Opis zagadnień wykorzystanych podczas lekcji

Autor/ Autorzy: **Paweł Wajer**

Super-Ziemie i poszukiwanie życia poza Układem Słonecznym

Tematyka: **Poszukiwanie życia poza Układem Słonecznym**

Wiek uczniów: **15-19 lat**

Czas: **2 x 45 minut**

BIOSYGNATURY

Biosygnatury to takie substancje chemiczne lub zjawiska fizyczne, których występowanie (np. w atmosferze planety) może – ale nie musi – świadczyć o istnieniu życia na danej planecie. Biosygnaturami mogą być skamieniałości geologiczne, specyficzne zestawienie izotopów różnych pierwiastków jak C, H, N, które w danym środowisku nie mogłyby powstać bez udziału organizmów żywych. Biosygnaturami są pewne substancje chemiczne, które zazwyczaj mogą powstawać na drodze biologicznych procesów. Innym przykładem biosygnatury może być tzw. krzywa Keelinga, pokazująca roczne[1] zmiany dwutlenku węgla w atmosferze egzoplanety związane ze zmianą aktywności roślinności.

Przykłady biosygnatur chemicznych, które mogą występować w atmosferze:

O_2 - bardzo szybko ulega degradacji w atmosferze i jeżeli atmosfera zawiera dużo tlenu, może to oznaczać (ale nie musi, jego źródła mogą być abiologiczne), że na danej planecie zachodzi fotosynteza. Tlen może również powstawać w sposób abiologiczny poprzez fotodysocjację pary wodnej występującej w atmosferze pod wpływem promieniowania UV.

O_3 - powstaje z O_2 pod wpływem UV. Łatwiej go wykryć metodami spektroskopowymi w atmosferze niż O_2.

CH_4 - na Ziemi głównym źródłem metanu są organizmy żywe (lub rozkład substancji organicznych). Sezonowe zmiany metanu w atmosferze mogą świadczyć o istnieniu życia.

H_2O - najlepiej płynna, jako niezbędny składnik organizmów żywych.

N_2O - jest uwalniany podczas rozkładu materii roślinnej.

EGZOPLANETY I EKOSFERA

Egzoplanety (planety pozasłoneczne) są to planety okrążające gwiazdę (lub gwiazdy) inną (inne) niż Słońce. Niektóre egzoplanety mogą być potencjalnymi miejscami, na których rozwinęło się życie. Możliwości pojawienia się życia na egzoplanecie zależą od bardzo wielu czynników. Niektóre z tych czynników to:

- *Odległość egzoplanety od gwiazdy macierzystej (czy znajduje się w ekosferze?).* Ekosfera to miejsce w przestrzeni wokół gwiazdy, gdzie może występować ciekła woda oraz warunki sprzyjające powstaniu życia takiego, jakie znamy. Dokładniej - temperatura powinna tam wynosić np. -70 - +80°C. W naszym Układzie Słonecznym ekosfera znajduje się mniej więcej w odległości 1 j.a. od Słońca. Można przyjąć, że to obszar przestrzeni znajdujący się między orbitami Wenus a Marsa[2].
- *Budowa egzoplanety*. Jedyne życie, jakie znamy, występuje na Ziemi, która jest planetą skalistą zawierającą dużo płynnej wody na powierzchni. Możemy założyć, że egzoplaneta sprzyjająca życiu, to taka, której budowa i rozmiary są podobne do Ziemi. Przykładowo jej promień, r, spełnia warunki: $0.5r_Z < r \leq 1.5r_Z$, gdzie r_Z to promień Ziemi, i/lub jej masa m: $0.1m_Z < m \leq 5\ m_Z$, gdzie m_Z, to masa Ziemi.
- *Atmosfera egzoplanety*. Gazy takie jak metan, para wodna czy dwutlenek węgla, o ile występują w atmosferze egzoplanety, wpływają, poprzez efekt cieplarniany na temperatury występujące na egzoplanecie.
- *Magnetosfera egzoplanety*. Magnetosfera chroni egzoplanetę przez wpływem szkodliwego promieniowania emitowanego przez macierzystą gwiazdę lub gwiazdy.

[1] Rok oznacza okres obiegu danego ciała, np. egzoplanety, wokół macierzystej gwiazdy.
[2] Jest jedna z definicji, niektórzy definiują ekosferę jako obszar w przestrzeni znajdujący się w odległości 0.5 j.a - 3.0 j.a. od Słońca.

- *Budowa gwiazdy, gdy wokół krąży egzoplaneta*. Pierwsze 2 egzoplanety, które zostały odkryte, krążą wokół pulsara. Planety krążące wokół pulsarów, ze względu na ich własności, nie posiadają warunków sprzyjających powstaniu życia.

Zdefiniujmy granice ekosfery wokół gwiazdy jako miejsca, w których strumień energii jest równy strumieniowi energii emitowanej przez Słońce w odległości 0,72 j.a. (średnia odległość Wenus od Słońca) oraz 1.52 j.a. (średnia odległość Marsa od Słońca) odpowiednio. Przyjmując, że zarówno Słońce jak i gwiazda, dla której chcemy wyznaczyć granice ekosfery, emitują energię jak ciała doskonale czarne uzyskujemy:

$$r_{min} = r_0 \frac{R_*}{R_\odot} \left(\frac{T_{eff}^*}{T_{eff}^\odot} \right)^2$$

$$r_{max} = r_1 \frac{R_*}{R_\odot} \left(\frac{T_{eff}^*}{T_{eff}^\odot} \right)^2$$

gdzie $r_0 = 0.72$ j.a., $r_1 = 1.52$ j.a., $T_{eff}^\odot = 5772$ K – temperatura efektywna Słońca, $R_\odot$ - promień Słońca., T_{eff}^* - temperatura efektywna gwiazdy, R_* - promień gwiazdy.

Lista egzoplanet w potencjalnych ekosferach znajduje się pod następującym linkiem: *http://phl.upr.edu/projects/habitable-exoplanets-catalog*

METODY WYKRYWANIA EGZOPLANET

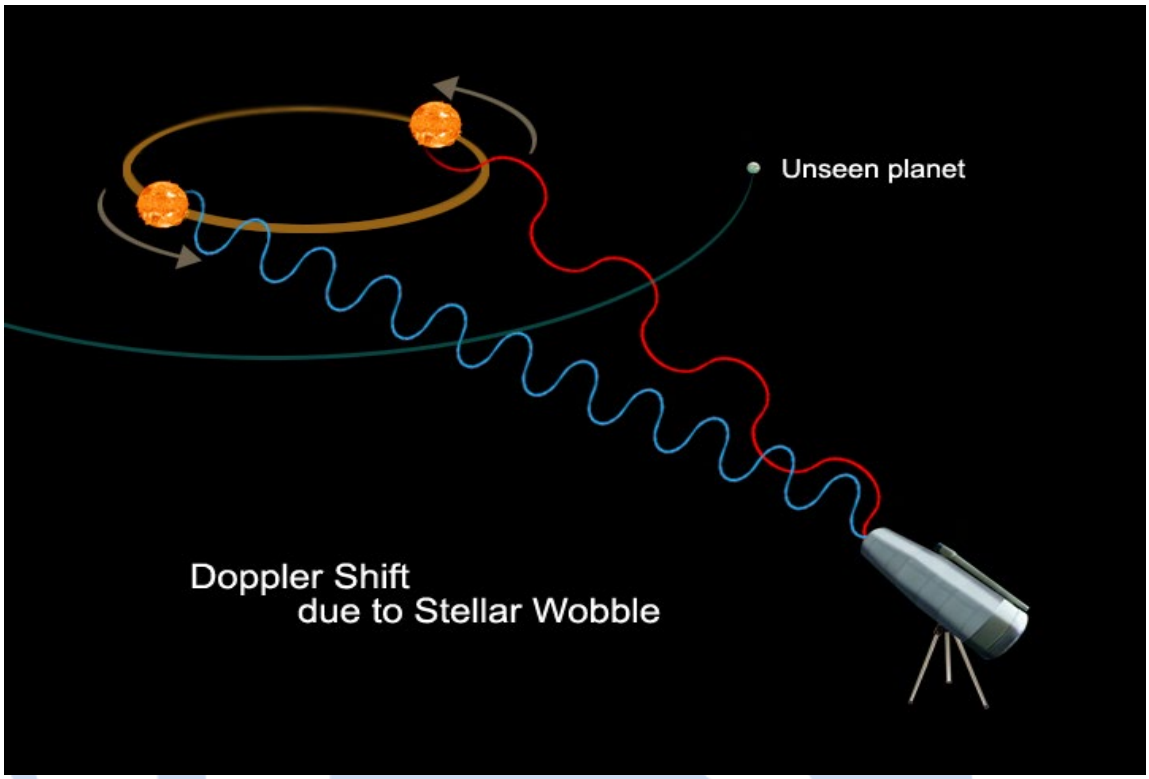
Z uwagi na duże odległości do gwiazd, wokół których mogą krążyć egzoplanety, jak również na fakt, iż egzoplaneta odbija znikomą ilość światła w porównaniu z macierzystą gwiazdą, bezpośrednie metody obserwacji egzoplanet są bardzo trudne. Opracowano zatem metody wykrywania egzoplanet nie poprzez bezpośrednie obserwacje ich tarcz, ale poprzez detekcję różnych efektów, które pojawiają się w układzie planetarnym, w którym znajdują się egzoplanety. Efektów tych poszukuje się, obserwując ich gwiazdę macierzystą. Większość metod służących do detekcji tych efektów są ideologicznie proste, ale wymagają bardzo dokładnych pomiarów z uwagi na to, że egzoplanety zazwyczaj wywierają niewielki wpływ na gwiazdę, którą okrążają. Główne metody to:

- metoda wykorzystująca efekt Dopplera (ang. radial velocity method)
- metoda tranzytu (ang. transit method)
- metoda astrometryczna (ang. astrometry method)
- metoda wykorzystująca mikrosoczewkowanie grawitacyjne (ang. gravity microlensing method)
- metoda wykorzystująca bezpośrednie obserwacje (ang. direct detection and imaging method)

Metoda wykorzystująca efekt Dopplera (ang. radial velocity method)

Efekt Dopplera to zjawisko polegające na zmianie długości fali (np. dźwiękowej w powietrzu lub elektromagnetycznej) wysyłanej przez poruszające się źródło fal oraz obserwowanej przez obserwatora. Gdy egzoplaneta okrąża macierzystą gwiazdę, tak naprawdę obiekty te poruszają się wokół własnego środka masy. Ruch gwiazdy powoduje, iż obserwując ją z Ziemi, powinniśmy zauważyć

okresowe zmiany linii spektralnych w widmie gwiazdy, które spowodowane są efektem Dopplera[3]. Około 30% wszystkich egzoplanet odkryto tą metodą.



Gdy gwiazda oddala się od obserwatora, długość fali obserwowanej przez obserwatora ulega zmniejszeniu (linia czerwona), gdy gwiazda się zbliża, obserwator zaobserwuje zwiększenie długości fali wysyłanej przez gwiazdę (linia niebieska). Źródło grafiki: NASA

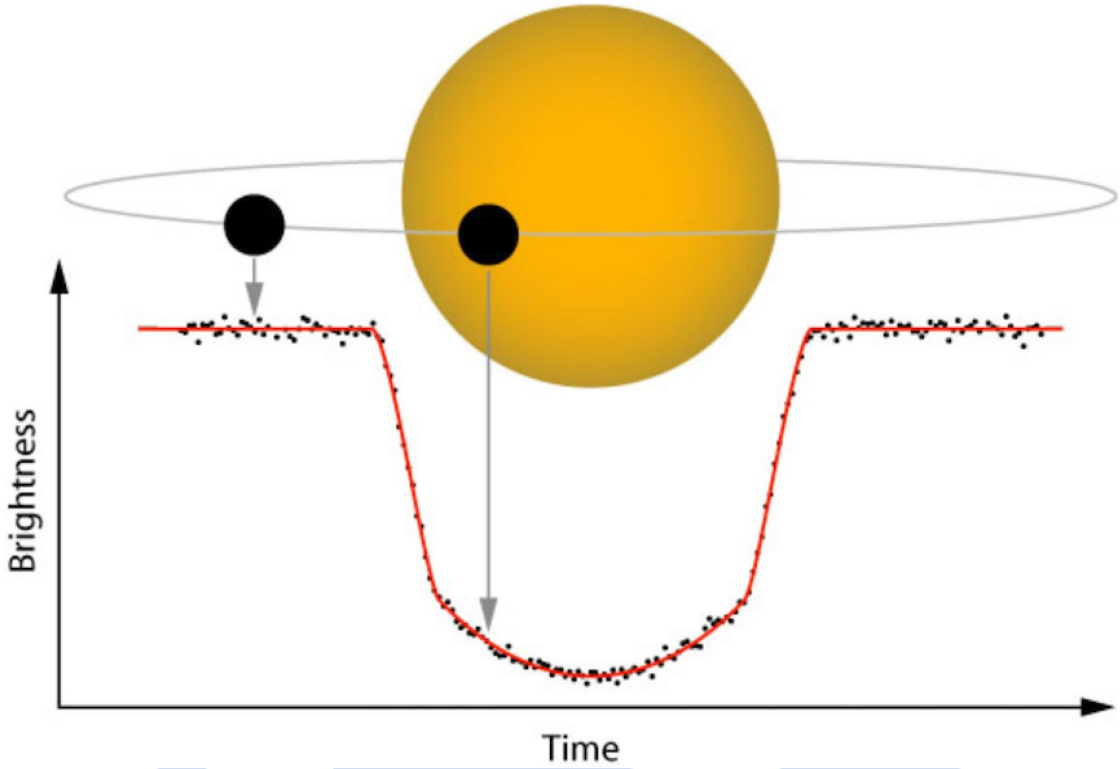
Metoda tranzytu (ang. transit method)

Gdy planeta przechodzi przed tarczą swojej gwiazdy macierzystej, powoduje to chwilowe i nieznaczne osłabienie jasności tej gwiazdy. Analizując to osłabienie, można przypuszczać, że spowodowane jest ono egzoplanetą okrążającą daną gwiazdę.

Metoda ta ma jednak kilka wad. Po pierwsze, istnieje wiele powodów, które powodują chwilowe zmniejszenie jasności gwiazdy. Zatem wykrycie w ten sposób egzoplanety może wymagać dodatkowego potwierdzenia inną metodą.

Metoda tranzytu ma jednak kilka zalet w porównaniu z innymi metodami. Pozwala ona na określenie średnicy egzoplanety na podstawie krzywej zmian jasności oraz umożliwia badanie składu chemicznego atmosfery planety, ponieważ gdy światło gwiazdy przechodzi przez atmosferę egzoplanety - zmienia się jego widmo i na podstawie tych zmian można wnioskować o składnikach atmosfery egzoplanety. Większość znanych planet pozasłonecznych zostało odkryte tą metodą.

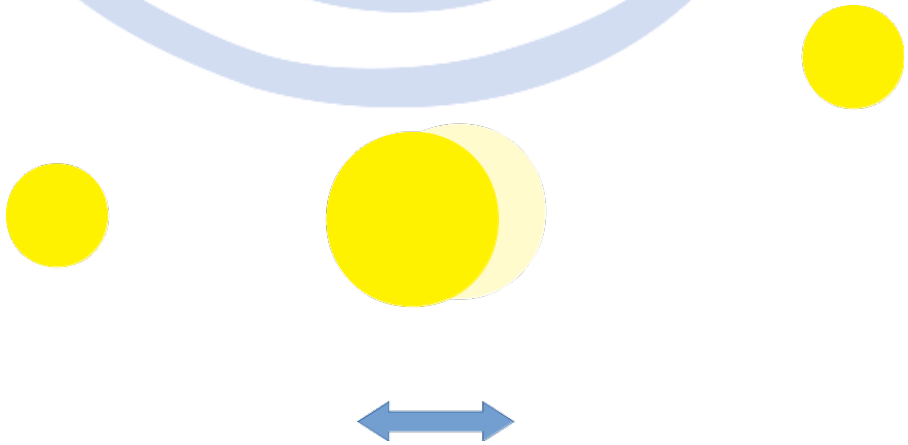
[3] Zmianę długości fali możemy zauważyć, gdy płaszczyzna po której porusza się egzoplaneta nie jest prostopadła do linii łączącej Ziemię z jej macierzystą gwiazdą.



Tranzyt planety na tle tarczy gwiazdy oraz obserwowana zmiana jasności gwiazdy spowodowana tranzytem. Źródło grafiki: NASA

Metoda astrometryczna (ang. astrometry method)

Metoda ta polega na bardzo dokładnych pomiarach położenia gwiazdy celem sprawdzenia czy ulega ono zmianie. Jeżeli gwiazda posiada planetę to pozycja gwiazdy ulega zmianie i zatacza ona niewielką elipsę wokół wspólnego środka masy. Zmiany te są jednak bardzo małe, jak dotąd żadne naziemne teleskopy nie były w stanie ich wykryć. Skuteczność metody potwierdzono, wykorzystując Kosmiczny Teleskop Hubble'a w 2002 roku, dzięki któremu wykryto ruch gwiazdy Gliese 876, spowodowany istnieniem planet okrążających tę gwiazdę.

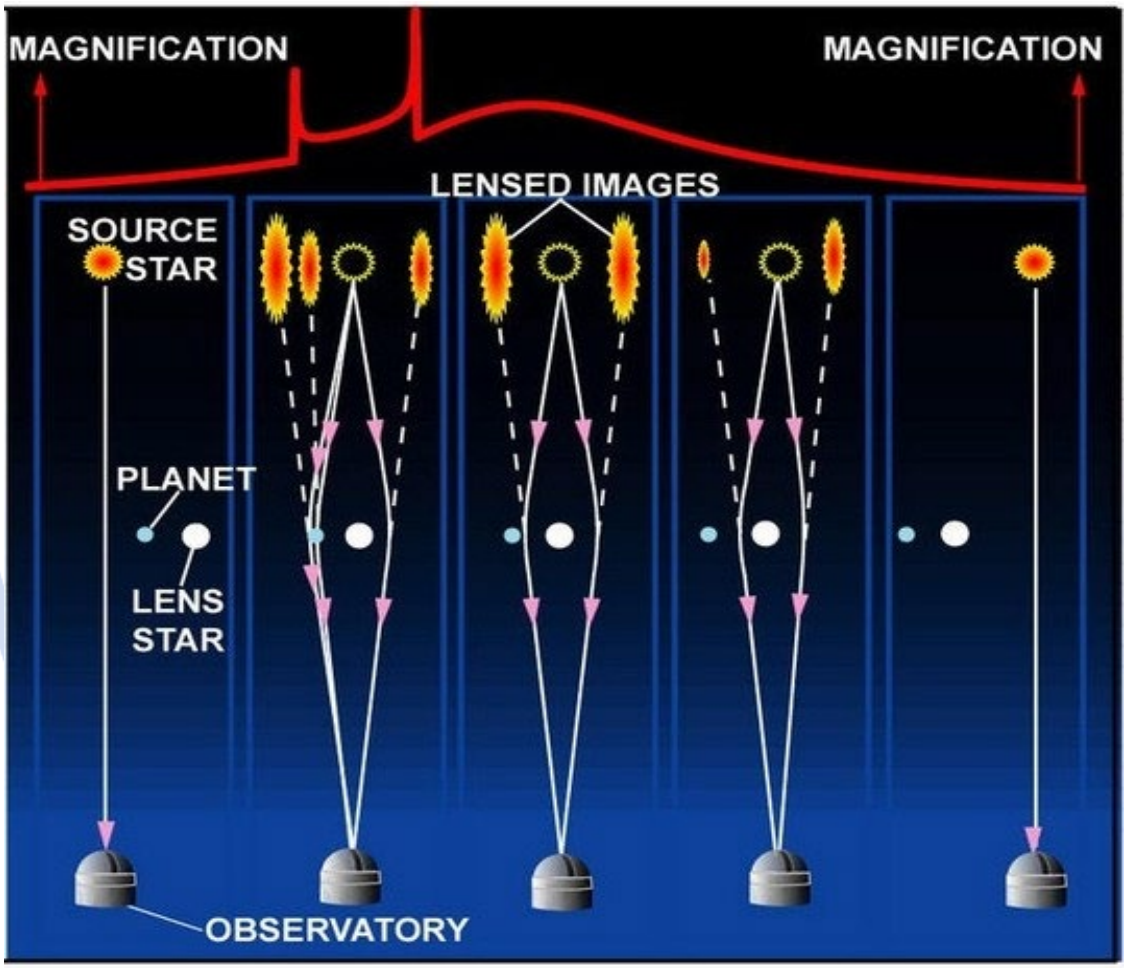


Ruch gwiazdy na tle innych gwiazd może oznaczać, że gwiazda ta posiada planetę (planety) krążące wokół niej. Źródło grafiki: własna.

Metoda wykorzystująca mikrosoczewkowanie grawitacyjne (ang. gravity microlensing method)

Metoda ta wykorzystuje zjawisko ugięcia promieni świetlnych przez gwiazdę (zwaną soczewkującą, “Lens Star”) w przypadku gdy gwiazda będąca źródłem światła (“Source Star”) i gwiazda soczewkująca znajdują się prawie w tej samej linii prostej. Sytuacja taka powoduje wzrost jasności źródła. Jeżeli gwiazda soczewkująca posiada planetę, powoduje to powstanie kolejnego niewielkiego wzrostu jasności gwiazdy. Metoda ta pozwala na wykrywanie egzoplanet wielkości Ziemi.

Do tej pory za pomocą tej metody odkryto kilka egzoplanet.



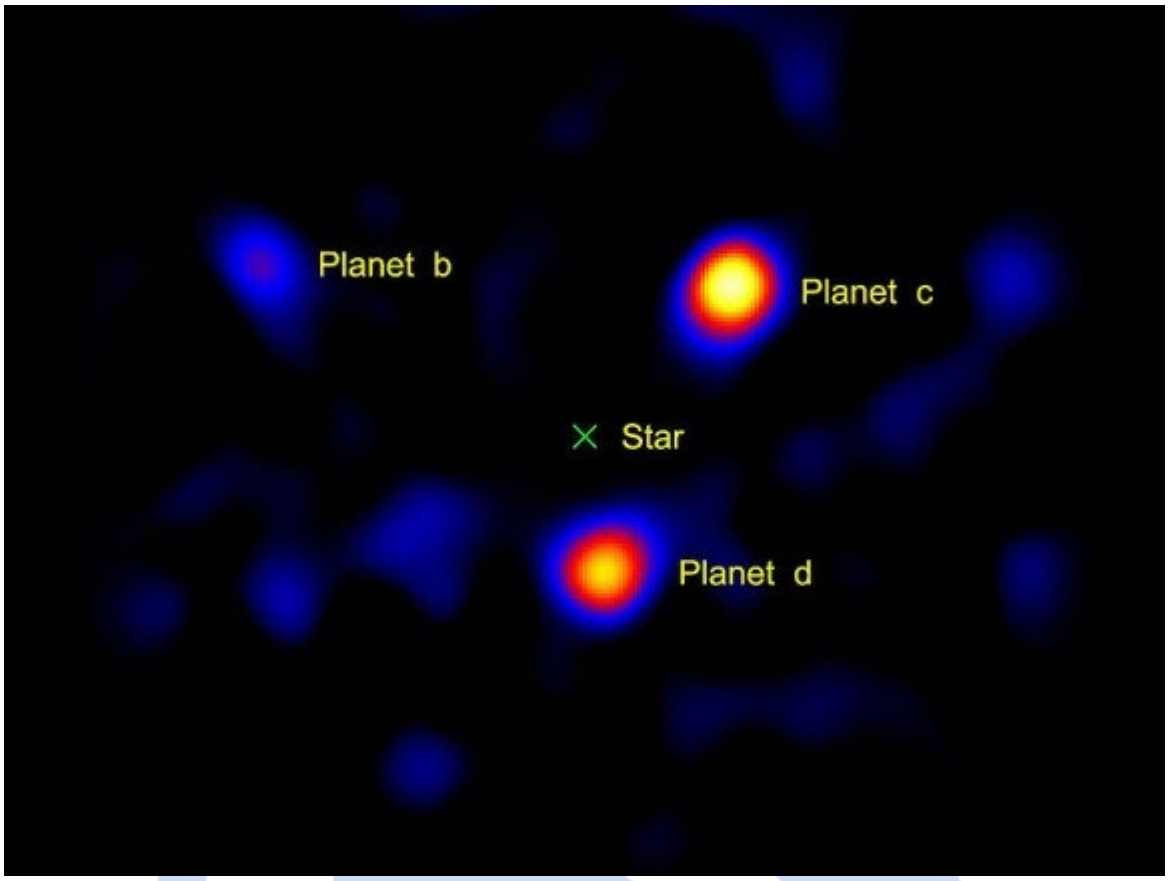
Ilustracja wyjaśniająca zasadę działania metody mikrosoczewkowania grawitacyjnego.

Źródło grafiki: http://www.planetary.org/explore/space-topics/exoplanets/microlensing.html

Metoda wykorzystująca bezpośrednie obserwacje (ang. direct detection and imaging method)

Polega ona na bezpośrednim fotografowaniu egzoplanet. Jest to możliwe w przypadku gdy planeta porusza się wokół gwiazdy w znacznej odległości. Powinna być również masywnym i gorącym obiektem, a sama gwiazda powinna znajdować się stosunkowo niedaleko naszego Układu Słonecznego.

Kilka planet pozasłonecznych zostało odkrytych za pomocą tej metody.



Gwiazda HR 8799 wraz z planetami. Źródło grafiki: NASA/JPL-Caltech/Obserwatorium Palomar.

Materiał edukacyjny opracowany
w ramach projektu FUTURE SPACE
(nr umowy: 2019-1-PL01-KA201-065434),
współfinansowany przez Unię Europejską
w programie ERASMUS+

LICENCJA: CC BY-SA 4.0 **https://futurespaceproject.eu/**