astronomowie wprowadzili podział na planety górne i dolne. Do pierwszej grupy zaliczono Merkurego oraz Wenus gdyż od dawna uważano, że znajdują się one niżej (bliżej Ziemi) niż Słońce. Dziś wiemy, że Wenus nie oddala się od Słońca o więcej niż 46 stopni, zaś Merkury jedynie o 28 stopni. Do drugiej grupy zaliczano pozostałe trzy znane wtedy planety – Marsa, Jowisza oraz Saturna.

Przez następne stulecia astronomowie wysuwali nowe teorie dotyczące budowy Układu Słonecznego.

Jeżeli chodzi o Ziemię to ostateczny dowód na jej planetarny charakter podał Mikołaj Kopernik, który obalił teorię geocentryczną (centralnym punktem kosmosu jest nieruchoma Ziemia) a na jej miejsce wprowadził teorię heliocentryczną która głosi, że w centrum układu znajduje się Słońce a planety krążą wokół niego po kołowych orbitach

W 1781 roku William Herschel dostrzegł w polu widzenia reflektora skierowanego na gwiazdozbiór Bliźniąt nieznaną obiekt o szybkim ruchu własnym. Początkowo uznano, że jest to kometa lecz po roku obserwacji i wyznaczeniu wstępnie orbity po jakiej się porusza zakwalifikowano go jako kolejną planetę Układu Słonecznego. Obiekt nazwany został na cześć boga niebios – Uranem.

Astronomem który przyczynił się do odkrycia kolejnej planety był Aleksander Bouvard. Jego obserwacje ujawniły, że między teoretycznymi a obserwowanymi pozycjami Urana występuje różnica, która rośnie wraz z czasem. Uznano, że jest to efekt oddziaływania grawitacyjnego jednej z planet. Jednak nie była to żadna ze znanych planet. Na podstawie obserwowanych odchyłek w ruchu obliczono jej masę i orbitę po jakiej się porusza. Był to Neptun.

Istnienie Neptuna nie wyjaśnia w pełni perturbacji w ruchu Urana. Odchyłki są jednak bardzo małe i początkowo wydawało się, że na ich podstawie nie da się określić orbity ewentualnej planety pozaneptunowej. Zadania tego podjęli Percival Lowell i Edward Pickering. Lowell ukończył pracę na krótko przed śmiercią i zdołał jedynie w 1914 r. opublikować wyniki swoich obliczeń. Pracę kontynuował jego asystent W. Tombaugh. Odnalazł na niebie dziewiątą planetę Układu Słonecznego – Plutona.

I. POZASŁONECZNE UKŁADY PLANETARNE

Pierwsze wzmianki o pozasłonecznych układach planetarnych pochodzą od kilku autorów i dotyczą różnych obiektów. Najbliższa nam gwiazda poza Słońcem to Proxima Centauri. Holberg badając jej ruch własny nie wykluczył możliwości istnienia w tym obszarze jakiegось obiektu.

Planety mogą też krążyć wokół gwiazdy 61 Cygni nazwanej gwiazdą Bessla - jest to układ podwójny składający się z dwóch gwiazd. Wykryte przez K. A. Stranda perturbacje sugerują istnienie trzeciego ciała – wielkiej planety.

Pierwszy pozasłoneczny układ planetarny został odkryty przez polskiego radioastronoma prof. Aleksandra Wolszczana w 1992 roku. Układ zbudowany jest z czterech planet a w jego centrum znajduje się gwiazda neutronowa (pulsar PSR B1257+12) emitująca zamiast światła widzialnego fale radiowe, promienie rentgenowskie i wysokoenergetyczne cząstki elementarne. To odkrycie oraz odkrycie przez Mayora i Quelozą pierwszej planety krążącej wokół normalnej gwiazdy 51 Pegasi B spowodowało nieprawdopodobny wzrost zainteresowania planetami.

Według danych z 6 lutego br. do tej pory odkryto 68 układów planetarnych, 76 planet w tym 7 systemów wieloplanetarnych.

II. METODY ODKRYWANIA PLANET

Bezpośrednie odkrycie pozasłonecznego układu planetarnego przekracza obecnie nasze możliwości, dlatego robi się to za pomocą metod pośrednich, czyli wykorzystując informacje związane z gwiazdą, które mogą świadczyć o istnieniu planet .

Do głównych metod odkrywania egzoplanet należą:

1. Perturbacje w ruchu własnym – astrometria
2. Chronometraż pulsarów
3. Mikrosoczewkowanie grawitacyjne
4. Fotometria
5. Zmiany prędkości radialnych (metoda Dopplerowska)
6. Bezpośrednie obserwacje widmowe
7. Badanie dysków typu β Pictoris
8. SETI

II. 1. Perturbacje w ruchu własnym – astrometria

Zarówno gwiazda centralna jak i okrążające ją planety, poruszają się w rzeczywistości wokół wspólnego środka masy, którego położenie wyznacza stosunek mas obiektów (masa planety do masy gwiazdy). Promień okręgu wyznaczanego przez gwiazdę opisuje wzór:

$$a_g = a_p \frac{M_p}{M_g}$$

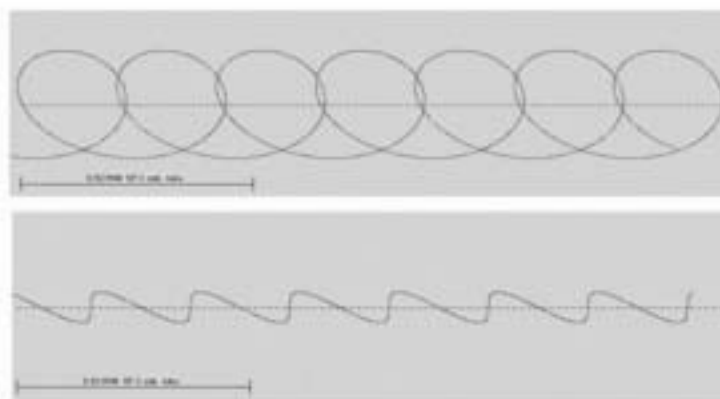
gdzie:

a_p – średnia półoś orbity po jakiej porusza się planeta

M_p – masa planety

M_g – masa gwiazdy

Ruch planety okrążającej środek masy układu planetarnego powoduje ruch gwiazdy wokół tego punktu. Zaburza to jej ruch własny. Efektem tego jest powstanie na wykresie zamiast toru prostoliniowego linii falistej (rysunek 1).



Rys. 1. Ruch gwiazdy centralnej wokół barycentrum układu gwiazda-planeta

Badaniem zmian w położeniu i ruchu gwiazd oraz innych ciał niebieskich zajmuje się astrometria. Z jej pomocą możemy uzyskać absolutne wielkości orbit i mas planet, nieskażone geometrią układu, jeśli znamy odległości do badanego układu planetarnego oraz masę gwiazdy centralnej.

Przesunięcie gwiazdy wywołane obecnością tylko jednej planety o masie Ziemi poruszającej się w odległości 1 j.a. obserwowane z odległości 3 parseków ($1\text{pc} = 3,26$ lat świetlnych) jest równe 1μ łuku. Obserwacje tak małych przesunięć kątowych wymagają zastosowania interferometrycznych technik.

II. 2. Chronometraż pulsarów

Technika ta polega na analizie przesunięć w czasie impulsów radiowych wysyłanych przez pulsary.

Ruch planety wokół gwiazdy powoduje, że gwiazda porusza się także wokół centrum masy układu. Ruch gwiazdy po elipsie powoduje - z punktu obserwatora ziemskiego - bardzo nieznaczne przybliżanie się i oddalanie gwiazdy w czasie równym okresowi obiegu planety wokół gwiazdy.

Ruch gwiazdy do i od obserwatora powoduje przesunięcie dopplerowskie emitowanego przez pulsar impulsu. Wielkość zapóźnienia czasowego wyrażonego w milisekundach ($1\text{ms} = 10^{-3}\text{s}$) jest proporcjonalna do masy w jednostkach masy Ziemi oraz do pierwiastka 3-go stopnia z kwadratu obiegu planety wyrażonego w latach.

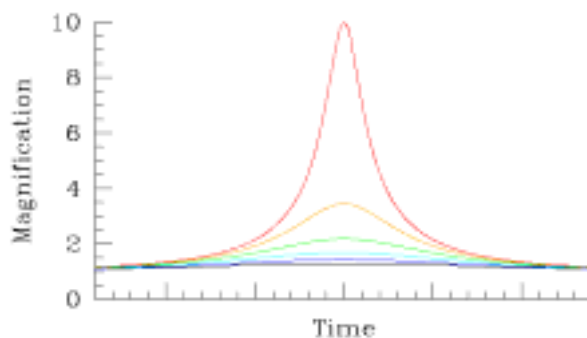
W metodzie tej dokonuje się pomiaru fazy impulsów, której miarą jest liczba impulsów zarejestrowanych od momentu początkowego do czasu przybycia impulsu do centrum Układu Słonecznego. Dla wolnych pulsarów dokładność chronometrażu wynosi $\approx 1\text{ms}$.

To właśnie tą metodą posłużył się Aleksander Wolszczan przy badaniu pulsara B1257+12.

II. 3. Mikrosoczewkowanie grawitacyjne

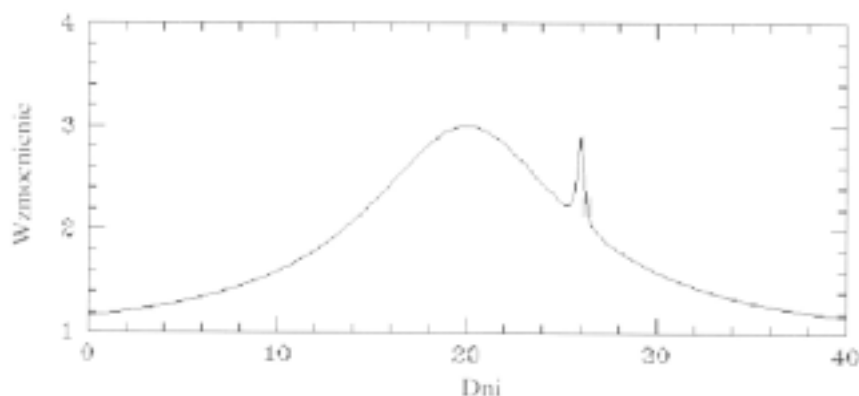
Mikrosoczewkowanie grawitacyjne – odkształcenie i wzmocnienie jasności obrazów odległych źródeł światła przez materię znajdującą się między nim a obserwatorem.

Soczewka grawitacyjna składająca się z gwiazdy powoduje pojaśnienie ogniskowanego, bardzo dalekiego obiektu, trwające od kilku do kilkudziesięciu dni. Jeżeli dana gwiazda posiada dodatkowo planetę to charakterystyczne pojaśnienie poza zwykłym rozkładem w czasie ukaże nam także dodatkowy „pik” (rys. 2) trwający od kilku godzin do kilku dni.



Rys. 2. „Pik” na teoretycznej krzywej jasności obiektu mikrosoczewkowanego grawitacyjnie

Zjawisko to jest obserwowane fotometrycznie. Jeżeli planeta przechodzi przed gwiazdą, to zmienia się obraz powstały w wyniku mikrosoczewkowania (rys. 3).



Rys. 3. Krzywa zmian jasności gwiazdy tła na skutek mikrosoczewkowania grawitacyjnego, widoczne maksimum gwiazdy centralnej i planety

Czułość tej metody jest niezależna od jasności gwiazdy i obiegającej jej planety. Jest to jedyna metoda poszukiwania planet, której nie liczy się odległość układu od Ziemi. Możemy nawet badać układy z sąsiednich galaktyk. To co zobaczymy zależy jedynie od wielkości planet i rozmiarów orbity po jakiej się porusza.

Niestety planeta odkryta tą metodą już nigdy nie będzie obserwowana ponieważ szczególna konfiguracja nigdy się nie powtórzy.

II. 4. Fotometria

Fotometria jest dziedziną zajmującą się wyznaczaniem jasności obiektów astronomicznych.

Metoda ta opiera się na poszukiwaniu zmian jasności danej gwiazdy wskutek częściowego przesłonięcia jej tarczy przez okrążające ją planety (rys. 4). Warunkiem wystąpienia takiego zjawiska jest odpowiednie położenie orbity planety. Prawdopodobieństwo wystąpienia odpowiedniego układu jest równe:

$$p = \frac{R_g}{a}$$

gdzie:

R_g – promień gwiazdy

a – średnia półoś orbity planety

Czas trwania takiego przejścia będzie wynosić :

$$T = \left(\frac{P}{\pi} \right) \cdot \left(\frac{R_g}{a} \right)$$

P – okres obiegu planety wokół gwiazdy centralnej.

Kolejną wielością charakteryzującą to zjawisko jest jego „głębokość” (zmiana jasności gwiazdy). Wyznaczamy ją ze wzoru:

$$\frac{\Delta I}{I} = \left(\frac{R_p}{R_s} \right)^2$$

gdzie:

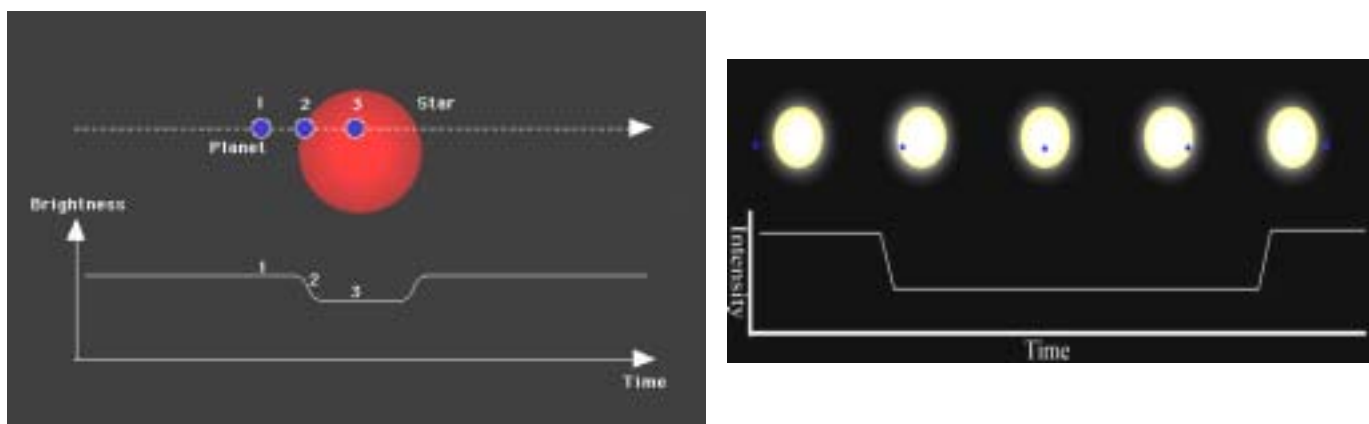
R_p – Promień planety

R_s – promień gwiazdy

Spadek jasności wyrażony z jednostkach magnitudo określony jest wzorem :

$$\Delta m = 2,5 \log \frac{R_g^2 - R_p^2}{R_g^2}$$

Zaćmienia są zjawiskiem powtarzającym się okresowo (co 12 lat w przypadku Jowisza), co umożliwia nam potwierdzenie odkrycia.



Rys. 4. Zmiana jasności przy przejściu planet przed tarczą gwiazdy

Efektywne poszukiwanie planet z zastosowaniem tej metody wymaga obserwacji fotometrycznych z dokładnością 0,1%. Niestety trzeba wziąć pod uwagę fakt, że ilość układów planetarnych o płaszczyznach usytuowanych w taki sposób, by obserwator mógł obserwować przejścia planet przed tarczą gwiazdy jest znikoma. Dlatego należy obserwować ogromne ilości gwiazd.

II. 5. Zmiany prędkości radialnych (spektroskopia dopplerowska)

Jest to jak dotąd najbardziej efektywna metoda poszukiwania planet. Opiera się ona na pomiarach prędkości kątowych gwiazd, wokół których krążą poszukiwane planety. Prędkość radialną gwiazd mierzymy na podstawie analizy przesunięć dopplerowskich w ich widmach.

Jest ona zależna od masy planety (pierwiastka trzeciego stopnia z odwrotności okresu oraz masy gwiazdy centralnej w potęgze $-2/3$). Wielkość przesunięcia jest proporcjonalna do radialnej składowej prędkości gwiazdy.

Znając okres zmiany prędkości radialnej gwiazdy P , z III prawa Keplera możemy obliczyć wielką półość orbity planety a :

$$a^3 = \frac{GM_* P^2}{4\pi^2}$$

gdzie:

M_* jest znaną nam z analizy widma masą gwiazdy. Otrzymywana z obserwacji półamplituda K krzywej zmian prędkości radialnej wiąże się z prędkością orbitalną gwiazdy wzorem:

$$K = V_* \sin i$$

gdzie:

i jest kątem nachylenia osi orbity do prostej łączącej gwiazdę z obserwatorem.

W najprostszym przypadku (orbita kołowa) prędkość planety V_{pl} jest stała:

$$V_{pl}^2 = \frac{GM_*}{a}$$

z definicji środka masy mamy:

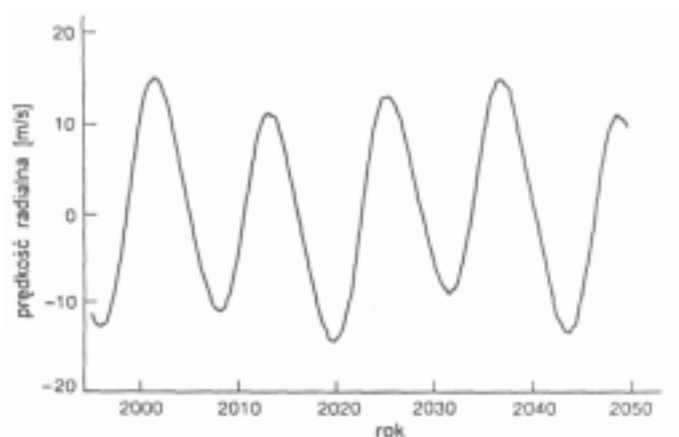
$$M_{pl} = \frac{M_* V_*}{V_{pl}} = \frac{M_* K}{\sin i V_{pl}}$$

co pozwala nam obliczyć wielkość $M_{pl} \sin i$, która jest dolnym oszacowaniem masy planety.

Niestety ze względu na fakt, że obserwujemy tylko jedną składową ruchu gwiazdy (radialną właśnie), wyniki obserwacji są „skażone” efektem nachylenia normalnej płaszczyzny, w jakiej w jakiej się porusza do kierunku widzenia. W tej

sytuacji wyznaczenie wielkości takich jak masa planety, czy wielkość jej orbity będą znane z dokładnością do sinusa tego kąta.

Aby właściwie zinterpretować mierzone prędkości trzeba wziąć pod uwagę wiele efektów, które zaburzają wyniki pomiarów. Orbitalny ruch Ziemi wokół Słońca powoduje zmiany znacznie większe niż te, które chcemy obserwować. Istotny wpływ na zmiany prędkości radialnych gwiazd ma odbicie ruchu Księżyca wokół Ziemi i innych planet Układu Słonecznego.



Rys. 5. Zmiany prędkości radialnej Słońca wokół środka masy widziane w płaszczyźnie orbity.

II. 6. Bezpośrednie obserwacje widmowe

Planety świecą światłem odbitym od gwiazdy. Najprościej można je zaobserwować za pomocą teleskopu. Ilość odbitego przez planetę światła zależy wprost od kwadratu wielkości planety i odwrotnie od jej kwadratu odległości od gwiazdy centralnej układu.

Zależy ona także od efektywności odbijania światła przez atmosferę, bądź jej powierzchnię, czyli albedo.

Ilość odbitego przez planetę światła jest bardzo mała. Emitowane przez ewentualną planetę światło stanowi dla odległego obserwatora obraz, który zlewa się z dyfrakcyjnym obrazem gwiazdy otrzymanym w teleskopie kosmicznym, albo w przypadku teleskopów naziemnych z tarczą gwiazdy uzyskaną w wyniku turbulencji atmosferycznych, seeingu.

Aby ograniczyć destruktywny wpływ atmosfery stosuje się trzy możliwe techniki:

- optykę adaptacyjną (adaptacyjną), która polega na wprowadzeniu do układu w jego końcowej części deformowalnego lustro, którego sterowane komputerowo odkształcenia korygują kształt czoła padającej fali, usuwając zaburzenia spowodowane turbulencją atmosferyczną (rys. 6).



Rys. 6. Schemat ideowy układu optyki adaptacyjnej.

- interferometrię – dwa teleskopy obserwują ten sam obiekt lub fragment kopuły niebieskiej, a następnie odebrany sygnał jest zbierany w kolektorze, gdzie wykorzystując zasadę interferencji (nakładanie się fal o tej samej częstotliwości powoduje wzmocnienie lub osłabienie fali wypadkowej) otrzymujemy wzmocniony sygnał.
- obserwacje satelitarne, w których wykorzystuje się metodę destrukcyjnej interferometrii w podczerwieni. Polega ona na składaniu obrazu interferencyjnego w taki sposób, by wygasić światło gwiazdy i obserwować tylko pobliską jej planetę .

II. 7. Badanie dysków typu β Pictoris

Metoda ta polega na prowadzeniu bezpośrednich obserwacji dysków protoplanetarnych w szerokim zakresie widmowym, rozciągającym się od fal radiowych po światło widzialne.

W widmach młodych gwiazd w bliskim otoczeniu Słońca można zaobserwować „nadwyżki podczerwone”. Świadczą one o istnieniu tzw. dysków protoplanetarnych – resztek obłoku gazowo–pyłowego, z którego uformowała się gwiazda i który mógłby dać początek nowym planetom .

Średnice wszystkich dysków są mniej więcej jednakowe i wynoszą kilkadziesiąt jednostek astronomicznych (1j.a. = promień orbity Ziemi) .

Całkowitą masę świecącego w podczerwieni pyłu określa się w każdym z nich na kilka do kilkunastu mas Księżyca. Tak niewielka ilość materii może oznaczać, że dyski przeszły już przez fazę formowania planet. W przypadku β Pictoris mamy na to niezależny dowód uzyskany z obserwacji w świetle widzialnym: wewnętrzne części

dysku są wygięte, tak jakby oddziaływały na nie siły grawitacyjne niewielkiego ciała okrążające gwiazdę centralną.

Dyski sfotografowane w podczerwieni towarzyszą obiektom bardzo młodym, ukrytym w obłokach o dużej ekstynkcji a ich średnice sięgają tysiąca j.a. W odróżnieniu od nich, dyski sfotografowane w zakresie optycznym towarzyszą obiektom nieco starszym i mają średnice nie większe niż 500 j.a.

II. 8. SETI

SETI (Search for ExtraTerrestrial Intelligence @Home) to projekt naukowy, który polega na przeliczaniu próbek sygnału radiowego wychwyconego przez radioteleskop Arecibo. Nagrania sygnału są przesyłane do Instytutu w Berkeley, skąd podzielony na ok. 340 - kilobajtowe próbki (Work Units) jest rozsyłany do już ponad 2 milionów uczestników projektu, którzy po ich zbadaniu i wychwyceniu interesujących danych odsyłają je i pobierają nowe.

III. Plany na przyszłość

SIM (Space Interferometry Mission) to satelita interferometryczny planowany na rok 2009. Będzie on funkcjonował przez ok. 10 lat i w tym czasie będą prowadzone z jego pokładu obserwacje interferometryczne o niespotykanej dotąd dokładności 1 μ s.

Poza przeglądem nieba, w celu poszukiwania gwiazd, satelita będzie się badał wybrane gwiazdy pod kątem poszukiwania układów planetarnych.

Po wstępnej selekcji celów przez SIM do działania przystąpi zespół kosmicznych teleskopów działających jako interferometry – TPF (Terrestrial Planet Finder) .

W drugiej dekadzie XXI w. ma być uruchomiony projekt KEPLER – wykrywacz planet typu Ziemia. Ma to być zespół 4 teleskopów przestrzeni kosmicznej o średnicy 3,5 metra każdy, mający swobodę przemieszczania się celem tworzenia bazy o długości od 50 do 1000 metrów

Przypuszcza się, że dla obiektów leżących w odległości 45 lat świetlnych będzie to analiza bezpośrednia składu chemicznego atmosfer planet lub też szczegółowe poznanie struktury fizycznej i dynamicznej dysków okołogwiazdowych.

W Uniwersytecie Stanowym w Pensylwanii trwa obecnie budowa urządzenia, które będzie wykorzystywane do pomiaru prędkości radialnych za pomocą teleskopu Hobby Eberly w Teksasie. Testy wykazały, iż dokładność uzyskanego pomiaru będzie lepsza niż 1 m/s. Oznacza to, że będziemy mogli obserwować planety wielkości Ziemi.

Zakończenie

Odkrycie w 1992 r. pierwszego pozasłonecznego układu planetarnego było momentem przełomowym w historii astronomii. Od tej chwili błyskawicznie rozwinęły się metody badania kosmosu. W najbliższej przyszłości planet będzie szukać 37 zespołów i 15 satelitów, które znajdują się obecnie na różnych etapach prac projektowych.

Z każdym nowym odkryciem pojawiło się mnóstwo zagadek. Nikt nie wie co przyniosą kolejne. Czy znajdziemy kiedyś odpowiedź na nurtujące nas pytania?

Czy nadejdzie taki dzień, kiedy kosmos ujawni nam wszystkie swoje tajemnice?

Mam nadzieję, że nie i zawsze, coś jeszcze pozostanie do odkrycia.