

Jak odkrywamy planety pozasłoneczne?



Jak odkrywamy planety pozasłoneczne?

Źródło: Enric Cruz López, dostępny w internecie: <https://www.pexels.com/>, domena publiczna.

Czy wokół innych gwiazd krążą planety? Pisarze science fiction [sajens fikszon] zastanawiali się nad tym pytaniem od wielu lat. W ciągu ostatnich trzech dekad astronomowie odkryli kilka tysięcy egzoplanet (czyli planet pozasłonecznych, krążących wokół gwiazd innych niż Słońce) za pomocą różnych technik, które poznasz w tym materiale. Astronomowie bardzo rzadko mogą dostrzec taką planetę przez swoje teleskopy. W ten sposób odkryto ich tylko kilka. Dziś już zdajemy sobie sprawę, że egzoplanet jest mnóstwo. Większość odkrytych do tej pory znajduje się w stosunkowo małym regionie naszej Galaktyki, Drogi Mlecznej. Liczba potwierdzonych planet to tylko niewielka próbka z całej Galaktyki. Z badań Kosmicznego Teleskopu Keplera [keplera] przypuszczamy, że w Galaktyce może być więcej egzoplanet niż gwiazd. Według szacowań NASA w Drodze Mlecznej jest między 100 a 400 miliardów gwiazd, wokół których może krążyć około 300 milionów potencjalnie nadających się do zamieszkania planet. Ponadto istnieją planety swobodne, niezwiązane z żadną gwiazdą – szacuje się, że mogą ich być biliony w naszej Galaktyce.

Twoje cele

- określisz podstawowe elementy, które definiują planetę pozasłoneczną (egzoplanetę);
- opiszesz dwa podstawowe sposoby odkrywania planet pozasłonecznych i określisz jeszcze trzy inne sposoby;
- zinterpretujesz poznane techniki obserwacji planet pozasłonecznych i oszacujesz, dzięki którym technikom można znaleźć najwięcej tych planet i dlaczego;

- przedstawisz najnowsze sposoby odkrywania egzoplanet;
- zdefiniujesz kandydata na egzoplanetę;
- określisz cztery rodzaje egzoplanet;
- przeanalizujesz, jak nadaje się nazwy egzoplanetom.

Naukowcy od dawna podejrzewali, że duża część gwiazd we Wszechświecie może mieć własne układy planetarne, ale pierwszy z nich wykryty został dopiero w roku 1992, przez naszego rodaka Aleksandra Wolszczana oraz kanadyjskiego radioastronoma imieniem Dale Frail [dejl frejl]. Tego pierwszego odkrycia dokonano przy pomocy trzystumetrowego radioteleskopu Arecibo [aresibo]. Pierwsze znalezione planety pozasłoneczne okrążają zimną, „martwą” gwiazdę z silnym polem magnetycznym – pulsara. Planety te w jakiś sposób przetrwały gwałtowne fazy ewolucji swej macierzystej gwiazdy lub utworzyły się już wokół pulsara. Pierwszą egzoplanetę krążącą wokół słońca podobnego do naszego odkryto w 1995 roku, za które to odkrycie naukowcy zostali uhonorowani Nagrodą Nobla.

Czym jest egzoplaneta?

Egzoplaneta, lub planeta pozasłoneczna, to planeta poza Układem Słonecznym. Pierwszy możliwy dowód istnienia egzoplanety został odnotowany w 1917 roku, kiedy Van Maanen [van manen] zidentyfikował pierwszego „zanieczyszczonego” białego karła, czyli takiego, w którego atmosferze zauważono pierwiastki ciężkie, takie jak żelazo, magnez lub wapń, ale ostatecznie nie uznano tego faktu za dowód istnienia planety. Pierwsze potwierdzone wykrycie, jak już wspomnieliśmy, miało miejsce w 1992 roku. Na dzień 10 lutego 2023 roku było 5250 potwierdzonych egzoplanet w 3921 układach planetarnych, z których 2205 ma więcej niż jedną planetę.

Większość znanych planet krąży wokół gwiazd, ale wiemy, że istnieją swobodnie unoszące się planety, zwane planetami swobodnymi (samotnymi), które krążą wokół centrum Galaktyki i są nieprzywiązane do żadnej gwiazdy. Sama Droga Mleczna może mieć od miliarda do bilionów niezwiązanych planet, a projektowany Nancy Grace Roman Space Telescope [nansi grejs roman spejs teleskołp] około roku 2027 prawdopodobnie będzie w stanie to zweryfikować.

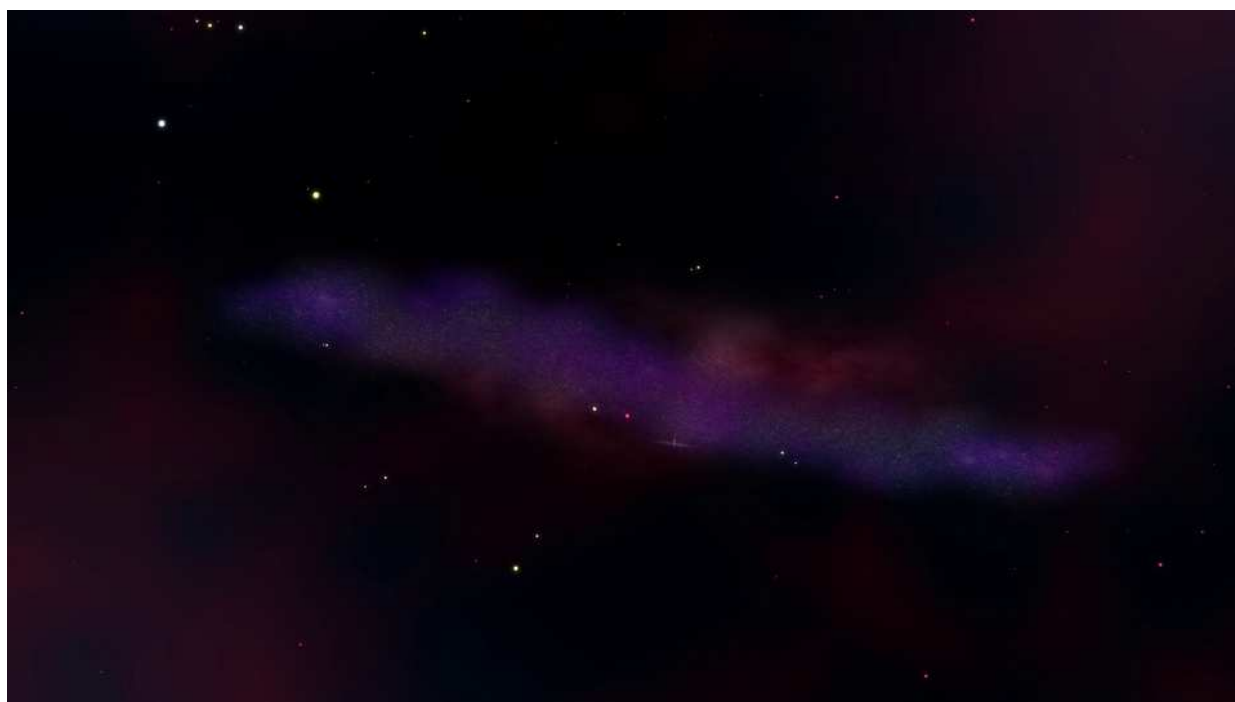
Chociaż pierwsze egzoplanety odkryto na początku lat 90., to jednak pierwszą egzoplanetą, która pojawiła się na scenie światowej, była 51 Pegasi b – „gorący Jowisz” krążący wokół gwiazdy podobnej do Słońca, znajdujący się 50 lat świetlnych od nas i okrążający gwiazdę w odległości dwadzieścia razy mniejszej niż odległość dzieląca Ziemię od Słońca. Za to odkrycie z 1995 roku egzoplanety krążącej wokół gwiazdy podobnej do Słońca, **Michel Mayor [miszel mejor] oraz Didier Queloz [didje keloz] zostali uhonorowani Nagrodą Nobla z fizyki w 2019 roku.** Odkrycie, którego dokonali, wpłynęło na zrozumienie naszego miejsca we Wszechświecie, potwierdzenie, że **inne gwiazdy podobne do Słońca także mają swoje planety.**



Wskazanie pozycji na niebie, w jakiej znajduje się układ planetarny 51 Pegasi

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Sposoby znajdowania egzoplanet



Film dostępny pod adresem </preview/resource/R10eWzSN19Qj1>

Jak odkrywamy planety

Źródło: Gromar Sp. z o. o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Materiał filmowy dotyczący metod szukania egzoplanet.

Dla zainteresowanych

Jeśli chcesz uzupełnić materiał bieżącej lekcji, rozwiń poniższą zakładkę.

Uzupełnienie: Sposoby znajdowania egzoplanet

Polecenie 1

Wyjaśnij, na czym polega metoda **prędkości radialnych**. Notatki możesz zapisać w polu poniżej.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Polecenie 2

Wyjaśnij, na czym polega metoda tranzytów. Notatki możesz zapisać w polu poniżej.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Polecenie 3

Wybierz dwa zdania prawdziwe.

- Metoda tranzytów może również dostarczyć nam informacji o składzie atmosfery planety lub jej temperaturze.
- Zmiany prędkości radialnych nie mogą być zauważone przez obserwacje linii spektralnych w widmie gwiazdy.
- Grawitacja planety nie ma wpływu na to, że gwiazda egzoplanety trochę się „chwije”.
- Najwięcej egzoplanet do tej pory odkryto metodą tranzytów.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Chociaż egzoplanety znajdują się w dużych odległościach od nas – najbliższa Ziemi znana egzoplaneta, Proxima Centauri b, znajduje się w odległości ponad 4 lat świetlnych – naukowcy opracowali sposoby na dostrzeżenie tych pozornie małych obiektów.

Najbardziej efektywnymi są **fotometria tranzytowa i spektroskopia z wykorzystaniem efektu Dopplera (metoda prędkości radialnych)**, dzięki którym odnaleziono ich najwięcej.

Do około 2012 roku **metoda prędkości radialnych** była zdecydowanie najbardziej wydajną techniką stosowaną przez łowców planet i jest zwykle używana tylko w przypadku stosunkowo bliskich gwiazd, do około 160 lat świetlnych od Ziemi. Ta metoda z łatwością znajduje masywne planety, które znajdują się blisko gwiazd. Planety o masie Ziemi są obecnie wykrywalne tylko na bardzo ciasnych orbitach, krążące wokół gwiazd o małej masie. Za pomocą badania efektu Dopplera, astronomowie wykrywają niewielkie wahania prędkości gwiazd, co może świadczyć o obecności planet na orbicie.

W obecności planety wokół gwiazdy, powstaje układ o środku masy, wokół którego krążą oba te ciała. Środek ten często znajduje się wewnątrz gwiazdy, jednak dysponujemy na tyle dokładną aparaturą, żeby być w stanie wykryć zmiany w jej ruchu. Astronomowie, wykorzystując efekt Dopplera, próbują wykryć składową prędkości gwiazdy wzdłuż linii wzroku.

Po 2012 roku sonda Kepler oparta była na użyciu efektywnej metody wykrywania planet pozasłonecznych, znanej już od lat 90. – **metody tranzytów**. Część tego typu odkryć zawdzięczamy między innymi polskiemu astronomowi pracującemu przy projekcie OGLE – The Optical Gravitational Lensing Experiment [de optikal grawitejszonal lenzing eksperiment] (ang. Eksperyment Soczewkowania Grawitacyjnego). Podczas gdy metoda prędkości radialnej (efektu Dopplera) dostarcza informacji o masie planety, metoda fotometryczna (tranzytu) może określić promień planety. Technika ta daje możliwości wyznaczania nie tylko masy, ale i promienia, a zatem także gęstości planety, co pozwala wnioskować o jej budowie. Pozwala również odkrywać globy bardzo odległe od Ziemi. Co więcej, metoda tranzytu umożliwia zbadanie składu chemicznego atmosfery planety. Światło przechodzące przez atmosferę zmienia swoje widmo, a dokładna analiza tych zmian może dostarczyć informacji o występujących tam pierwiastkach.

Teleskopy kosmiczne znalazły tysiące planet, obserwując tranzyty, lekkie przyciemnienie światła gwiazdy, gdy jej mała planeta przechodzi między nią a teleskopami.

Znaczący jest fakt, że metoda ta jest bardzo ograniczona, wymaga bowiem specyficznego ustawienia płaszczyzny orbity odległej planety względem Ziemi; mnogość obiektów wykrytych dzięki niej świadczy o tym, jak pospolite w naszej Galaktyce są planety.

Ta metoda ma dwie główne wady. Po pierwsze, tranzyty planet można zaobserwować tylko wtedy, gdy płaszczyzna orbity planety jest równoległa do kierunku obserwacji astronomów. **Drugą wadą tej metody jest wysoki wskaźnik fałszywych wykryć**. Badanie z 2012 r. wykazało, że odsetek fałszywych trafień dla tranzytów obserwowanych przez misję Kepler może sięgać **nawet 40%**.



1

Obserwacje prędkości radialnych - zmiany prędkości gwiazdy względem Ziemi na skutek jej zakłócenia przez obecność planety. Zmiany prędkości radialnych mogą być zauważone przez obserwacje linii spektralnych w widmie gwiazdy. Na tle światła gwiazdy, linie podlegają charakterystycznym zmianom, **spowodowanym przez efekt Dopplera**. Jego skutkiem jest przesunięcie ku czerwieni oraz przesunięcie ku fioletowi - gdy gwiazda oddala się od obserwatora lub zbliża do niego. Wadą tej metody jest brak możliwości ustalenia masy planety, którą można "obejść" stosując dodatkowo metodę tranzytu.

2

Obserwacja tranzytów. Metoda polega na obserwacji zmian zachodzących w świetle gwiazdy w momencie, gdy towarzysząca jej planeta przesłania tarczę - podobnie jak w przypadku przejścia planety Wenus na tle tarczy Słońca, widocznego z Ziemi. W tej sytuacji obserwuje się zwykle spadek jasności gwiazdy. Aby to było możliwe, planeta musi przechodzić przed gwiazdą w płaszczyźnie widzenia obserwatora - metodą tą nie da się więc wykryć wszystkich planet pozastonecznych.

3

Metoda timingu. [tajmingu]. Ma zastosowanie w przypadku pulsarów i gwiazd podwójnych. W przypadku tych pierwszych planeta na orbicie pulsara może zakłócać częstość emitowanych pulsów radiowych; w drugim przypadku możemy obserwować zaćmienie gwiazd w układzie podwójnym, które z definicji powinny być bardzo regularne. Jeśli nie są - wszelkie odchyłki mogą więc świadczyć o obecności w układzie dodatkowego ciała, na przykład mniejszego, brązowego karta lub właśnie planety.

Soczewkowanie grawitacyjne. Aby zastosowanie soczewki grawitacyjnej było możliwe, gwiazda soczewkująca i obserwowana przez nas gwiazda podejrzana o posiadanie planet muszą znaleźć się niemal w linii prostej wraz z obserwatorem na Ziemi. Soczewka grawitacyjna powoduje wówczas wzrost jasności źródła w tle, ujawniając także możliwe planety - nawet te niewielkie. Wadą tej metody jest to, że takie ustawienia są zwykle jednorazowe i trudne do powtórzenia.

Astrometria - najstarsza z metod poszukiwania planet poza granicami Układu Słonecznego. Polega na mierzeniu pozycji gwiazdy i jej zmian w czasie na skutek oddziaływania z planetą. Niestety, ze względu na małą precyzję służy dziś głównie jako technika pomocnicza przy potwierdzaniu istnienia planet wykrywanych innymi metodami.

Ilustracja interaktywna „5 sposobów na znalezienie planety”

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Misje kosmiczne

Większość ostatnich odkryć planet pozasłonecznych zawdzięczamy orbitalnemu Teleskopowi Keplera, ale badania te – w szczególności badania mające na celu wyselekcjonowanie potencjalnych gwiazdowych kandydatów na układy planetarne – są prowadzone również przy udziale obserwacji naziemnych.

Misja Kepler została specjalnie zaprojektowana do zbadania pobliskiego fragmentu Drogi Mlecznej, w celu odkrycia planet o rozmiarach Ziemi i mniejszych, w pobliżu strefy nadającej się do zamieszkania (**ekosfera**) i określić, jaki ułamek gwiazd może mieć wokół siebie takie planety. Teleskop zakończył swą misję w 2018 roku, ale dane z Keplera wciąż są wykorzystywane do wyszukiwania egzoplanet (do tej pory potwierdzono ich ponad 2700).

Następcą teleskopu Keplera, wyniesionym w 2018 roku na wysoką orbitę okołoziemską, jest teleskop **TESS** (ang. Transiting Exoplanet Survey Satellite [tranziting egzoplanet survey satelajt]). Głównym zadaniem teleskopu jest poszukiwanie egzoplanet wokół najjaśniejszych gwiazd, znajdujących się najbliżej Ziemi, z użyciem metody obserwacji tranzytów.

Kosmiczny Teleskop **Jamesa Webba** [dżejms łeb] i przyszły Kosmiczny Teleskop **Nancy Grace Roman**, oba należące do NASA, pozwolą na przeprowadzenie dokładniejszych niż dotychczas obserwacji egzoplanet. Poprzez spektroskopię, odczytywanie sygnatur świetlnych w celu uzyskania informacji, astronomowie mają nadzieję dowiedzieć się więcej o atmosferach planet i warunkach jakie na nich panują. Kosmiczny Teleskop Nancy Grace Roman będzie miał jeszcze większe możliwości od Teleskopu Jamesa Webba. NASA zapewnia, że będzie on w stanie **sfotografować w świetle widzialnym planety wielkości Jowisza**, które znajdują się poza Układem Słonecznym. Obecnie stosowane techniki obrazowania pozwalają na uchwycenie jedynie dużych oraz jasnych egzoplanet. Kosmiczny

Teleskop Nancy Grace Roman otrzyma koronograf – instrument składający się z masek, pryzmatów, detektorów i samonastawnych luster, które będą w stanie blokować światło gwiazd. Naukowcy wierzą, że taki system może nawet pozwolić na badanie składu mineralnego odkrytych planet.

Rodzaje egzoplanet

Każdy typ planety różni się wyglądem wewnętrznym i zewnętrznym w zależności od składu.

Gazowe olbrzymy to planety wielkości Saturna lub Jowisza, największej planety w naszym Układzie Słonecznym, a nawet nieco większe. W tej kategorii planety różnią się od słonecznych wieloma cechami. Na przykład gorące Jowisze były jednymi z pierwszych odkrytych typów planet – gazowych olbrzymów krążących tak blisko swoich gwiazd, że ich temperatury powierzchniowe sięgają tysięcy stopni Celsjusza.

Ciekawostka

KELT-9b to najgorętszy znaleziony dotychczas gazowy olbrzym, gorętszy niż większość gwiazd. Jego temperatura po stronie nasłonecznionej wynosi około 4600 K.

Planety neptunowe są podobnej wielkości do Neptuna czy Urana w naszym Układzie Słonecznym. Wszystkie mają atmosfery zewnętrzne zdominowane przez wodór i hel oraz skaliste jądra. Odkrywamy także mini-Neptuny, planety mniejsze od Neptuna i większe od Ziemi – w naszym Układzie Słonecznym nie ma planet tego typu ani rozmiaru.

Super-Ziemia to planety podobne budową do Ziemi, które mogą mieć atmosfery lub nie. Są masywniejsze niż Ziemia, ale lżejsze niż Neptun.

Planety ziemskie są wielkości Ziemi i mniejsze, składają się ze skał, krzemianów, wody lub węgla. Dalsze badania ustalą, które z nich posiadają atmosfery, oceany lub inne właściwości pozwalające na podtrzymanie życia takiego, jakie znamy.

Mierząc ich rozmiary i masy, możemy odkryć egzoplanety od bardzo skalistych (jak Ziemia i Wenus) do bardzo bogatych w gaz (jak Jowisz i Saturn). Niektóre mogą być zdominowane przez wodę lub lód, podczas gdy na innych znajdziemy głównie żelazo lub węgiel. Zidentyfikowaliśmy światy lawy pokryte stopionymi morzami, spuchnięte planety o gęstości styropianu i gęste jądra planet wciąż krążących wokół swoich gwiazd.

Jak nazywamy egzoplanety?

Pierwszą częścią nazwy egzoplanety jest zwykle teleskop lub przegląd, który ją odkrył. Liczba to numer (lub nazwa) gwiazdy z katalogu, w którym notowane są odkrycia egzoplanet. Mała litera oznacza którą, w kolejności od gwiazdy, jest planeta. Najbliżej krążąca planeta jest zawsze nazywana b, a kolejne planety to c, d, e, f i tak dalej. Gwiazda jest zwykle oznaczana

literą „A”, co może być przydatne, jeśli układ zawiera wiele gwiazd, które mogą być oznaczone jako „B” lub „C”. Gwiazdy są oznaczane dużymi literami, planety – małymi.

Przykładem nazwy egzoplanety jest Kepler-16b, gdzie „Kepler” to nazwa teleskopu, który obserwował układ, 16 to numer kolejnej skatalogowanej gwiazdy, a „b” oznacza, że znajduje się najbliżej gwiazdy w swoim układzie planetarnym. Gdyby Ziemia była egzoplanetą, nazwalibyśmy ją Sun d (Słońce to nazwa naszej gwiazdy, Ziemia to trzecia planeta zaczynając od b, Merkurego).

Ciekawostka

Nie zawsze nazwy nadawane są w powyższy sposób. Przykładem są gwiazda Solaris (pierwotnie BD+14 4559) i krążąca wokół niej planeta Pirx (BD+14 4559 b) - ich nazwy (wywodzące się z powieści science-fiction polskiego pisarza Stanisława Lema) zostały wyłonione w konkursie zorganizowanym z okazji stulecia istnienia Międzynarodowej Unii Astronomicznej w 2019 roku. Wyboru tego dokonali internauci z Polski. W podobny sposób nazwy dla par gwiazda-planeta nadane zostały przez głosujących ze stu państw.

Sprawdź się

Ćwiczenie 1

Zaznacz dwie prawidłowe odpowiedzi.

Którymi z wymienionych metod znaleziono najwięcej planet pozasłonecznych?

obserwacjami tranzytów

astrometrią

metodami timingu

soczewkowaniem grawitacyjnym

obserwacjami prędkości radialnych

Ćwiczenie 2

Zaznacz prawidłową odpowiedź.

Odkrycie egzoplanet gwałtownie wzrosło w kolejnych latach wraz z wystrzeleniem Kosmicznego Teleskopu

Keplera.

Newtona.

Da Vinci.

Hubble'a.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 3

Przeciągnij i upuść lub kliknij w lukę i wybierz odpowiedź z listy rozwijalnej, aby uzupełnić zdania.

Pierwsza na światowych listach egzoplaneta 51 Pegasi b, krążąca wokół "słońca" nazywana jest .

Super-Ziemią

"gorącym Jowiszem"

Neptunem

planetą ziemską

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 4

Zaznacz prawidłową odpowiedź.
Największymi egzoplanetami są

planety neptunowe.

Super-Ziemie.

planety ziemskie.

gazowe olbrzymy.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 5

Zaznacz prawidłową odpowiedź.
Pierwsze egzoplanety odkryto

w latach 70. XX wieku.

na początku lat 90. XX wieku.

na początku lat 60. XX wieku.

na początku XXI wieku.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 6

Korzystając z dostępnych źródeł, wymień nazwy kilku gazowych olbrzymów, planet Neptunowych, superziem i planet ziemskich. Wypisz je w polu poniżej.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 7

Który polski naukowiec odkrył pierwsze planety pozasłoneczne? Odpowiedź zapisz w polu poniżej.

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Ćwiczenie 8

Połącz metodę z wykorzystywanym w niej zjawiskiem.

metoda tranzytów	zakłócenia w regularności fal radiowych emitowanych przez pulsar
astrometria	poruszanie się gwiazdy wokół wspólnego środka masy
metoda timingu	efekt Dopplera
metoda prędkości radialnych	zmiana obserwowanej jasności gwiazdy

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.

Słownik

efekt Dopplera

zjawisko polegające na różnicy w obserwowanej w układach poruszających się względem siebie częstotliwości fali, tj. gdy poruszający się względem odbiornika nadajnik wysyła falę o pewnej częstotliwości, odbiornik rejestruje inną częstotliwość tej fali.

ekosfera

po polsku, zwana również strefą Żłotowłosej – obszar wokół gwiazdy, w którym mogą znajdować się planety skaliste z ciekłą wodą na powierzchni.

metoda timingu

metoda polegająca na pomiarach nieregularności w częstotliwości wysyłania fal radiowych przez obserwowany pulsar lub zaćmień w układzie podwójnym gwiazd.

prędkość radialna

prędkość obserwowana wzdłuż kierunku obserwator–obiekt.

soczewkowanie grawitacyjne

polega na zakrzywianiu drogi światła przez silną grawitację (a więc grawitację wytwarzaną przez masywne ciało), w wyniku czego jesteśmy w stanie zobaczyć obiekty znajdujące się za jej źródłem.

Bibliografia

Sagnowska B., Szot-Gawlik D., Godlewska M., Rozenbajgier M., Rozenbajgier R., 2017, *Świat fizyki*, Warszawa, WSiP

Notatki

Miejsce na Twoje notatki

Źródło: GroMar Sp. z o.o., licencja: CC BY-SA 3.0.