

Planety w układach podwójnych i wielokrotnych.



Krzysztof Hełminiak



Plan wystąpienia

- Troszkę niedalekiej historii.
- Dlaczego wokół podwójnych?
- Pobieżna statystyka.
- Typy planet w układach podwójnych.
- Stabilność orbit.
- Dyski protoplanetarne.
- Powstawanie i ewolucja.
- Gwiazdy vs. planety.

Historia

- 1989(!) – **HD 114762 b**: $M_2 \sin i = 11 M_J$. Prawdopodobnie mała inklinacja. Separacja gwiazd $\sim 130 \text{AU}$.
- 1996 – **16Cyg Bb**: $M_2 \sin i = 1.69 M_J$. Pierwsza odkryta po 51Peg b. Separacja gwiazd $\sim 700 \text{AU}$.
- 1996 – **56Cnc b**: $M_2 \sin i = 0.784 M_J$. Pierwsza z wielu (5?) planet. Separacja gwiazd $\sim 1150 \text{AU}$.
- 1996 - τ **Boo b**: $M_2 \sin i = 3.9 M_J$. Znana orbita składnika wtórnego. Separacja gwiazd $\sim 240 \text{AU}$.
- 1996 - υ **And b**: $M_2 \sin i = 0.69 M_J$. Kolejny układ wieloplanetarny. Separacja gwiazd $\sim 750 \text{AU}$.
- 2003 - γ **Cep b**: $M_2 \sin i = 1.59 M_J$. Układ spektroskopowo podwójny. $T \sim 70 \text{yr}$
- (1993)2003 - **PSR B1620-26 b**: $M_2 = 2.5 M_J$. Planeta w układzie pulsar-biały karzeł. $T = 191.4428 \text{d}$

Dlaczego w podwójnych?

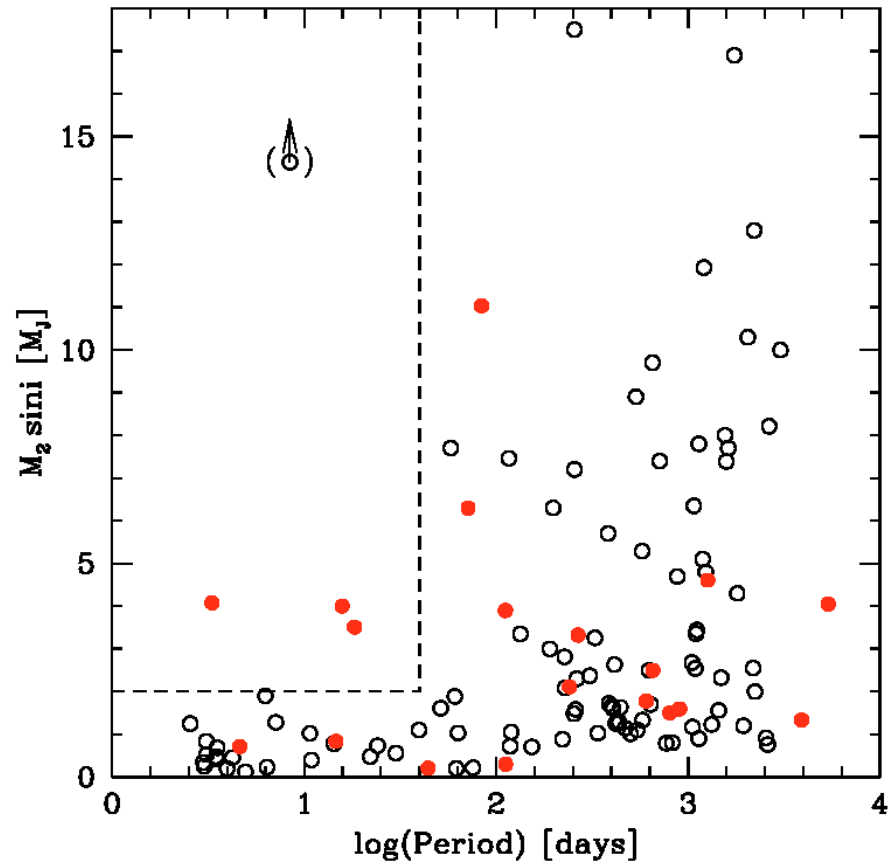
- Około 60% gwiazd znajduje się w układach podwójnych lub wielokrotnych.
- Ich powstawanie i ewolucja jest mechanizmem bardziej ogólnym niż w przypadku gwiazd pojedynczych.
- Na 185 znanych planet pozasłonecznych tylko ok. 20 znajduje się w układach podwójnych/wielokrotnych



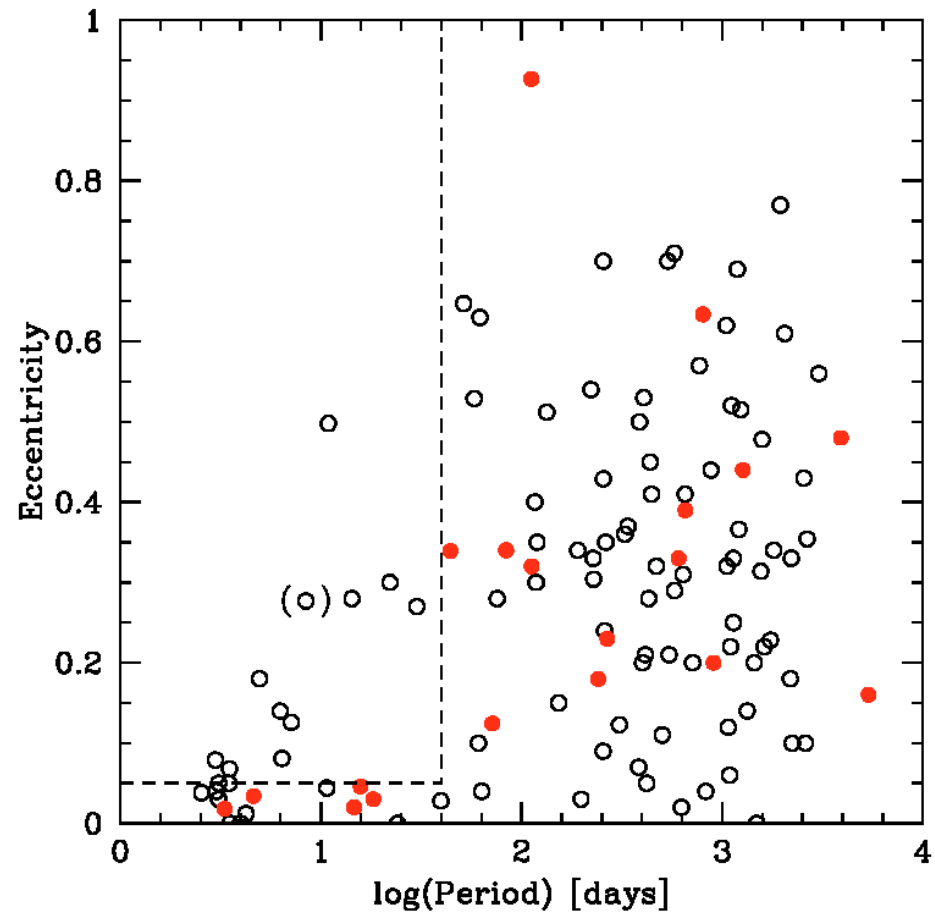
Dlaczego tak mało?

- Przeważnie w układach rozległych. Drugi składnik układu odkrywany znacznie później.
- Metoda RV słabo sobie radzi w przypadku układów spektroskopowo podwójnych. Ale...
- Nie było przeglądów RV nastawionych na układy podwójne.
- Inne jak do tej pory metody są niedostatecznie czułe lub mniej efektywne.

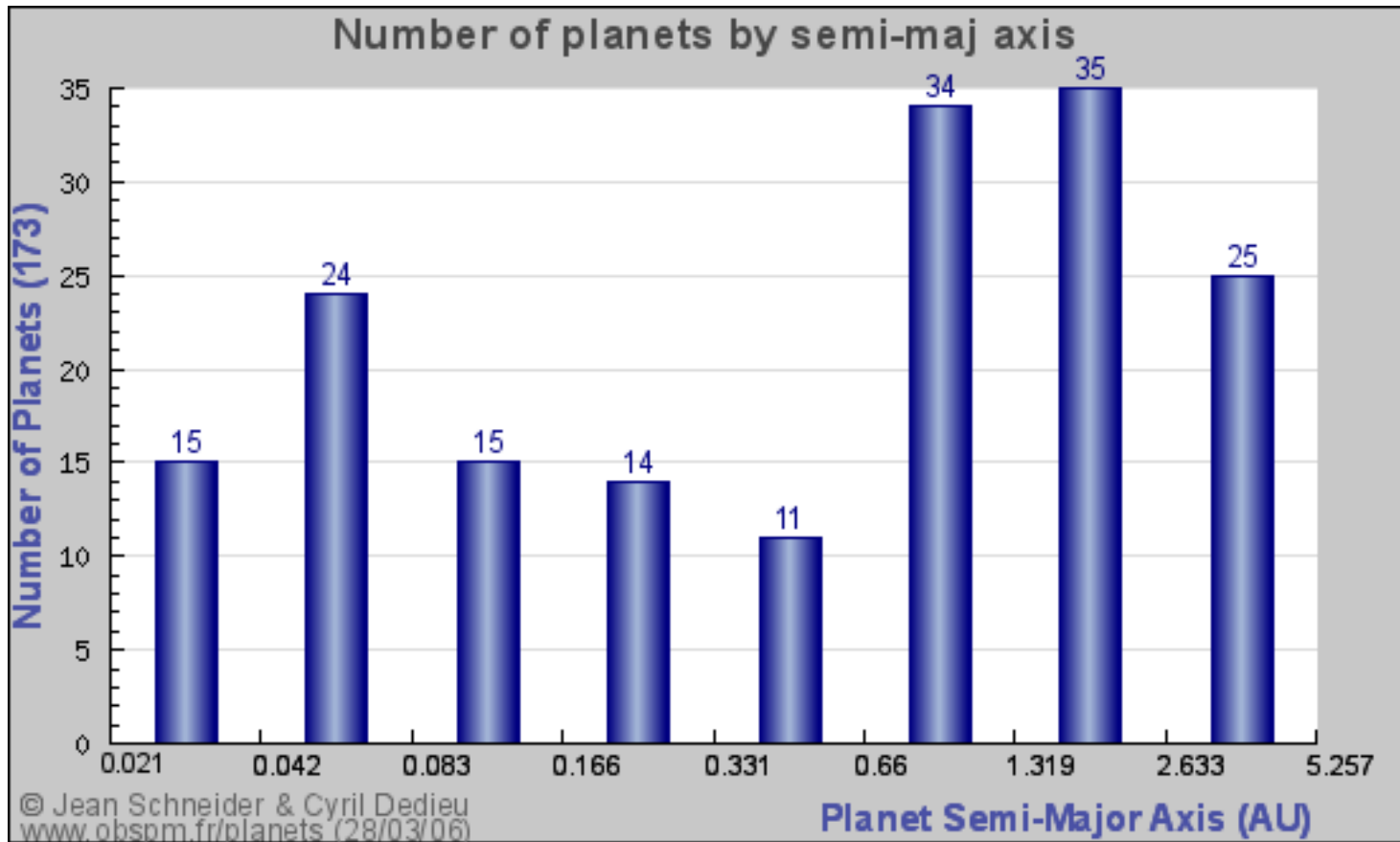
Trochę statystyki...



W układach podwójnych „gorące Jowisze” mogą osiągać większe masy, ale i tak mniejsze niż 5 M_J .



...i mają mniejsze mimośrodny.



Spadek w okolicach 3 AU to efekt obserwacyjny.
Minimum w okolicach 0.3 AU wydaje się być rzeczywiste.



Typy planet w układach podwójnych

- **Typ S** (satelitarne) – planeta krąży wokół jednej z gwiazd rozległego układu.
- **Typ P** (planetarne) – planeta krąży wokół całego, stosunkowo ciasnego układu.
- **Typ L** (libracyjne) – planeta w punkcie Lagrange'a L_4 lub L_5 .

Stabilność orbit planet

$m = M_2 / (M_1 + M_2)$ – parametr masy

• a_b, e_b – wielka półoś i ekscentryczność orbity

Typ S:

$$r_c = 0.37 a_b,$$

$$r_c = 0.14 a_b,$$

Typ P:

$$r_c = 2.3 a_b,$$

$$r_c = 3.9 a_b,$$

dla $e_b \sim 0$

dla $e_b = 0.5$

$$m = 0.3$$

$$e_p = 0$$

$$i_p = 0$$

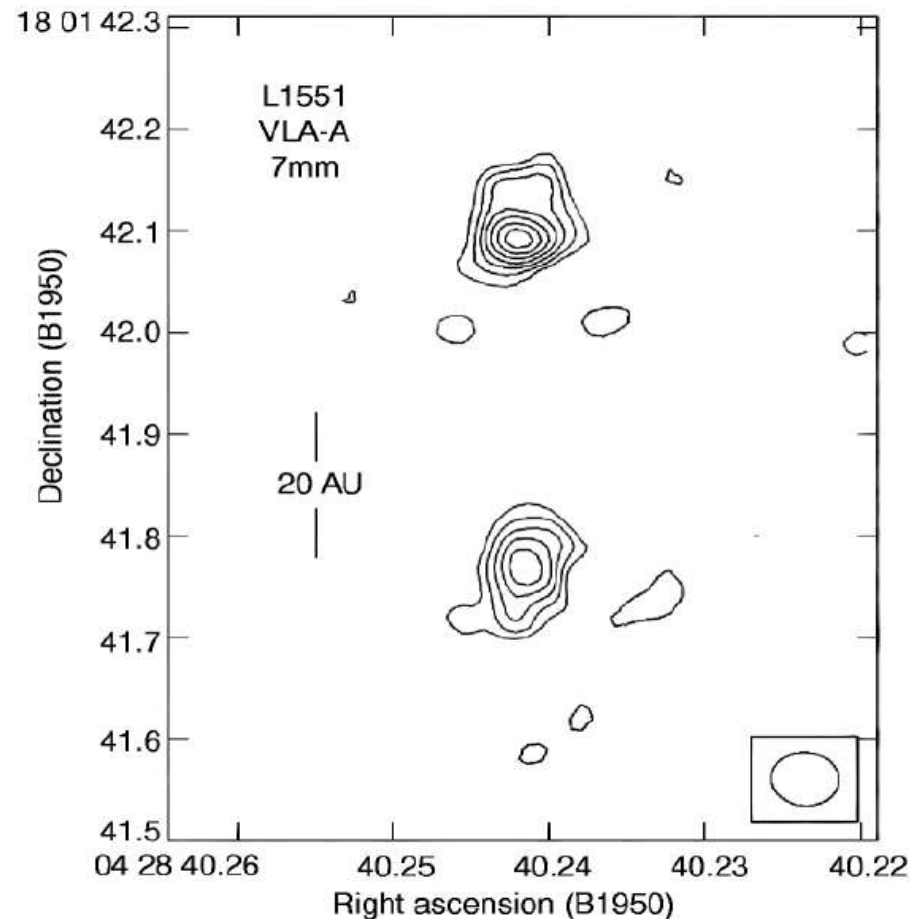
Czynniki redukujące obszar stabilności:

- zwiększenie e_b
- zwiększenie ekscentryczności orbity planety
- zwiększenie inklinacji orbity planety, o ile towarzysz gwiazdowy jest odpowiednio masywny

Dyski protoplanetarne

Obserwowane są zarówno wokół poszczególnych gwiazd układu (okołogłówne, okołowtórne) jak i wokół całego układu (okołopodwójne).

**OBECNOŚĆ
TOWARZYSZA
PRZEDE
WSZYSTKIM
DETERMINUJE
ROZMIARY DYSKU.**



L1551 IRS 5

Rozmiary dysków

Dyski okołogłówne (promień zewnętrzny):

$$r_t = 0.40 a_b, \text{ dla } e_b \sim 0$$

$$r_t = 0.27 a_b, \text{ dla } e_b = 0.5$$

Dyski okołopodwójne (promień wewnętrzny):

$$r_t = 2.0 a_b, \text{ dla } e_b \sim 0$$

$$r_t = 3.0 a_b, \text{ dla } e_b = 0.5$$

Zagadka: HD 188753 Ab



Powstawanie planet (ogólnie)

Model Safronova:

- Planety powstają w cienkim, lepkim dysku protoplanetarnym, otaczającym młodą protogwiazdę.
- W małych odległościach od protogwiazdy promieniowanie i temperatura usuwa gaz z dysku, pozostawiając tylko ziarna pyłu, z których przez zlepianie tworzą skaliste się planetozymale.
- Za „linią śniegu” powstają planety olbrzymy, zawierające skaliste jądro i grubą gazową atmosferę.

...ale HD 188753!

Powstawanie olbrzymów

■ Akrecja na jądro:

- Skaliste embriony o masie ok. $10 M_Z$ akreują otaczający je gaz, który tworzy atmosferę.
- Zbyt długa skala czasowa $10^6 - 10^7$ yr
- Obserwacyjne dowody istnienia dysków, w których zaczęło się zlepianie ziaren.
- Uwzględnienie powstania planet skalistych

■ Niestabilność dysku

- Fragmentacja dysku na małe, samograwitujące fragmenty + opadanie ziaren pyłu ku centrum „zagęszczenia”.
- Skala czasowa $\sim 10^3$ yr.
- Dyski wokółgwiazdowe są tworami stabilnymi!
- Nie wyklucza powstawania planet skalistych.

ZDANIA SĄ PODZIELONE.



...w układach podwójnych (S).

■ **NIE POWSTANĄ JEŚLI TOWARZYSZ
JEST ZA BLISKO**

- Drugi składnik może być źródłem niestabilności
- ...ale niestabilności te mogą szybko zniszczyć dysk.
- Model akrecji daje taką samą wydajność tworzenia planet jowiszowych w układach podwójnych, co wokół gwiazd pojedynczych. Niestabilności – nie.
- Dysk może zostać podgrzany, co spowoduje wyparowanie gazów i lodów.
- ...ale tylko w ekstremalnych przypadkach.

ZDANIA SĄ JESZCZE BARDZIEJ PODZIELONE.

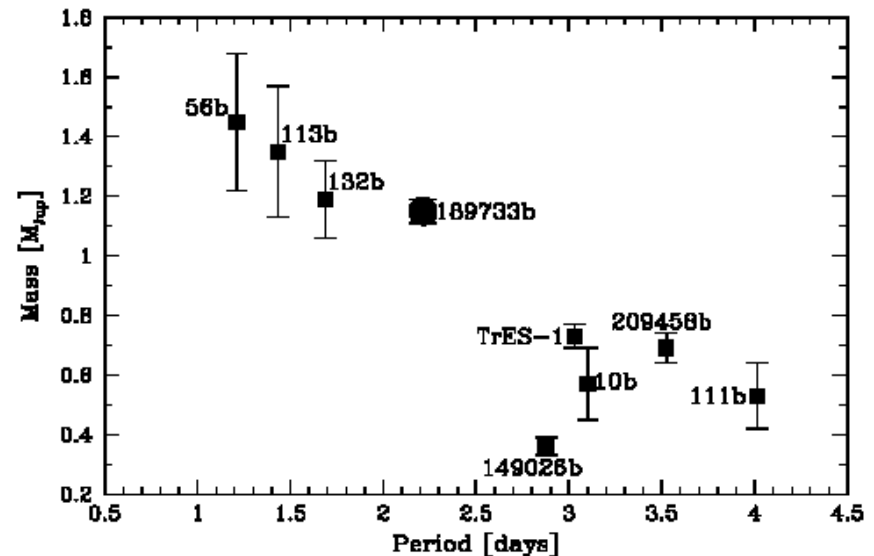
Proces migracji

MIGRACJA – proces zacieśniania orbity (utruty momentu pędu) masywnej protoplanety na skutek oddziaływań grawitacyjnych i lepkościowych z dyskiem.

Jej tempo jest tym szybsze im mniejsza jest masa planety i bardziej lepki dysk.

Generalnie na orbitach ciaśniejszych znajdują się planety mniej masywne.

Ale w przypadku planet tranzytujących zależność jest odwrotna



...a w układach podwójnych.

- Szybsze tempo migracji
- Szybsze tempo akrecji gazu na planetę
- Cyrkularyzacja orbity

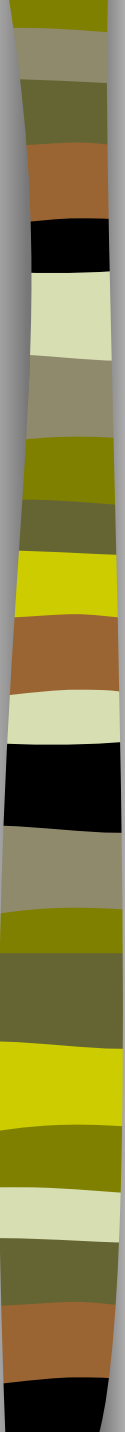
Stąd masywniejsze planety na ciasniejszych orbitach w układach podwójnych.

- **MIGRACJA KOZAIA:** wartość mimośrodów orbity planety podlega cyklicznym oscylacjom (mechanizm K.). Gdy e jest duże, oddziaływania pływowe w okolicy peryastronu prowadzą do dyssypacji znacznej ilości energii.

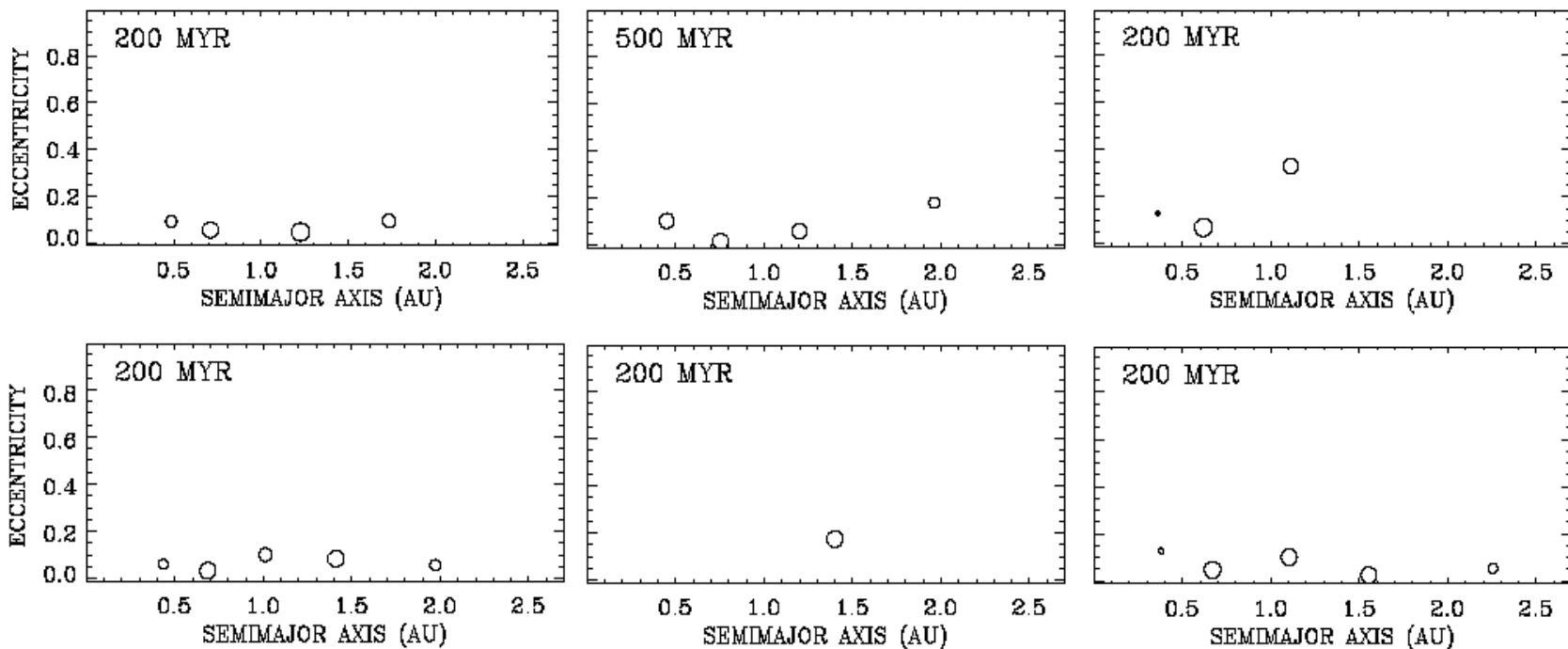
Stąd bardzo ciasne oraz bardzo wydłużone orbity planet.

Formowanie planet skalistych.

- Zderzanie i zlepianie się ziaren, prowadzące do powstania planetozymali.
- Wpływ drugiej gwiazdy ogranicza się do zredukowania obszarów stabilności.

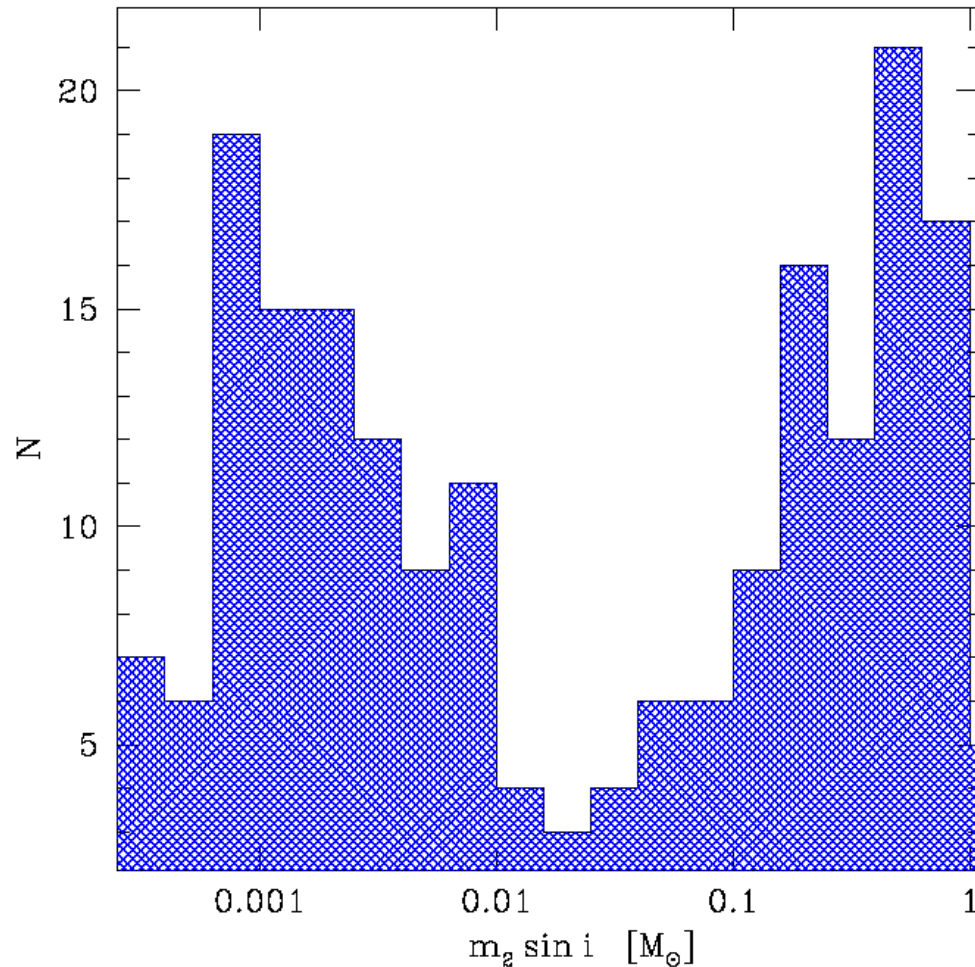


Symulacja powstawania planet skalistych wokół α Centauri i podobnych układów.



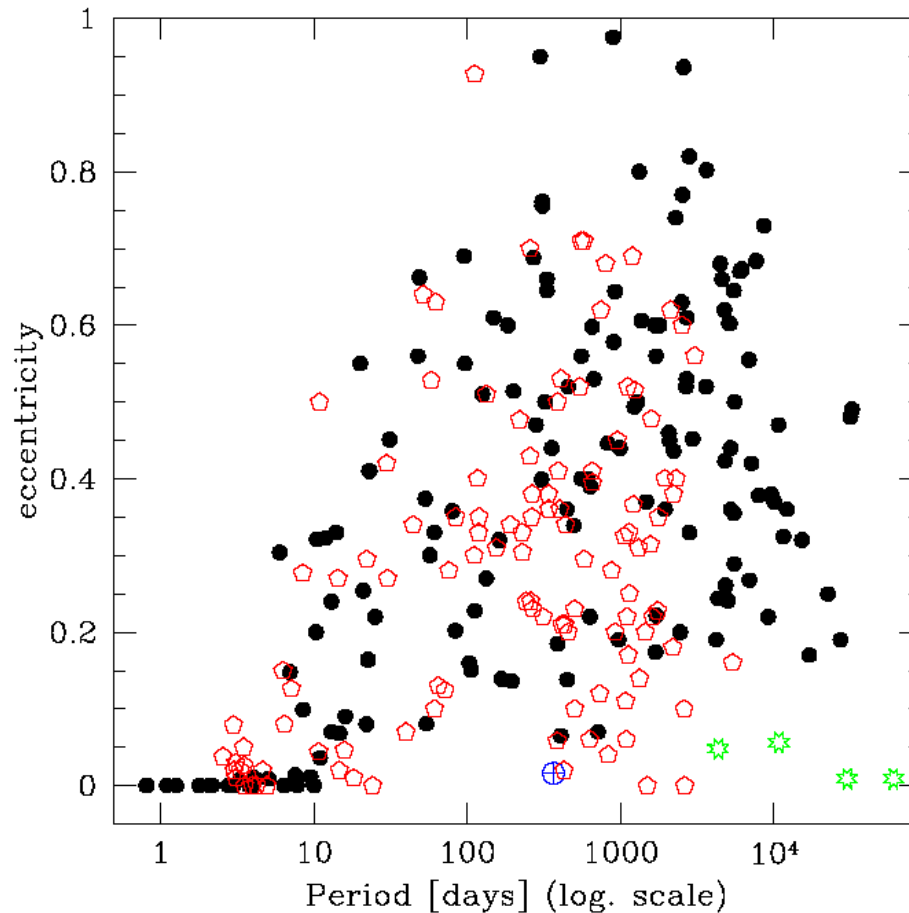
W UKŁADZIE PODWÓJNYM MOŻE POWSTAĆ SYSTEM PLANETARNY TAKI SAM JAK W UKŁADZIE GWIAZDA – PLANETA JOWISZOWA.

Gwiazda/planeta – granica masy.



Pustynia Brązowych Karłów wypełnia się z obu stron.

Gwiazda/planeta – orbity.



Z punktu widzenia dynamiki różnica między planetami a składnikami wtórnymi układów podwójnych jest mniejsza niż może się wydawać.

A space-themed background featuring a view of Jupiter in the upper left and the Moon in the lower right. The scene is set against a dark starry sky with a bright yellow sun or star on the left side.

KONIEC

**DZIĘKUJĘ ZA
UWAGĘ**