" Change of paradigm during the 20th century
- From one to billions of planetary systems "

Michel Mayor
Université de Genève

An old philosophical question!

Epicurus 341 - 270 BC

Worlds are in an infinite number, some of them similar to our own one, some others being different...
...living species, plants and all the other visible things could exist in some worlds and could not in others.

But also: Leucippus -510 -420 ; Democritus -460 -350

Ponad 2400 lat temu greccy filozofowie wyrazili ideę nieskończonej liczby światów we wszechświecie. W tym samym piśmie z IV wieku p.n.e., Epikur wyraził nawet pogląd, że niektóre z tych Światów (a nie inne!) muszą być zaludnione przez żywe istoty.

Circa 1200-1280: Saint Albert the Great:
«Do there exist many worlds, or is there but a single world? This is one of the most noble and exalted questions in the study of Nature.»

1277 Etienne Tempier
(Bishop of Paris, with the agreement of Jean XXI)
Asked that the question of the plurality of worlds be teached at the Sorbonne

1600+ Giordano Bruno: « De l'infinito , universo e Mundi »

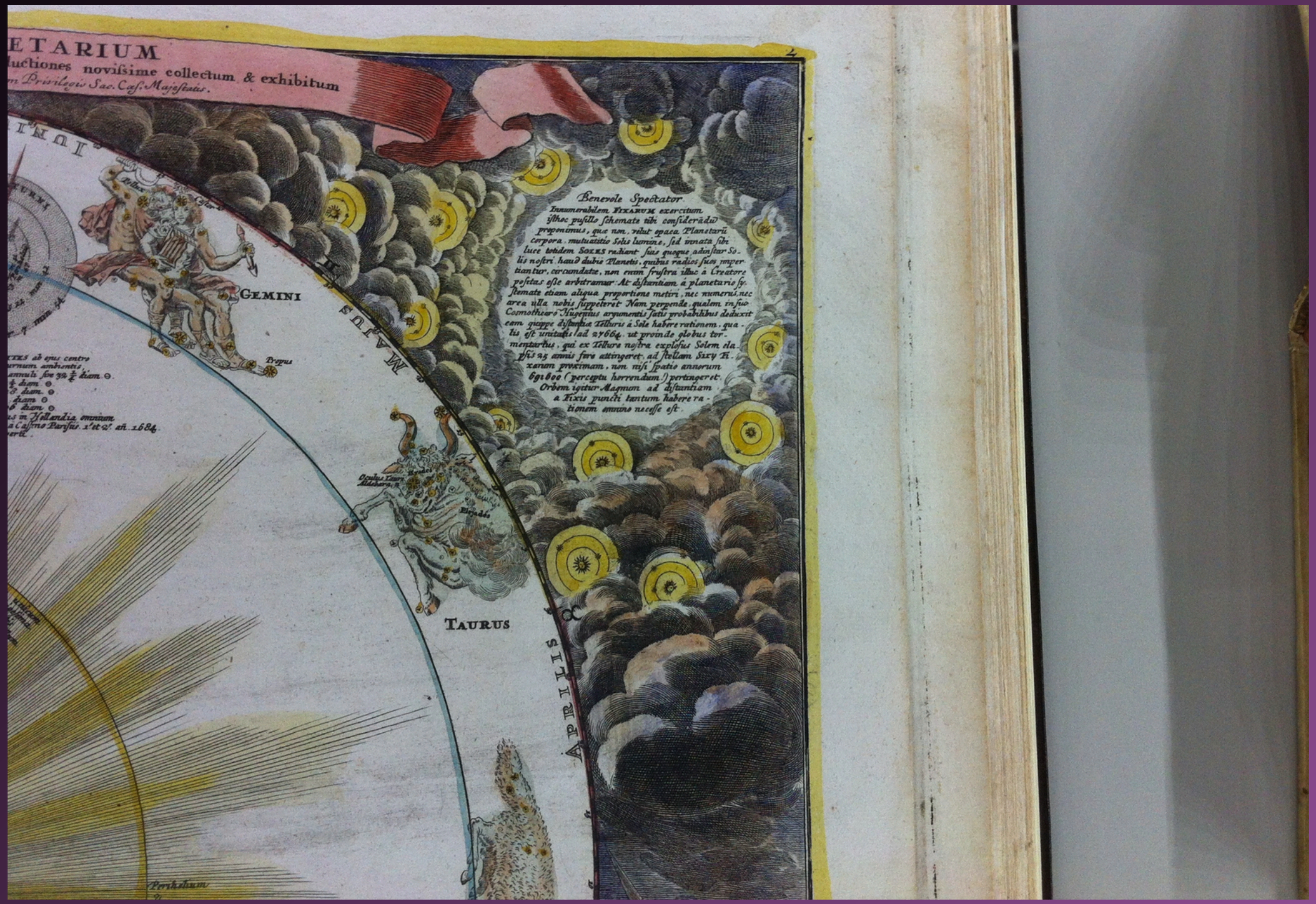
1755 Emmanuel Kant: « Universal Natural History and Theory of Heaven »

1756 Pierre-Simon Laplace: « Exposé du système du monde »

Wbrew powszechnie przyjętym poglądom, idea wielości światów była w ostatnich dwóch tysiącleciach stale dyskutowana, zwłaszcza w krajach chrześcijańskich. W szczególności rozważ prośbę do papieża o nauczanie hipotezy o wielości światów na Sorbonie w XIII wieku.

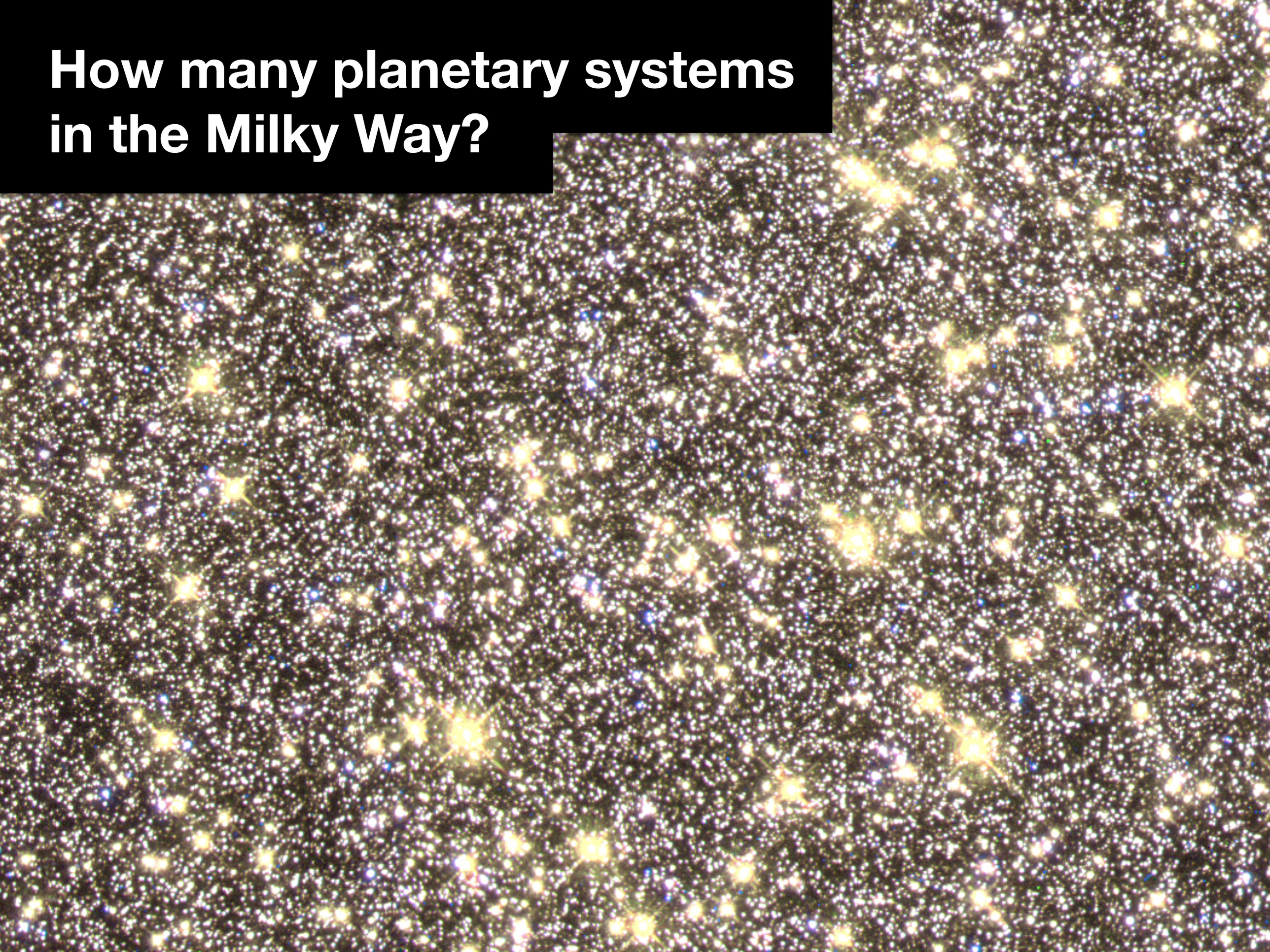
Atlas Doppelmayr 1742

W ślad za ideami Giordano Bruno (koniec XVI wieku) w dziedzinie sztuki pojawiła się idea istnienia układów planetarnych związanych z licznymi gwiazdami (tu atlas Dopplmayra 1742)


ETARIUM
luctiones novissime collectum & exhibitum
n Privilegio Sac. Caes. Majestatis.
GEMINI
Tropus
TAURUS
MAIUS
APRILIS
Perihelium
Benevole Spectator
Innumerabilem FIXARUM exercitum
isthoc pusillo schemate tibi considerãdũ
proponimus, quæ non, ritut opaca Planetarũ
corpora, mutuatitio Solis lumine, sed innata sibi
luce totidem SOLES radiant suas quoque adinstar So-
lis nostri haud dubie Planetis, quibus radios suos impar-
tiantur, circumdatæ, non eram frustra illuc à Creatore
positas esse arbitramur. At distantiam à planetario sy-
stemate etiam aliqua proportione metiri, nec numerus, nec
area ulla nobis suppeteret. Nam perpende, qualem in suo
Cosmotheoro Hugenius argumentis satis probabilibus deduxit
eam quippe distantiæ Telluris à Sole habere rationem, qua-
lis est unitatis ad 27664. ut proinde globus tor-
mentarius, qui ex Tellure nostra explosus Solem ela-
psis 25 annis foro attingeret, ad stellam Sirx Fi-
xarum proximam, nisi spatio annorum
691800 (perceptu horrendum!) pertingeret.
Orbem igitur Magnum ad distantiam
a Fixis puncti tantum habere ra-
tionem omnino necesse est.

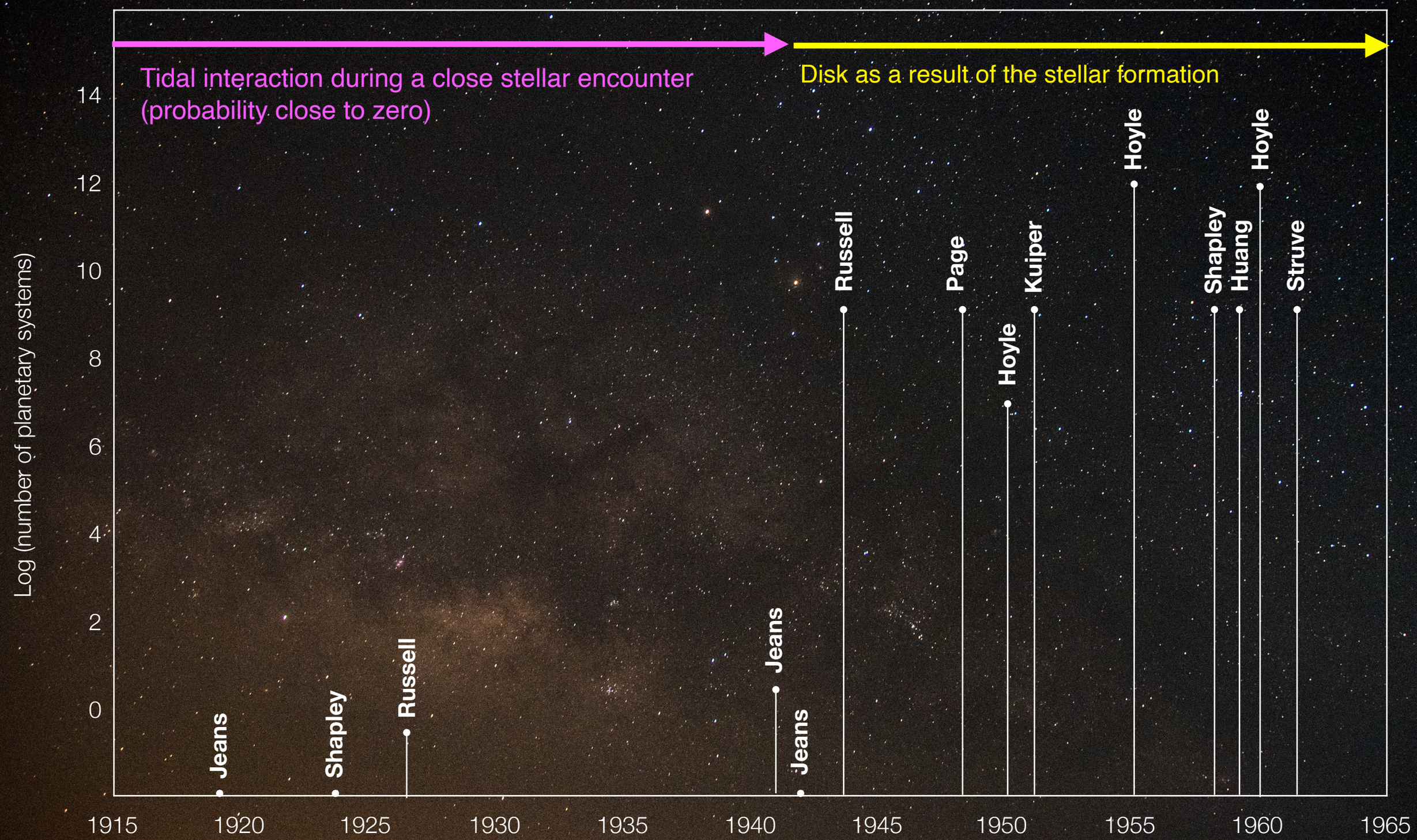
- The Milky Way …. our Galaxy.
- 200 billions stars .How many Earth-Twins ?
- Light need 100’000 years from one side to the other.

How many planetary systems in the Milky Way?



Estimated number of planetary systems

in the Milky Way



Adapted from S. J. Dick

Observatory (1952) 72,199

PROPOSAL FOR A PROJECT OF HIGH-PRECISION STELLAR RADIAL VELOCITY WORK

By Otto Struve

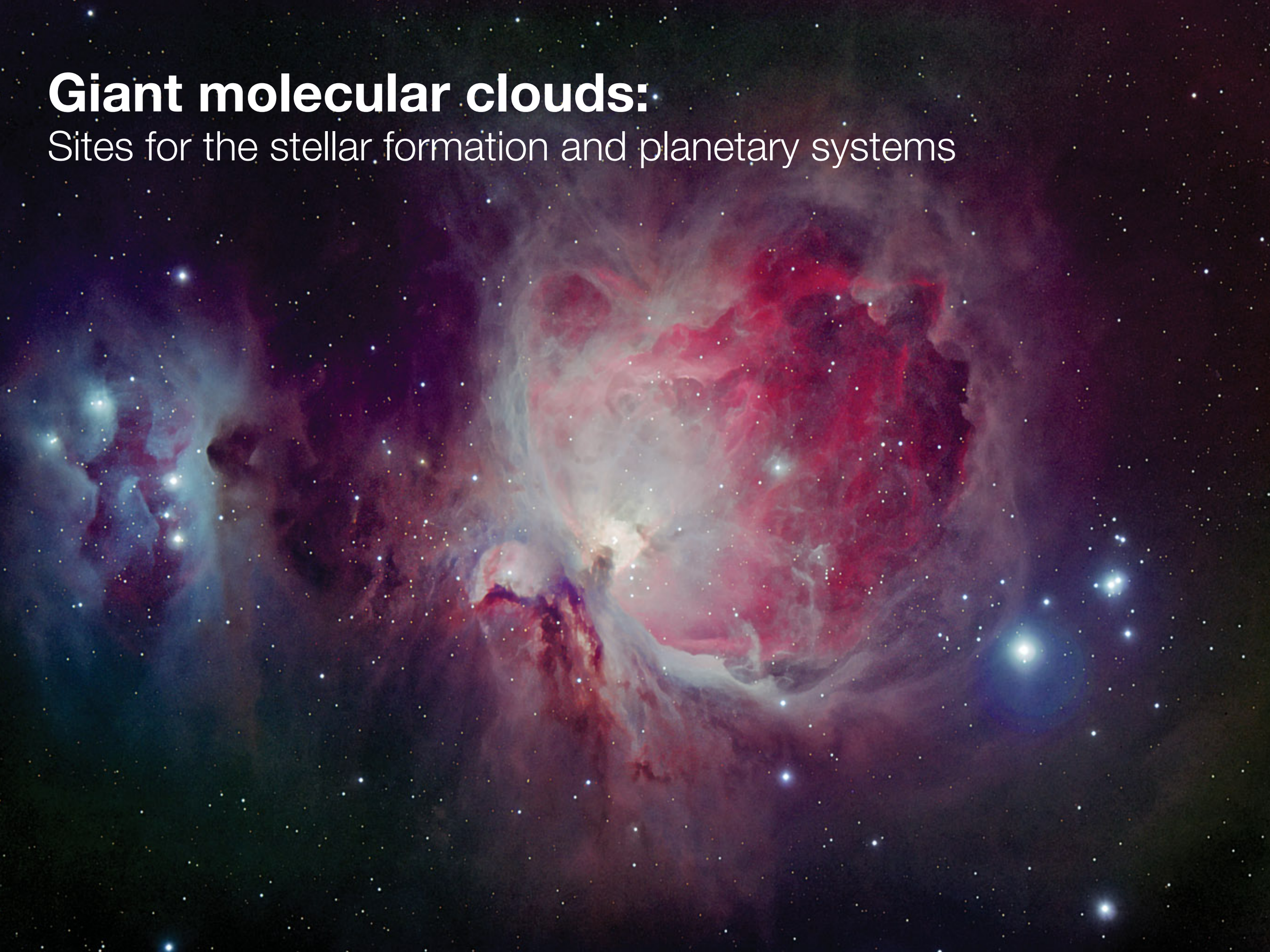
"I have suggested elsewhere that the lack of rapid axial rotation of normal solar-type stars ... suggests that these stars have converted their angular momentum from axial rotation to angular momentum from the orbital motion of the planets. Therefore there can be many planet-like objects in the galaxy. "

"Zasugerowałem w innym miejscu, że brak szybkiej rotacji osiowej normalnych gwiazd typu słonecznego ... sugeruje, że gwiazdy te przekształciły swój moment pędu z rotacji osiowej na moment pędu z ruchu orbitalnego planet. Dlatego w galaktyce może znajdować się wiele obiektów planetopodobnych. "

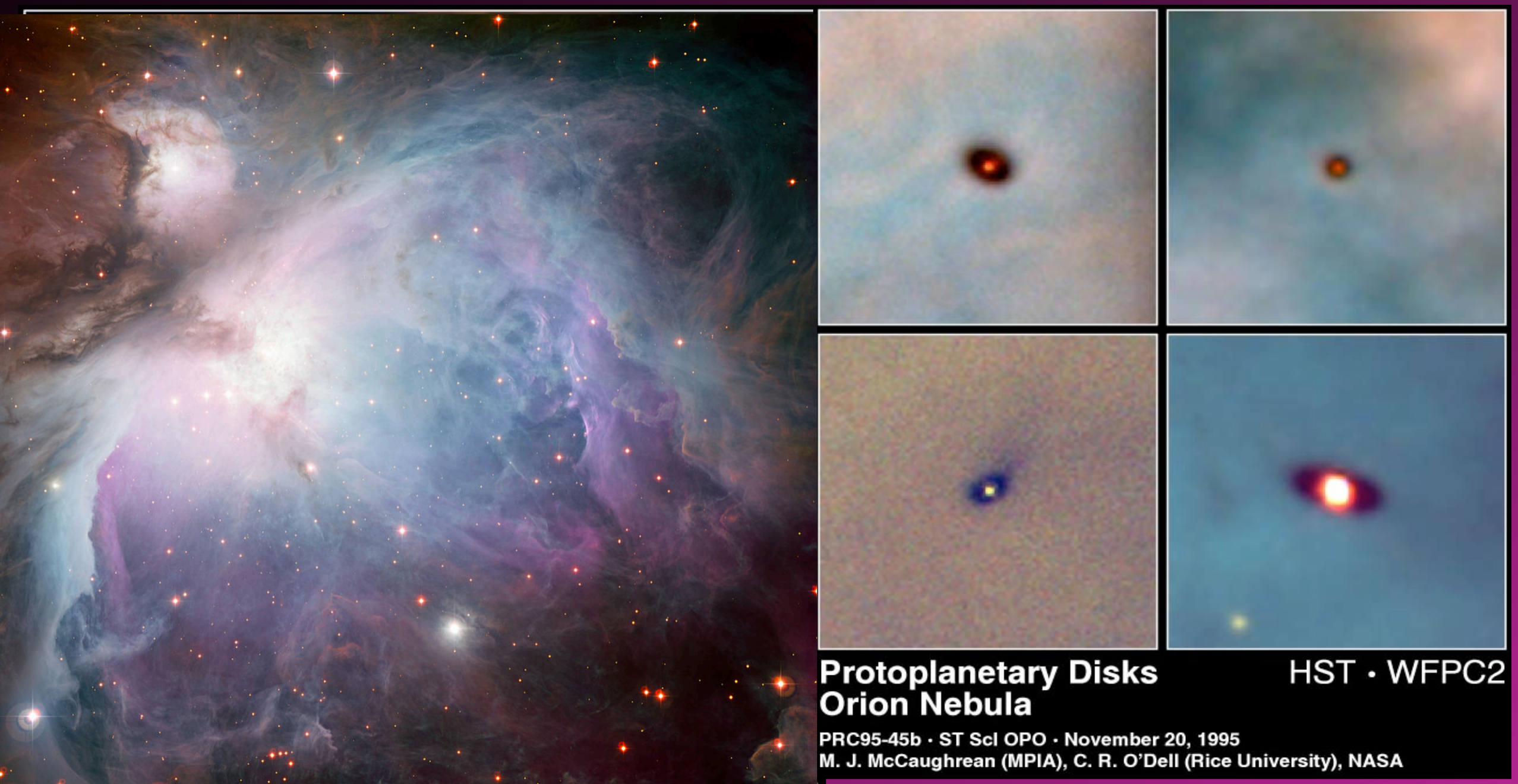
Galaktyka spiralna podobna do naszej: zauważ różowe mgławice wzdłuż ramion spiralnych: miejsca powstawania gwiazd ORAZ układów planetarnych.

Giant molecular clouds:

Sites for the stellar formation and planetary systems



Protoplanetary Disks Observed with the HST (1995)

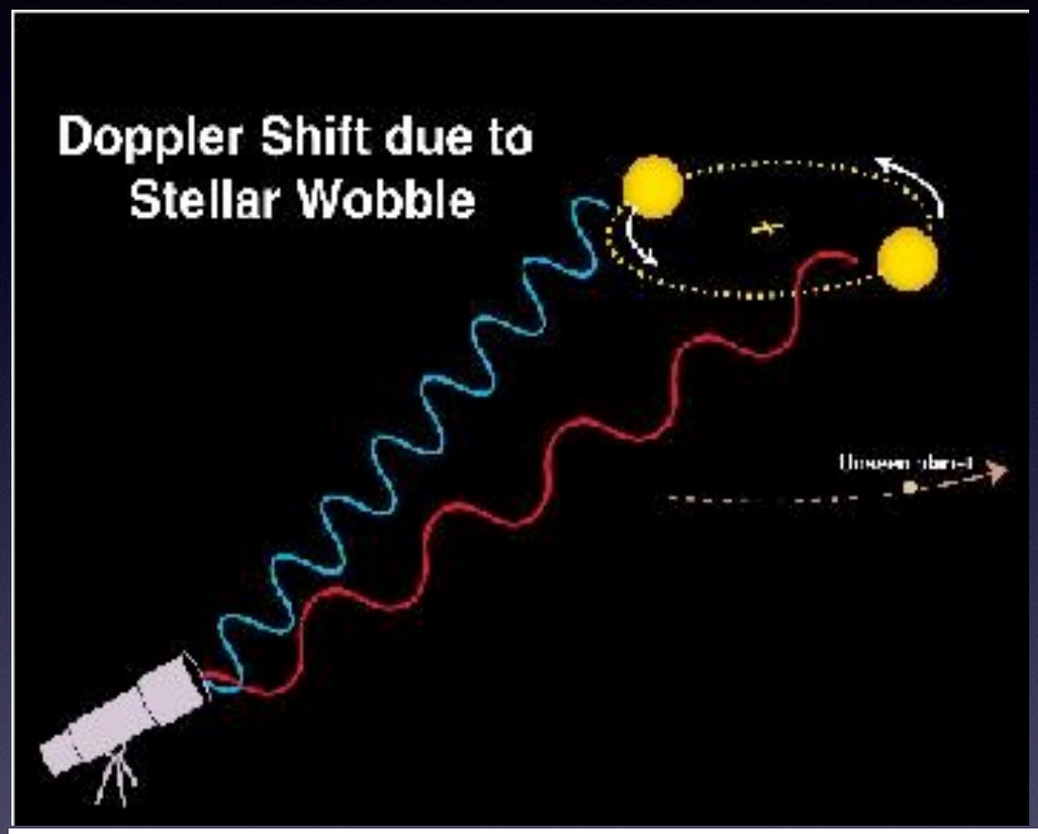


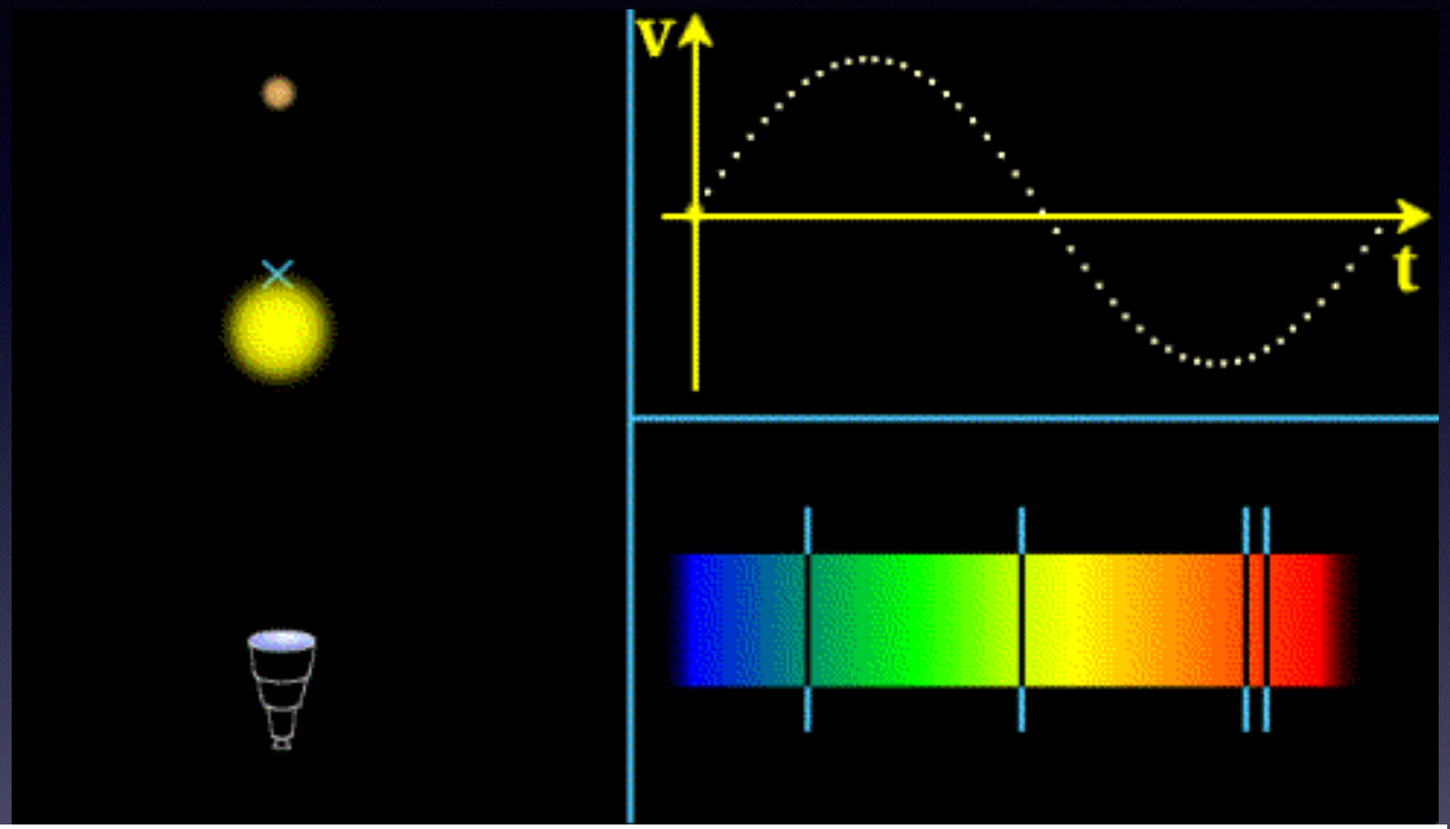
How to detect planets around stars?

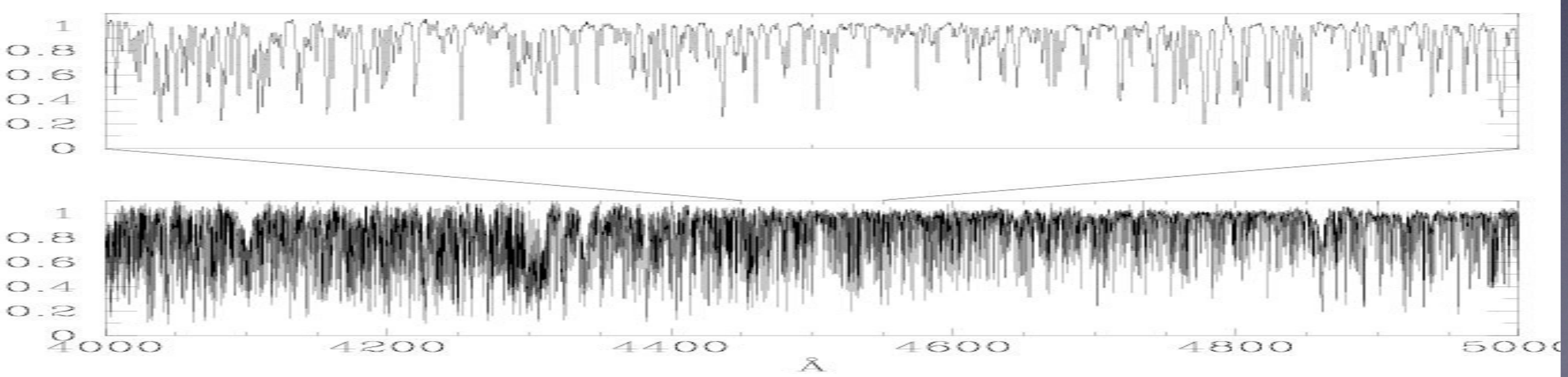
Indirect detection by measuring the Doppler Shift due to Stellar Wobble.

Proposed by:

Belorizki,D. 1938 and Struve,O. 1952

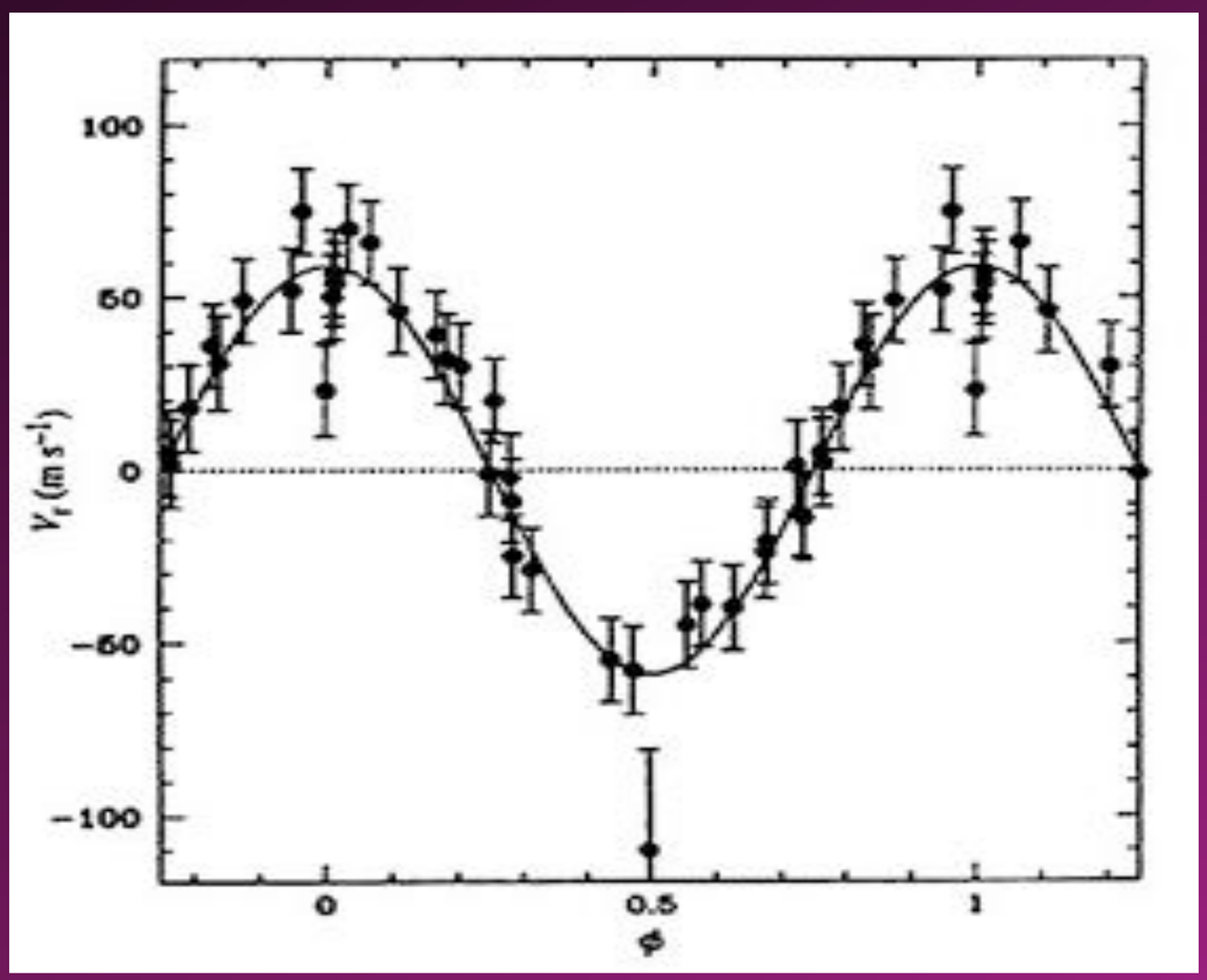






Discovery of a first planet (51 Pegasi b) hosted by a star similar to our Sun (Mayor & Queloz , Nature 1995)

$M_{pl} = 0.5\ M_{Jup}$
P = 4.2 days .... 1/1000 of theoretical predictions !!!!!
a = 0.04 UA



Today : more then 5000 exoplanets have been discovered and characterized.

HD10180: A planetary system with more than 7 planets

P_1 = 1.18 day
e_1 = 0
m_1 sini = 1.5 $M_\oplus$

P_2 = 5.76 days
e_2 = 0.07
m_2 sini = 13.2 $M_\oplus$

P_3 = 16.4 days
e_3 = 0.16
m_3 sini = 11.8 $M_\oplus$

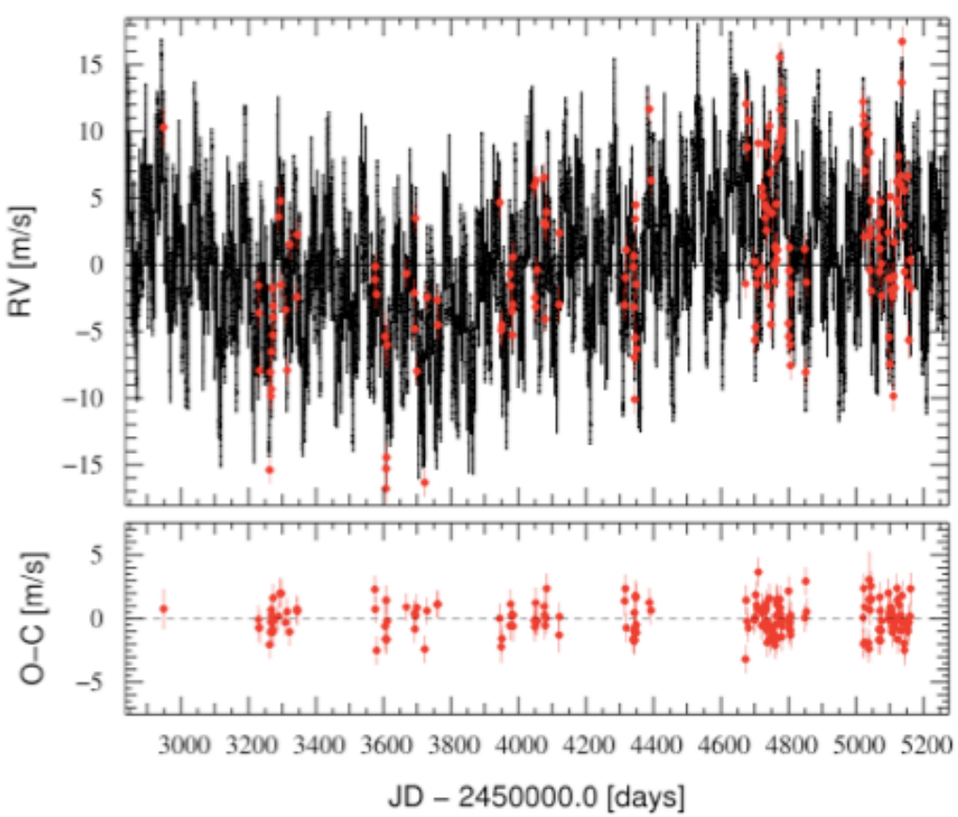
P_4 = 49.7 days
e_4 = 0.06
m_4 sini = 24.8 $M_\oplus$

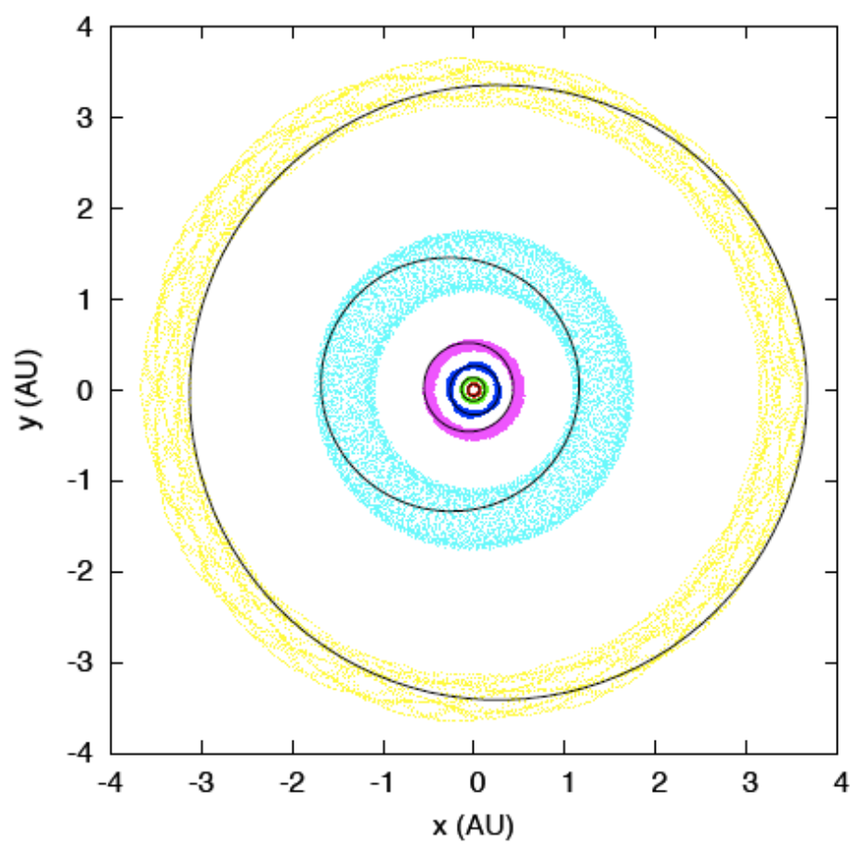
P_5 = 122.7 days
e_5 = 0.13
m_5 sini = 23.4 $M_\oplus$

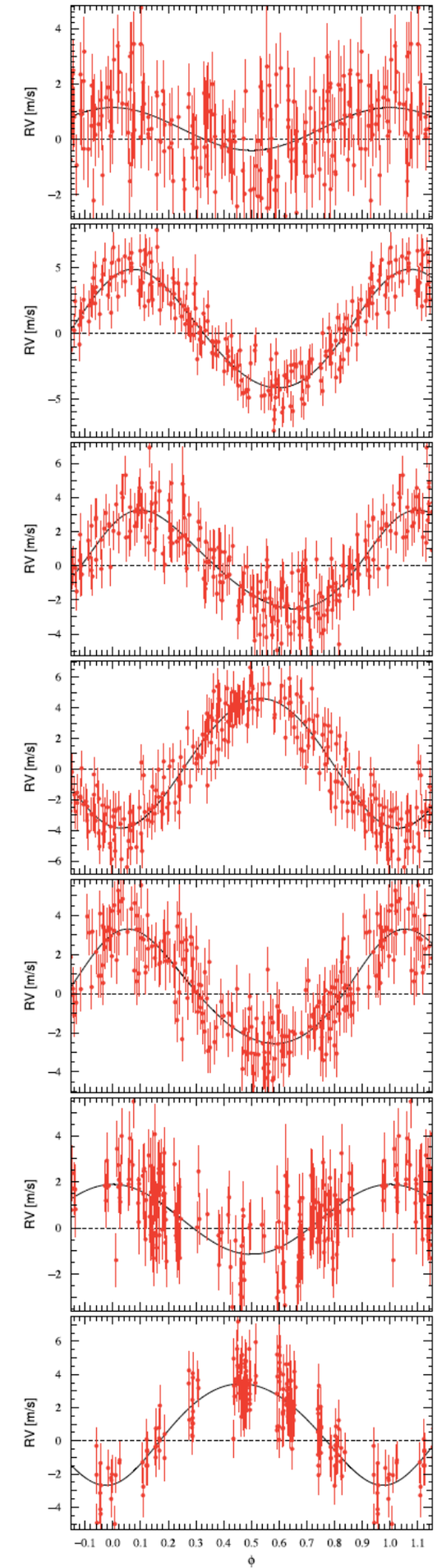
P_6 = 595 days
e_6 = 0.0
m_6 sini = 22 $M_\oplus$

P_7 = 2150 days
e_7 = 0.15
m_7 sini = 67 $M_\oplus$

Lovis et al. 2010



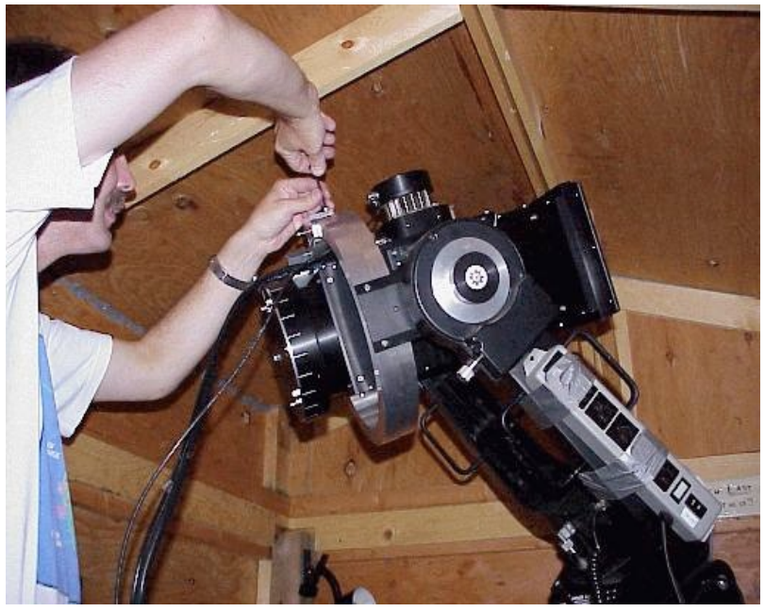


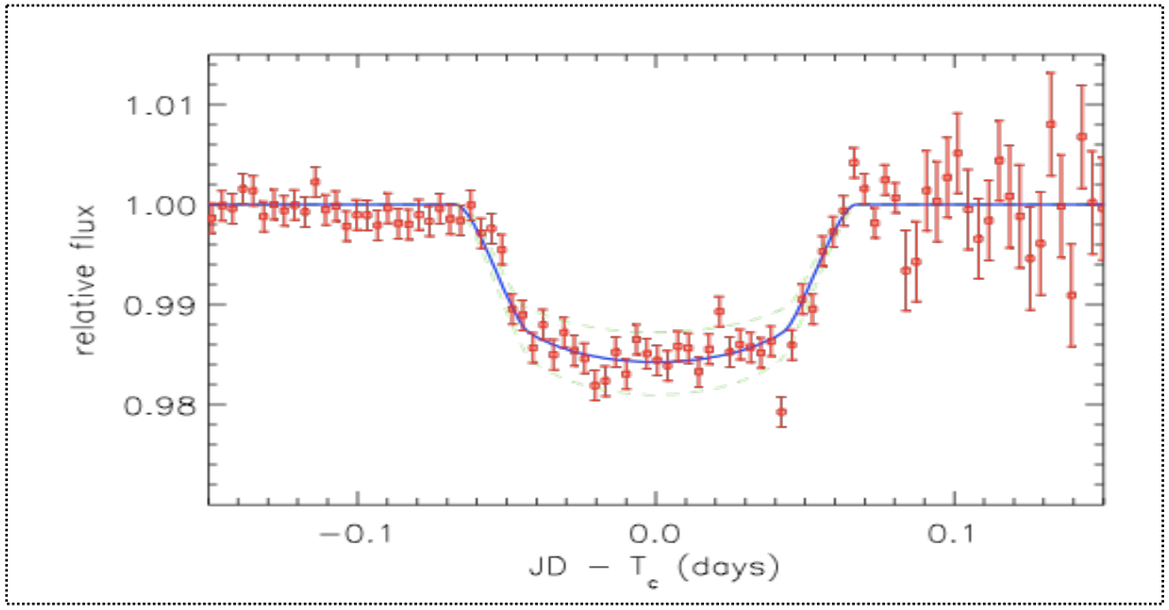


Oto przykład układu wieloplanetarnego (7 planet), który wykryliśmy w Chile (ESO) dzięki wykryciu zmian prędkości gwiazdy.
Zmienność wywołana przez 7 planet na orbicie wokół tej gwiazdy.

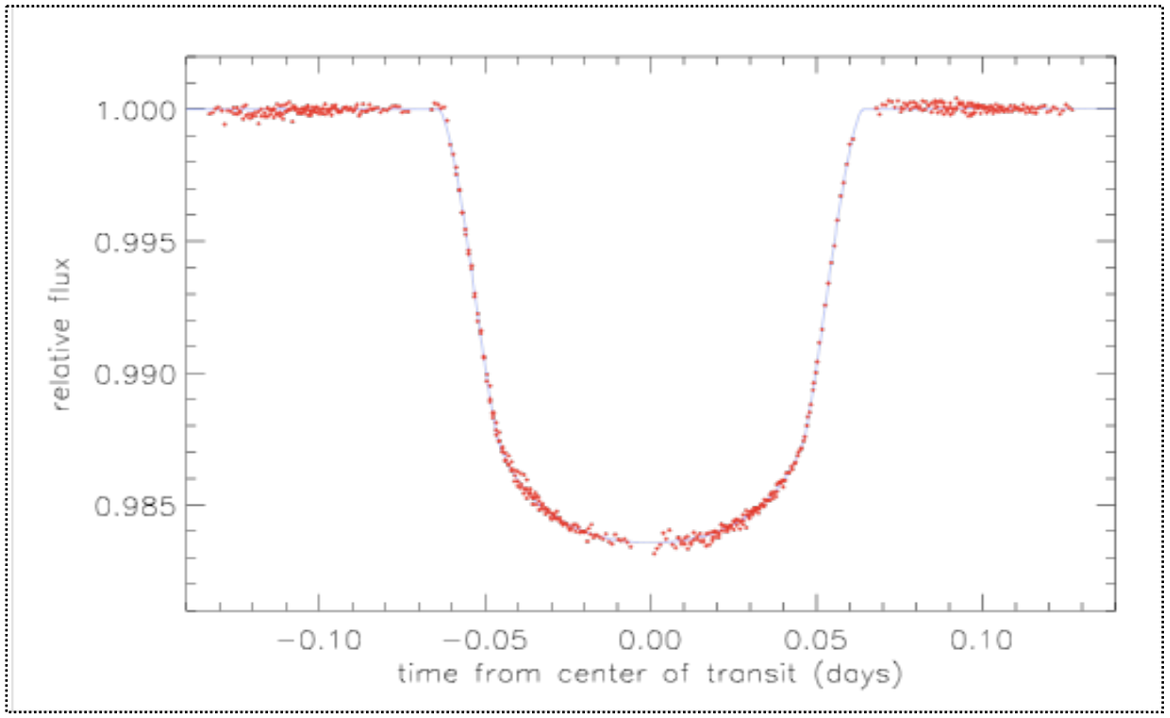
(spektroskopia DOPPLER)

9 and 16th Sept 1999: A first planetary transit





Charbonneau, Brown,Latham, Mayor 2000, ApJ,529



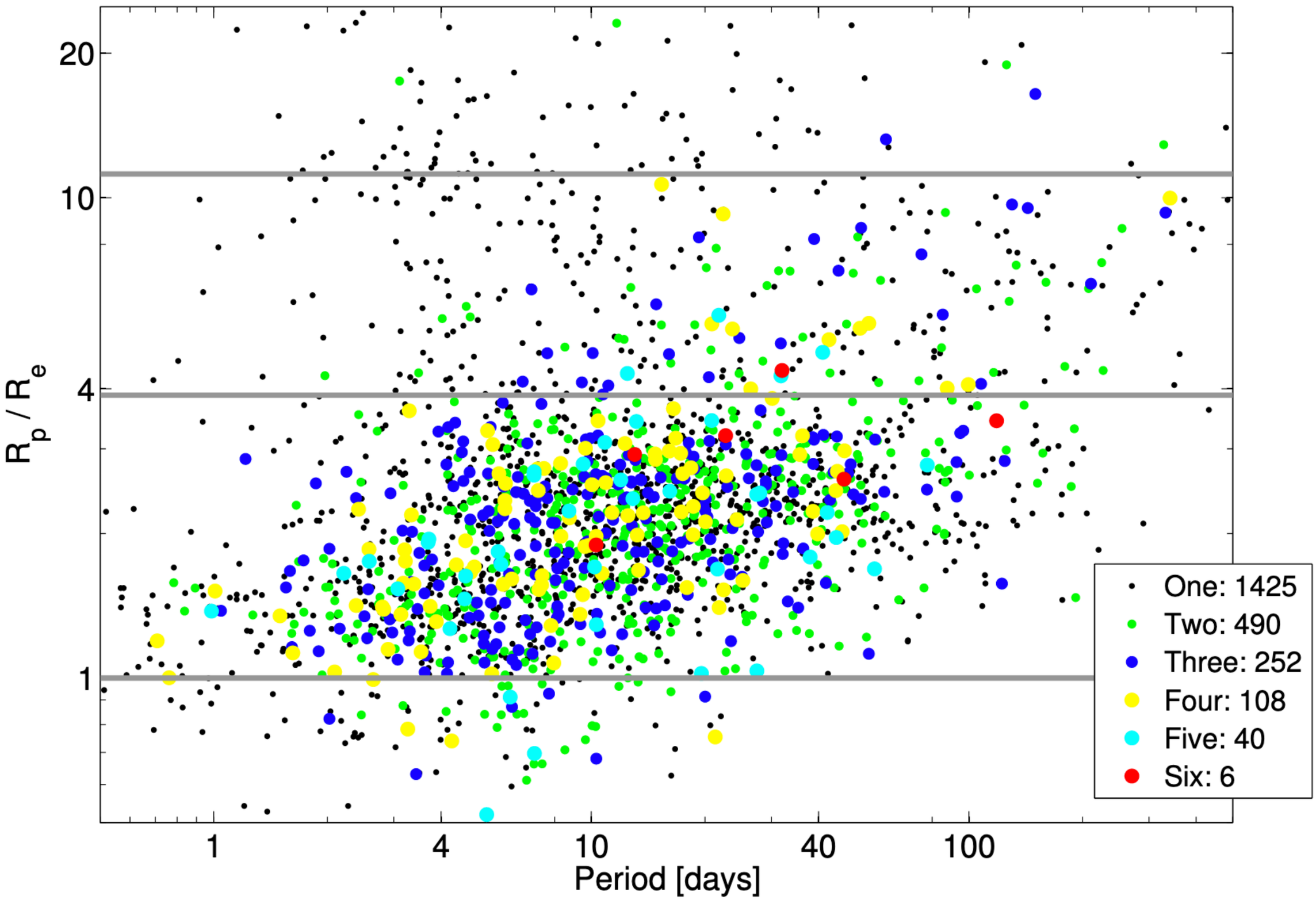
Brown, Charbonneau, Gilliland, Noyes, Burrows 2001,ApJ,552,699

HOT JUPITERS are gaseous giant planets : density = 0.3 g/ cm**3

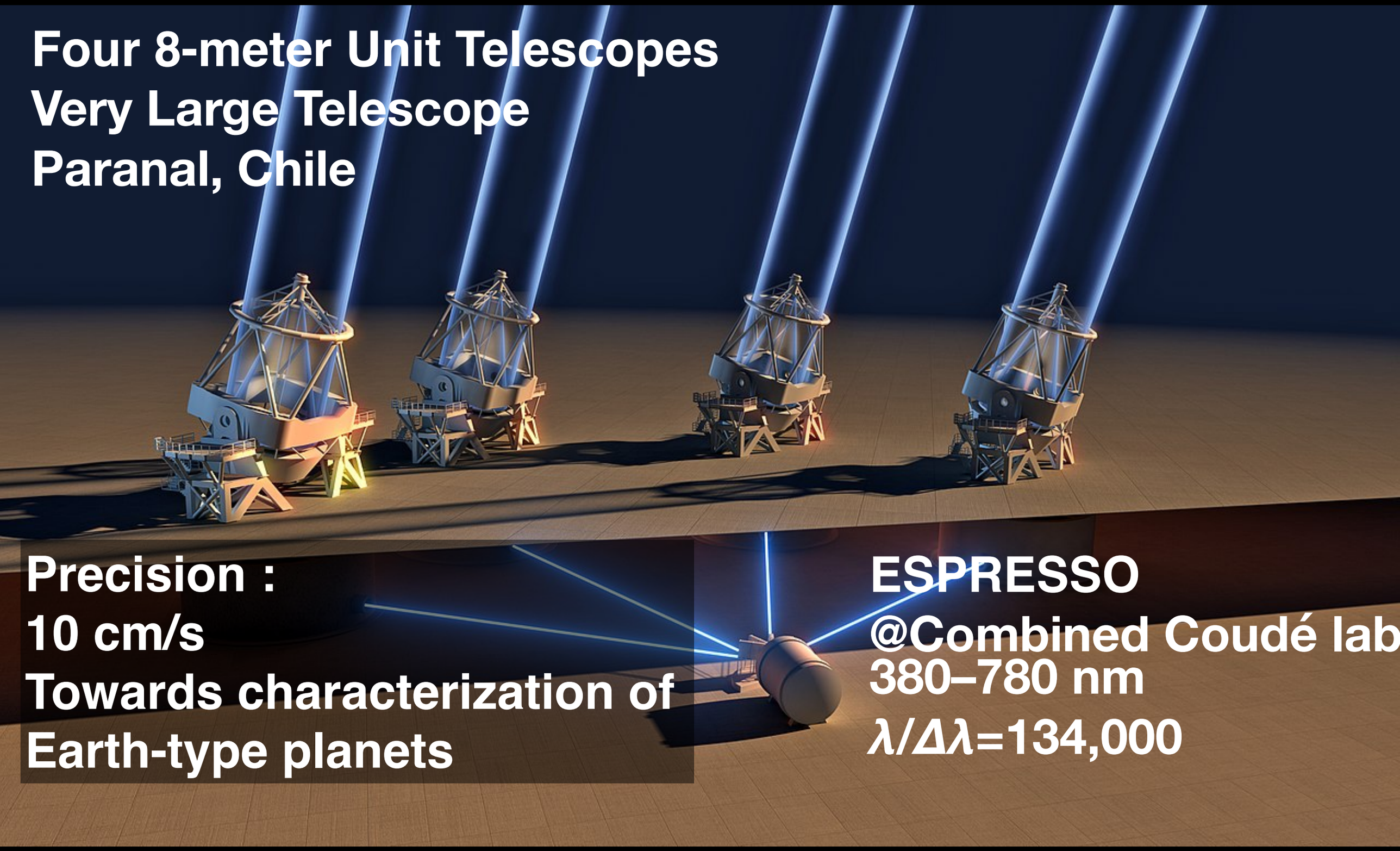
Czasami planeta pozasłoneczna (lub kilka!) przechodzi między gwiazdą a naszym teleskopem i powoduje niewielki spadek jasności gwiazdy. Technika ta, znana jako tranzyty planetarne, doprowadziła do odkrycia tysięcy układów planetarnych (z ziemi lub za pomocą satelitów: CoRoT, Kepler, TESS, CHEOPS).

Obraz przedstawia pierwszy tranzyt wykryty we wrześniu 1999 roku.

The harvest from the KEPLER space mission



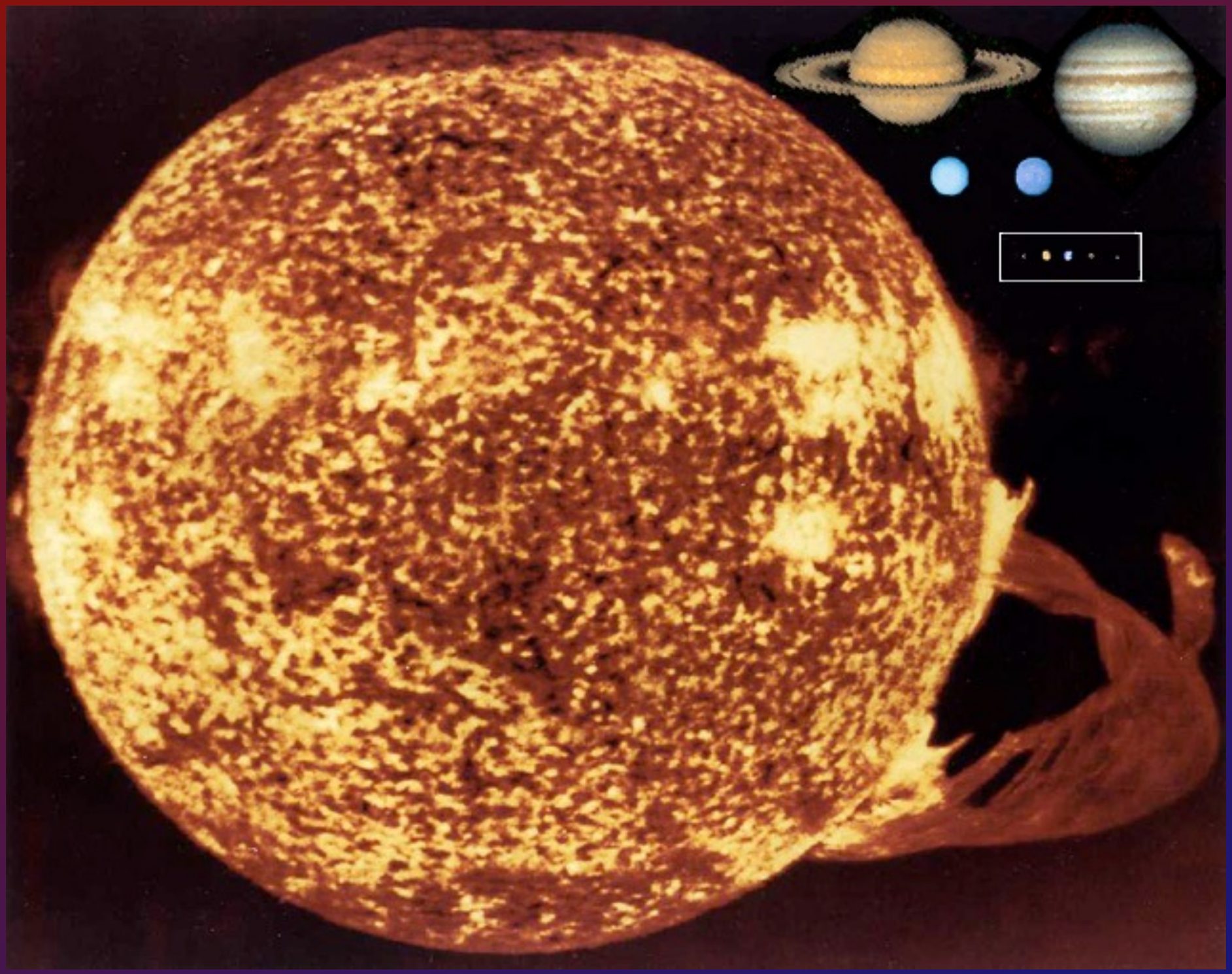
Batalha et al. 2013


Four 8-meter Unit Telescopes
Very Large Telescope
Paranal, Chile
Precision :
10 cm/s
Towards characterization of
Earth-type planets
ESPRESSO
@Combined Coudé lab
380–780 nm
λ/Δλ=134,000

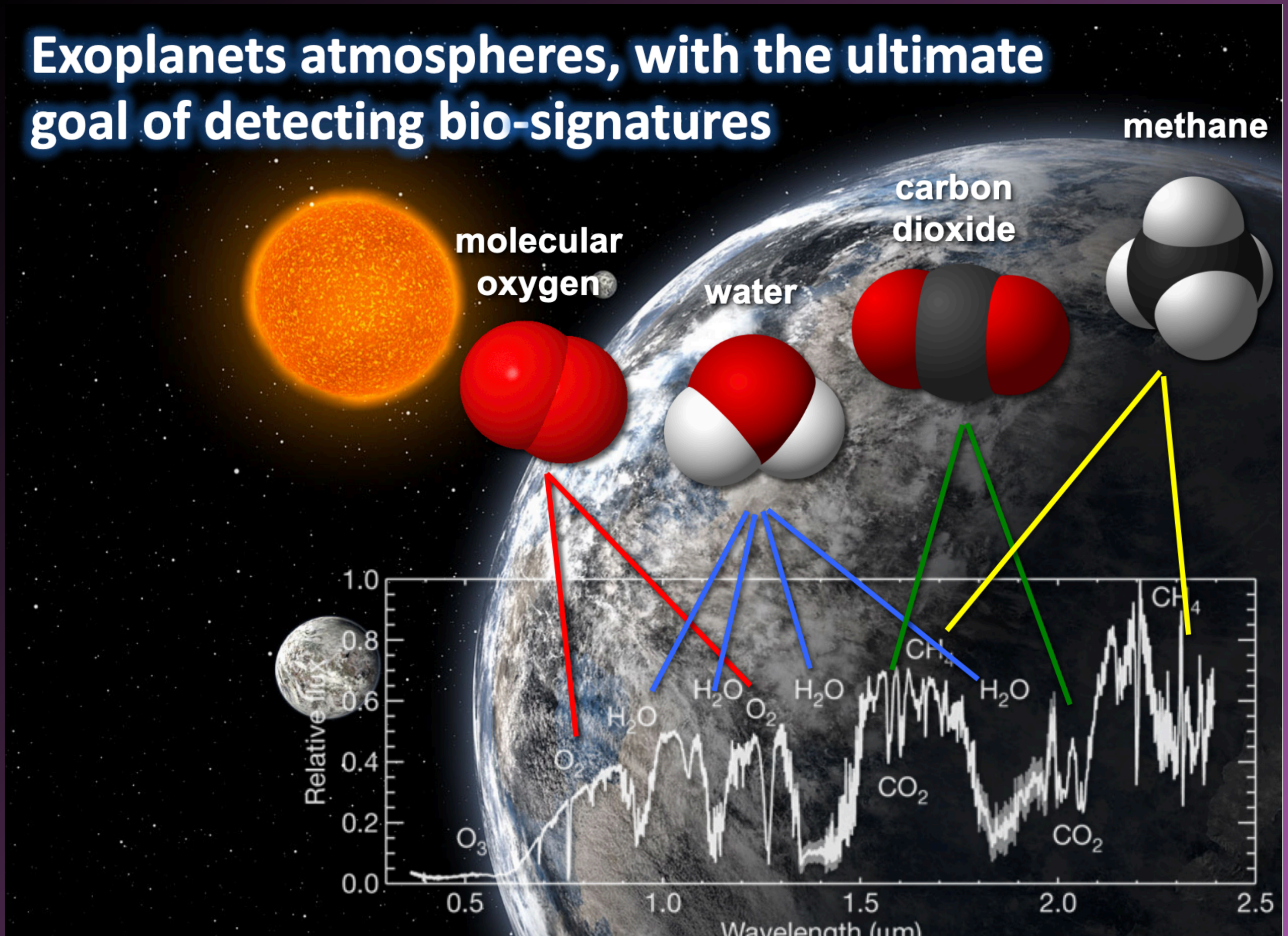

Earth twins ?
With life ?

Towards a new « Copernician revolution »

Is Life a « cosmic imperative » ?



Exoplanets atmospheres, with the ultimate goal of detecting bio-signatures

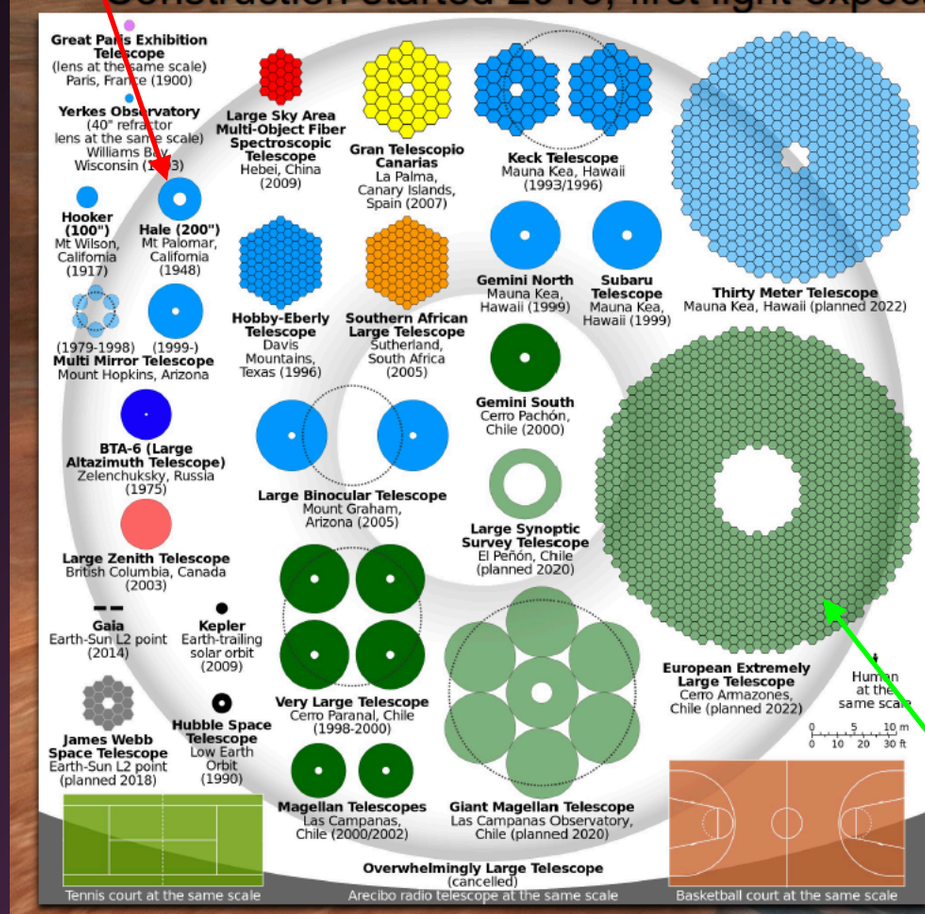


Palomar 5.08 m (1948)

The European ELT

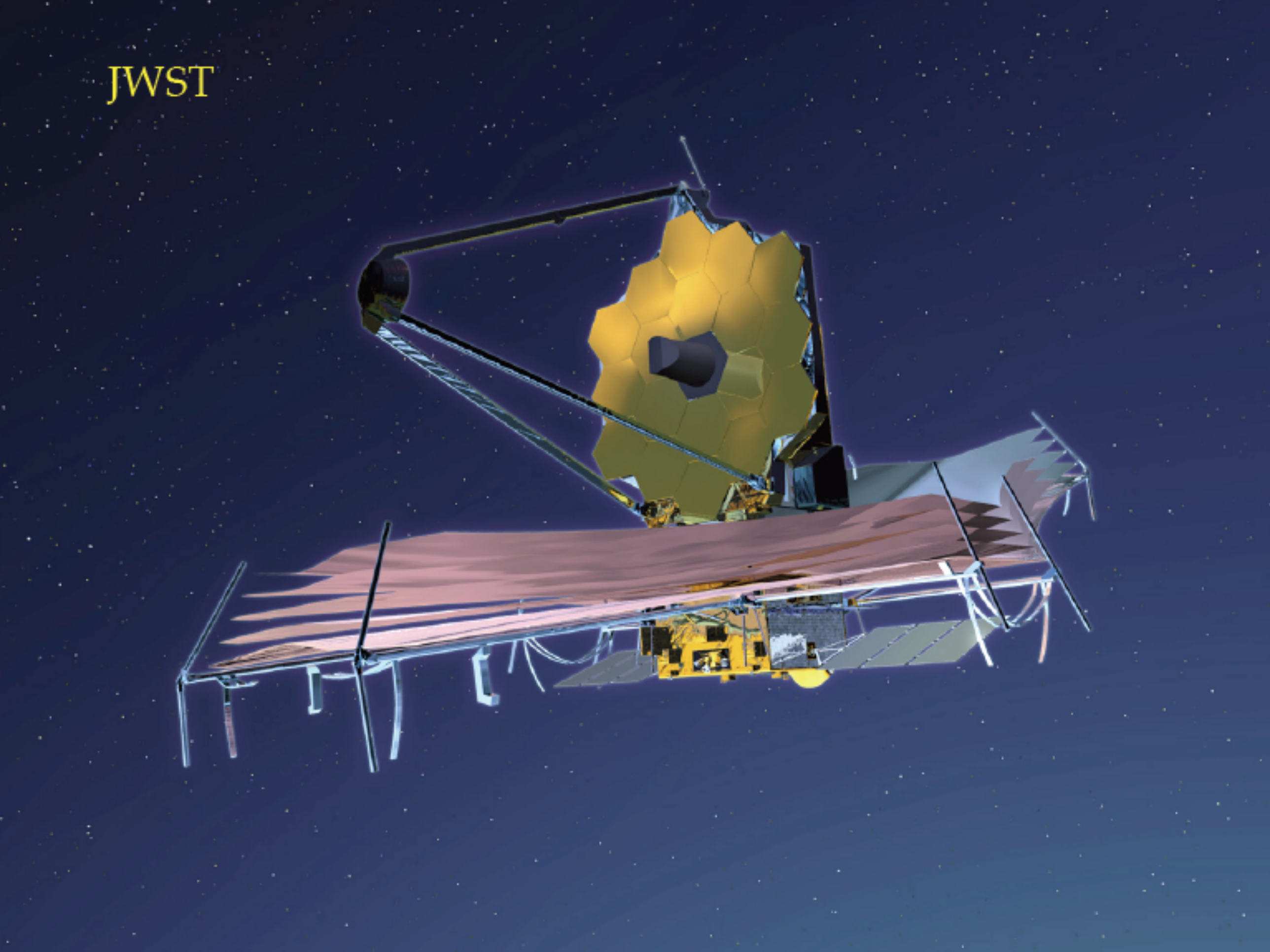
Largest optical/infrared telescope in the world

- ➢39-m segmented primary mirror
- ➢fully AO assisted telescope
- ➢On Cerro Armazones, integral part of the Paranal system
- ➢Construction started 2015, first light expected end of 2025



ESO ELT 39 m (2028)


E-ELT , January 2022


JWST

A small estimation !!!

An hypothetical « habitable « planet at 30 light-years is one billions times the distance to the moon !

A travel of several millions of years at Apollo 11 velocity .

The quantity of energy needed to significantly accelerate then decelerate the space mission (at a velocity close to the velocity of light) is **impossible**.

>>>>>>>>>> If the Earth begins to be inhabitable …. the humanity will NOT have any possibility to emigrate on another exoplanet .

Despite of the huge number of exoplanets in the galaxy

We do not have a « Plan B ».

Małe szacunki !!!

Hipotetyczna " nadająca się do zamieszkania " planeta w odległości 30
lat świetlnych to jeden miliard razy większa odległość od Księżyca !

Podróż trwająca kilka milionów lat z prędkością Apollo 11 .

Ilość energii potrzebna do znacznego przyspieszenia następnie wyhamowania misji kosmicznej (z prędkością zbliżoną do prędkości światła) jest niemożliwa.

>>>>>>>>>> Jeśli Ziemia zacznie nadawać się do zamieszkania .... ludzkość nie będzie miała możliwości emigracji na inną egzoplanetę.

Pomimo ogromnej liczby egzoplanet w galaktyce

Nie mamy "planu B".

Thank you