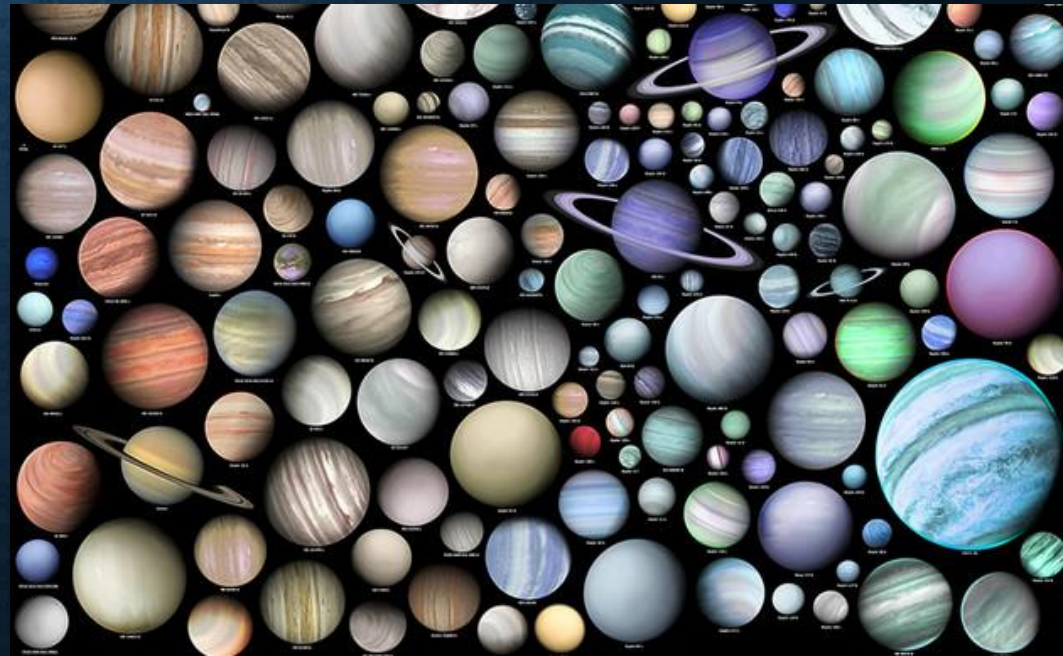


ПОПУЛЯЦИИ ЭКЗОПЛАНЕТ

Сергей Попов



ЧТО ТАКОЕ ЭКЗОПЛАНЕТА?

The current working definition of an exoplanet, as amended in August 2018 by IAU Commission F2 “Exoplanets and the Solar System”, reads as follows:

Objects with true masses below the limiting mass for thermonuclear fusion of deuterium (currently calculated to be 13 Jupiter masses for objects of solar metallicity) that orbit stars, brown dwarfs or stellar remnants and that have a mass ratio with the central object below the L4 / L5 instability ($M/M_{\text{central}} < 2/(25 + \sqrt{621}) \approx 1/25$) are “planets”, no matter how they formed.

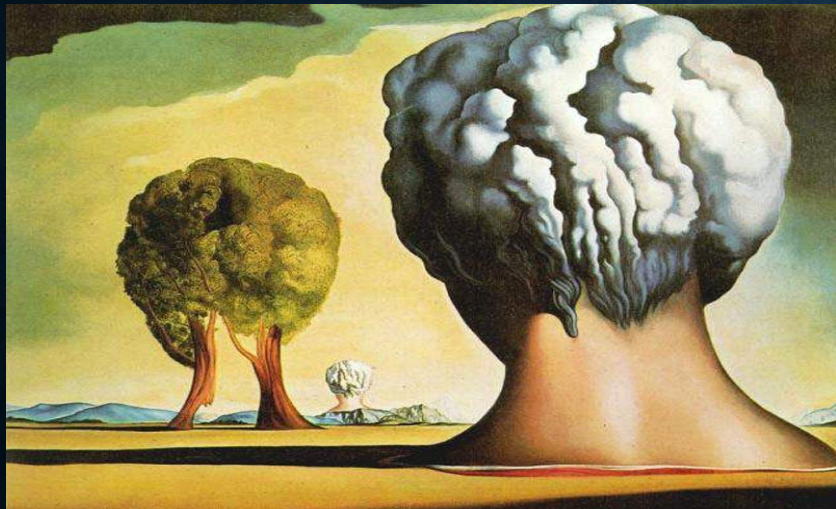
The minimum mass/size required for an extrasolar object to be considered a planet should be the same as that used in our Solar System, which is a mass sufficient both for self-gravity to overcome rigid body forces and for clearing the neighborhood around the object’s orbit.

Экзопланеты

Одним из самых важных открытий последних 30 лет стало обнаружение экзопланет.

Сейчас специализированные наземные программы и спутники существенно увеличили число известных планет у других звезд.

На данный момент >5000 планет (exoplanet.eu) плюс несколько тысяч кандидатов.



Область быстро развивается и с точки зрения новых наблюдений (и постройки приборов), и с точки зрения теории (т.к. оказалось, что многое мы не понимали или понимали не так).

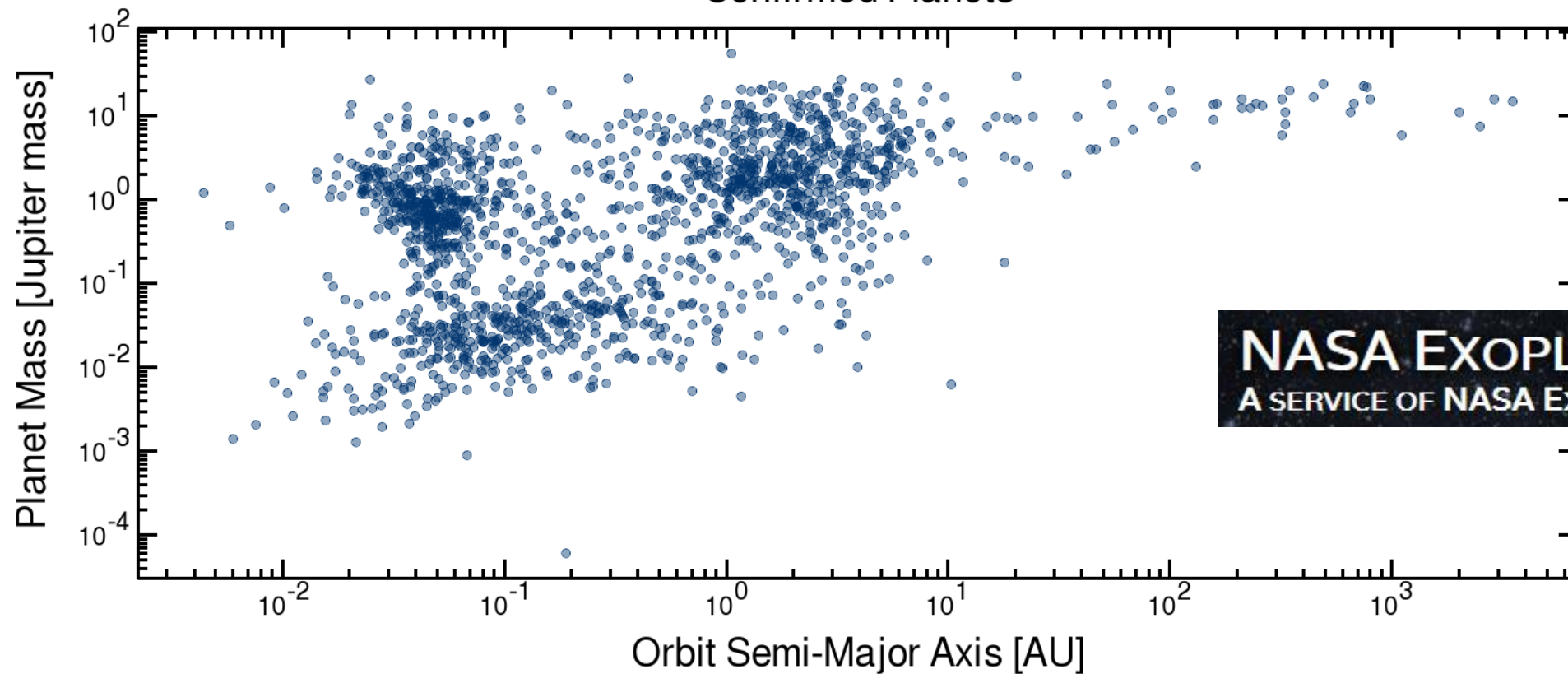
В 2015 г. впервые экзопланетам присвоили имена. Сейчас запускается новый этап присуждения имен.

Какая экзопланета была открыта первой?

- Первая надежно подтвержденная планета, вращающаяся вокруг другой нормальной звезды (51 Пегаса), была открыта в 1995 году Майором и Кело. В результате конкурса имён МАС планета получила название Димидий (Dimidium)
- Однако еще в 1992 году надежнейшее обнаружение планеты было сделано Вольцшаном и Фрейлом, но вращалась она вокруг ... радиопульсара!
- В 1988 году появилась работа Кэмпбелла и др., в которой говорилось о планетном кандидате, но надежно подтвердить его удалось только в 2003 году.
- Наконец, в 1989 году Латам и др. открыли спутник одной из звезд, у которого долгое время масса была оценена недостаточно точно, чтобы сказать, планета это или бурый карлик. Теперь мы знаем – что это бурый карлик (1910.07835).

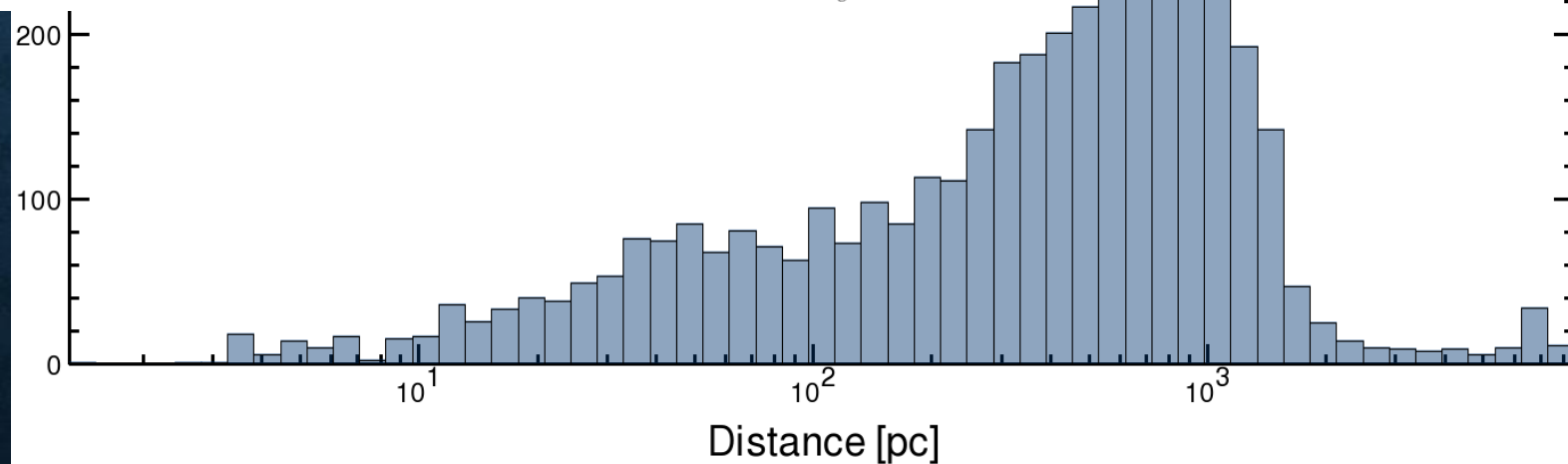


Confirmed Planets

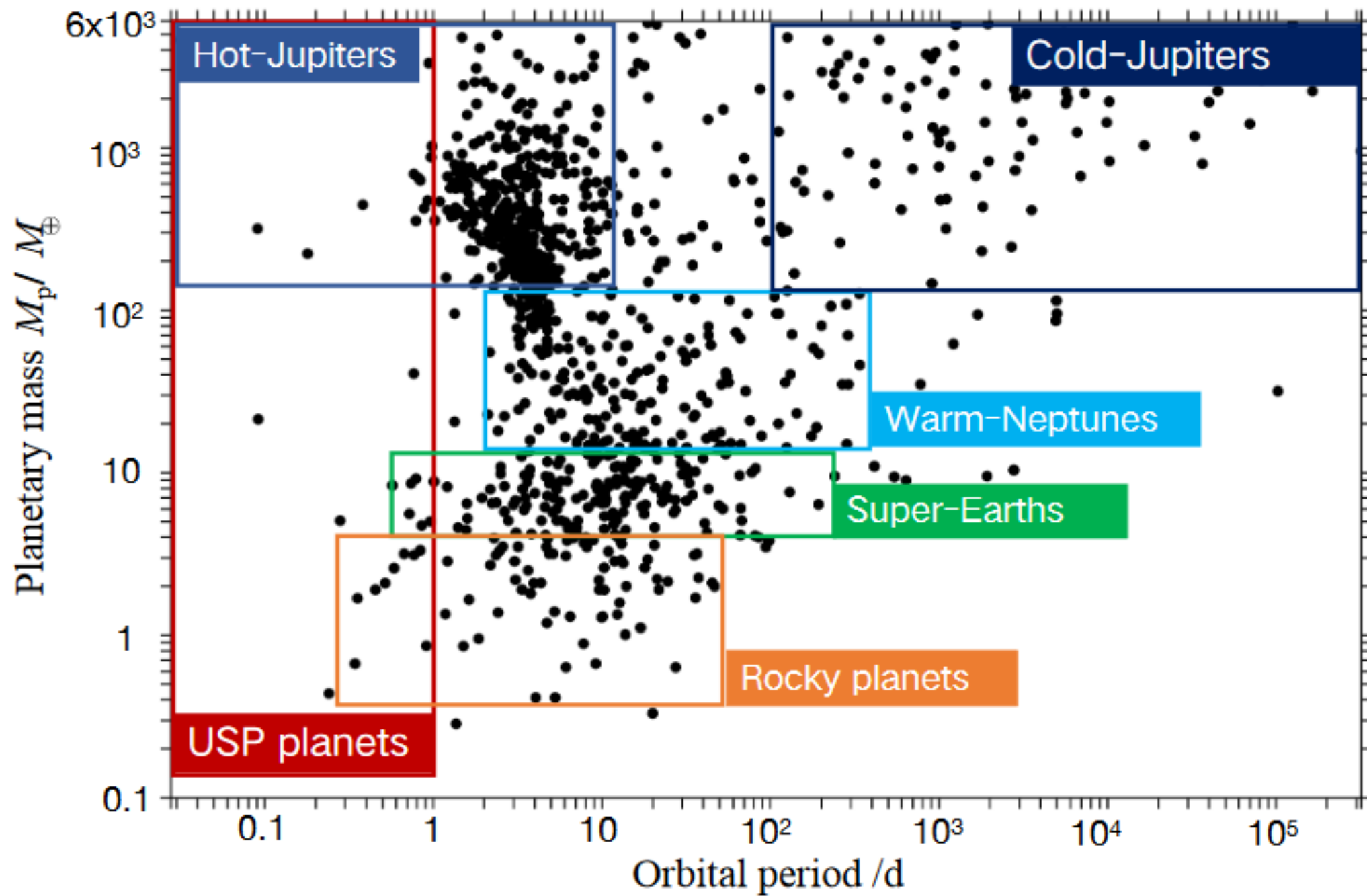


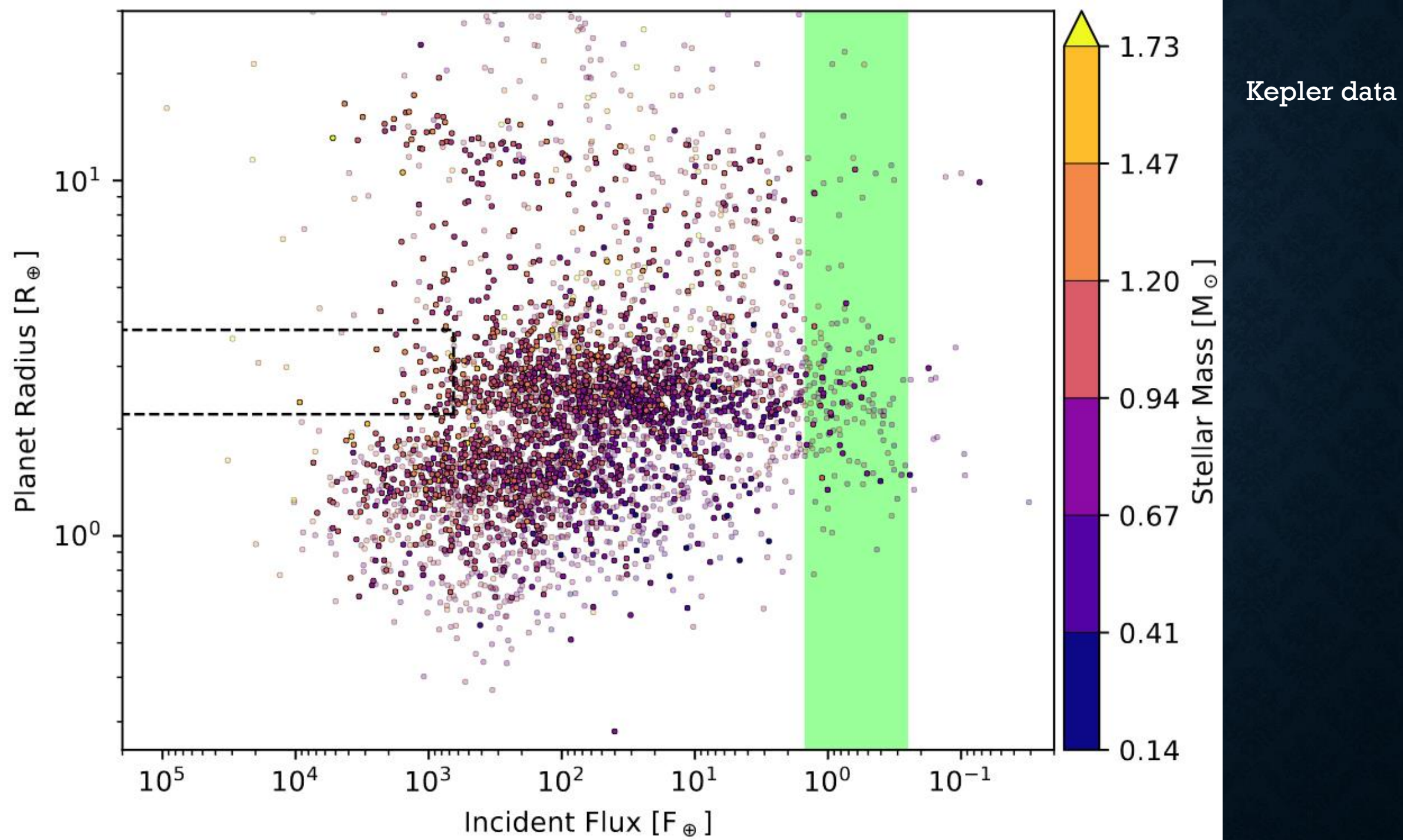
NASA EXOPLANET ARCHIVE
A SERVICE OF NASA EXOPLANET SCIENCE INSTITUTE

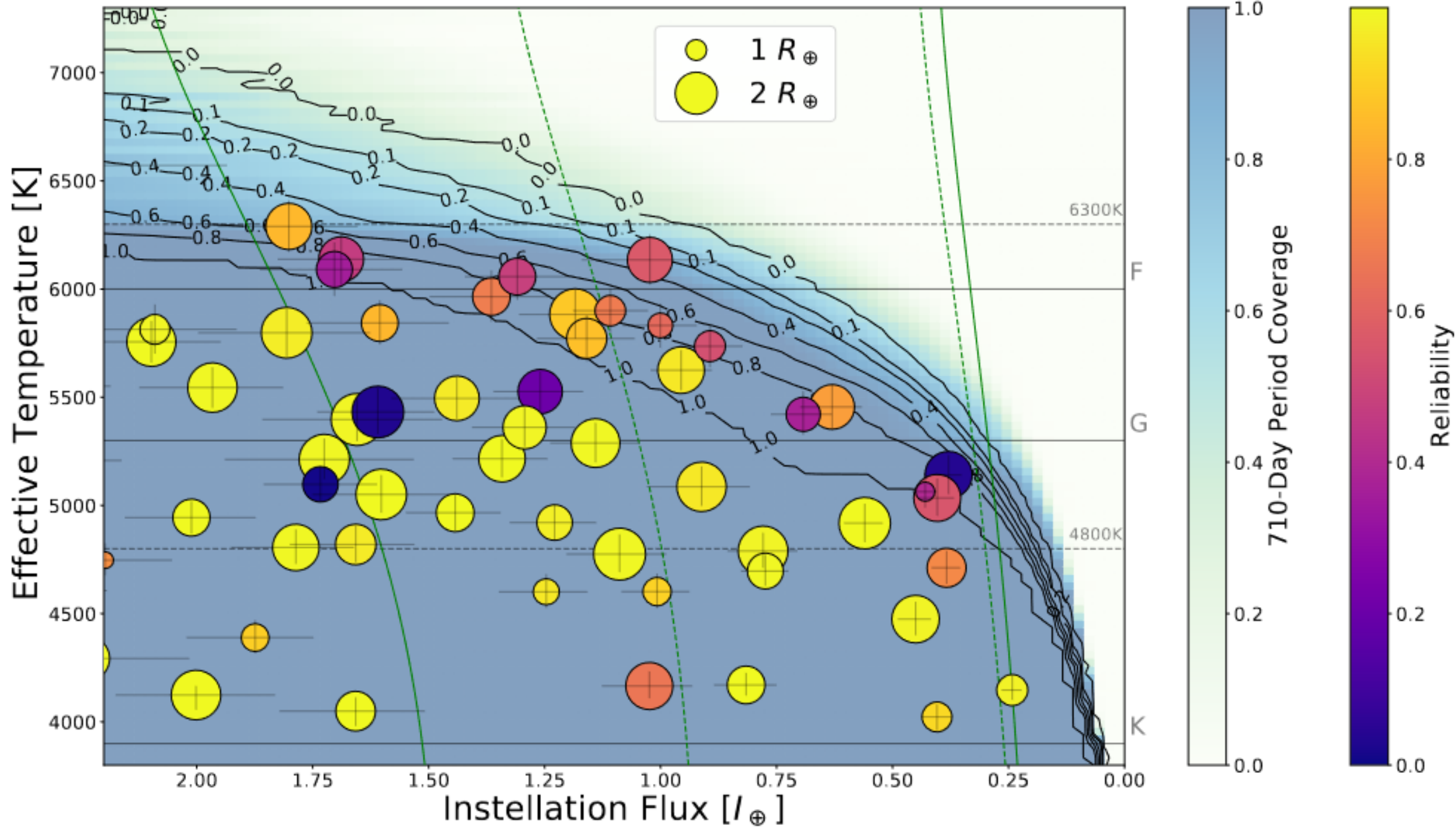
exoplanetarchive.ipac.caltech.edu



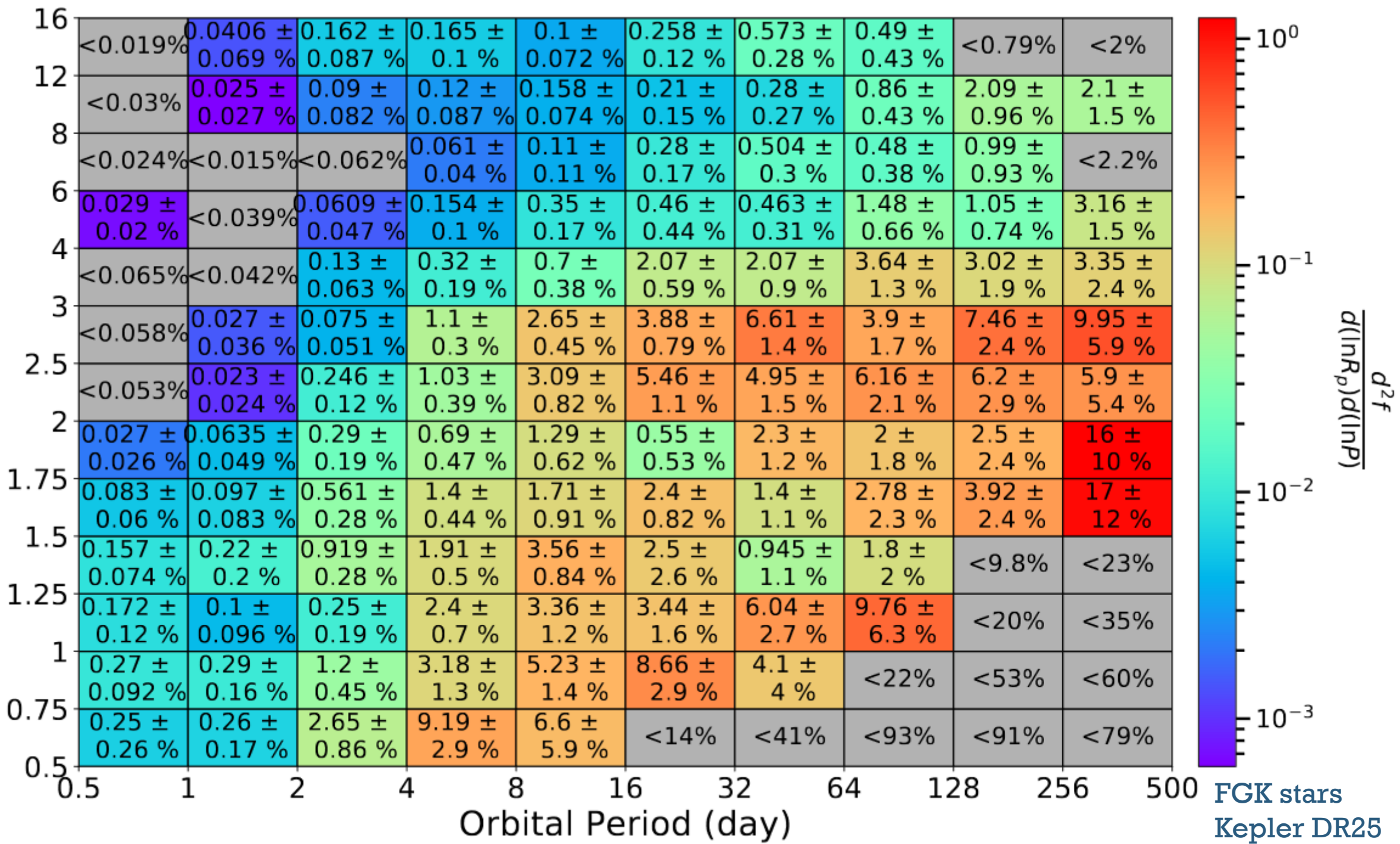
Sun Aug 28 03:57:46 2022

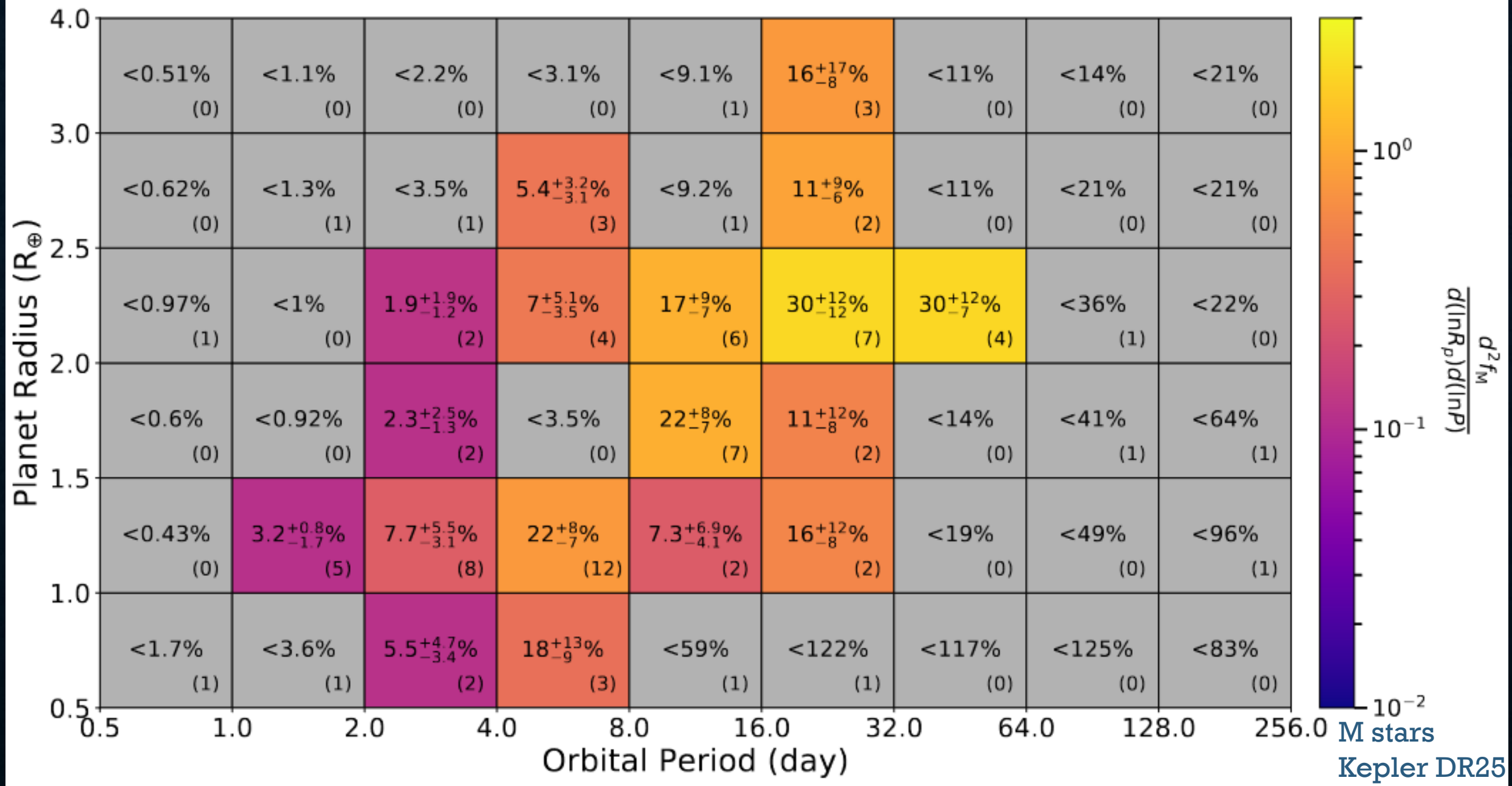






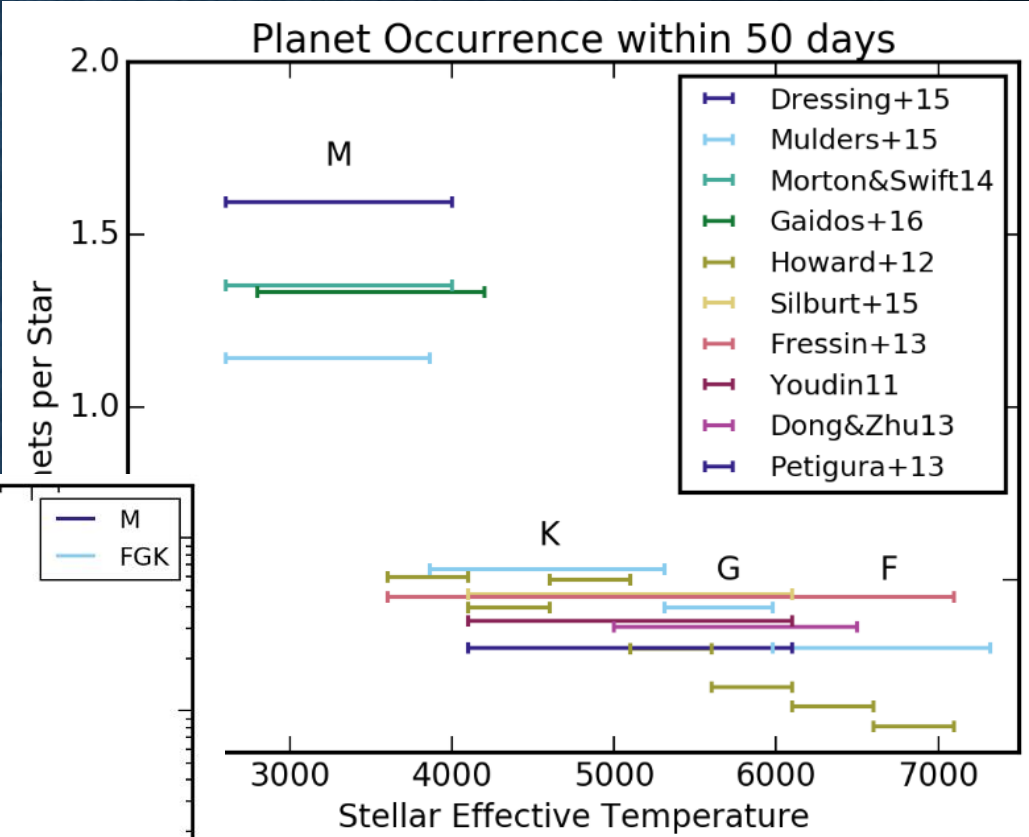
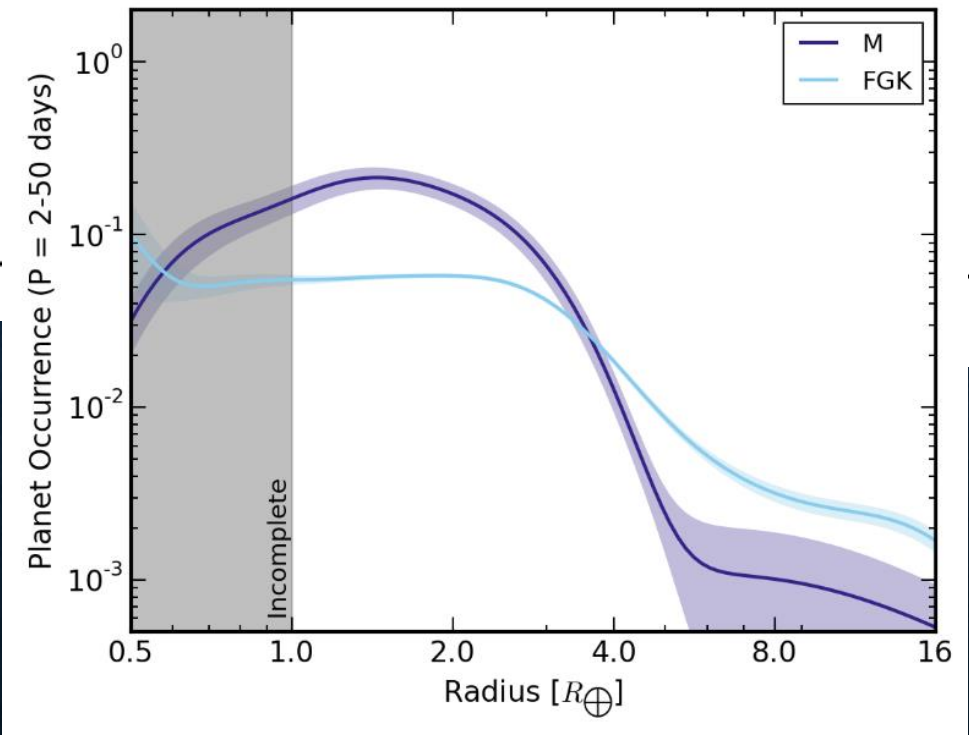
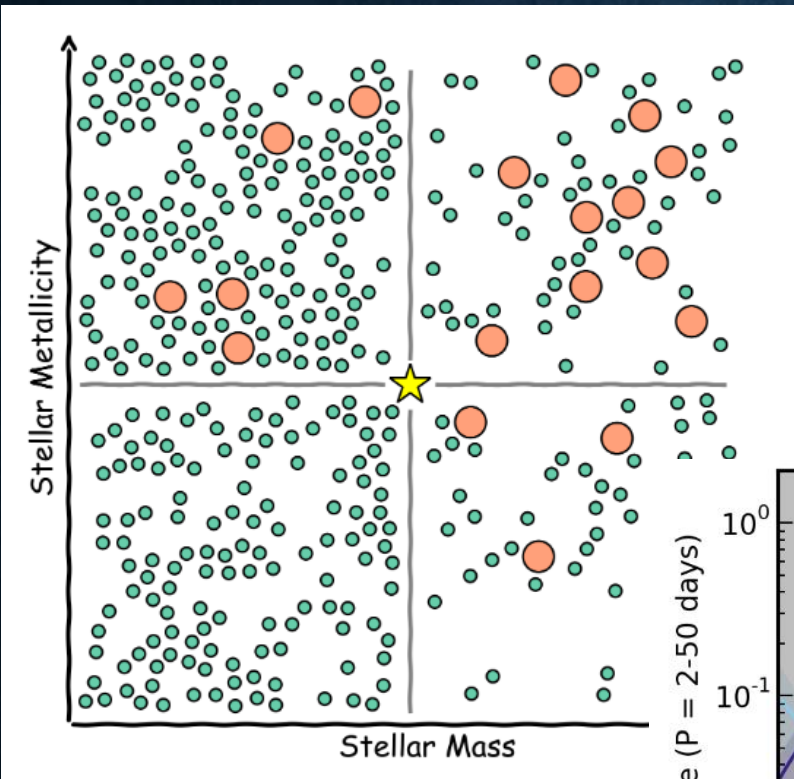
Planet Radius ($R_{\oplus}$)



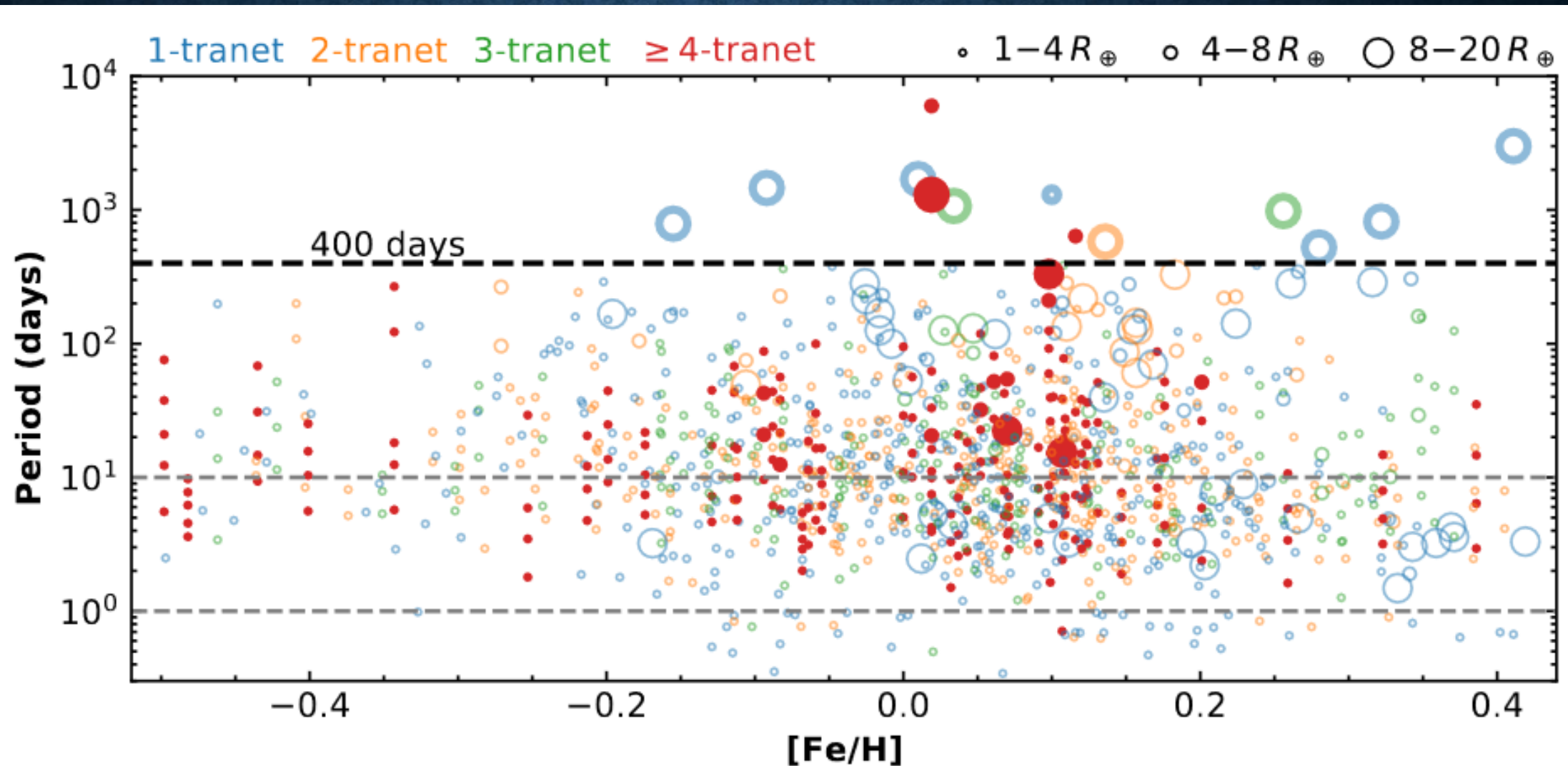


ЗАВИСИМОСТЬ СВОЙСТВ ПЛАНЕТ ОТ ИХ ЗВЕЗД

1805.00023



РОЛЬ МЕТАЛЛИЧНОСТИ



Данные
Кеплер
(кроме
«толстых
бубликов»
на >400 днях)
2103.02127

ТОЛСТЫЙ И ТОНКИЙ

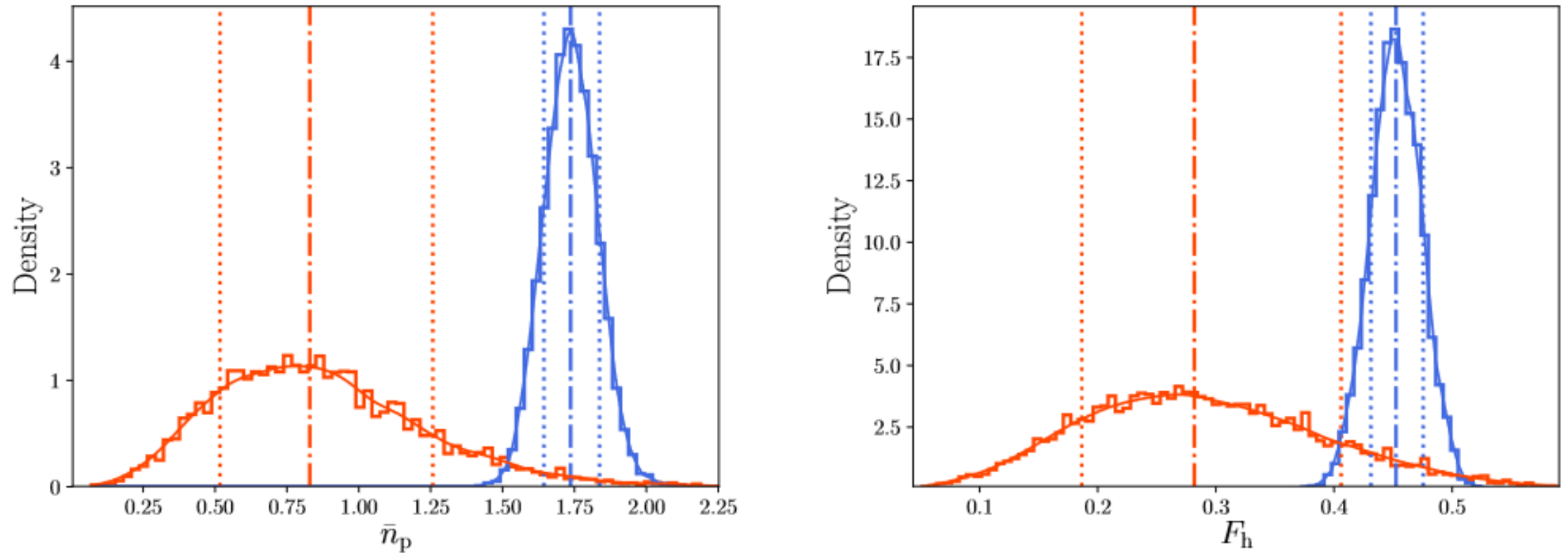
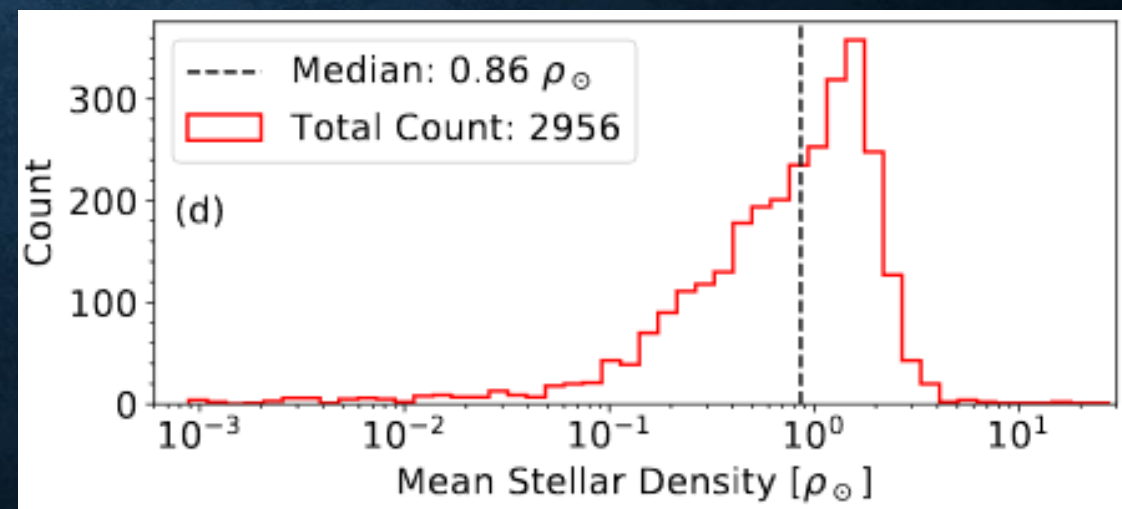
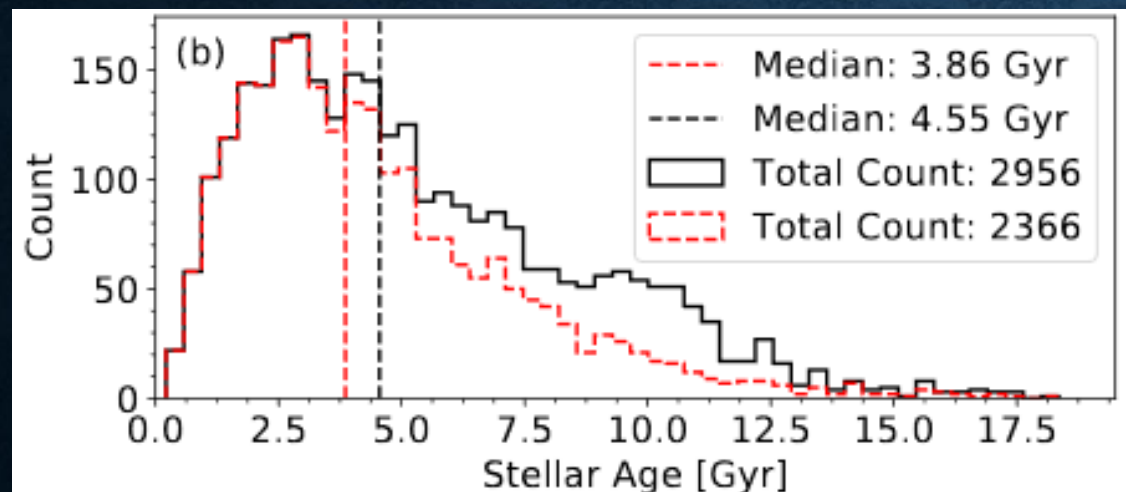
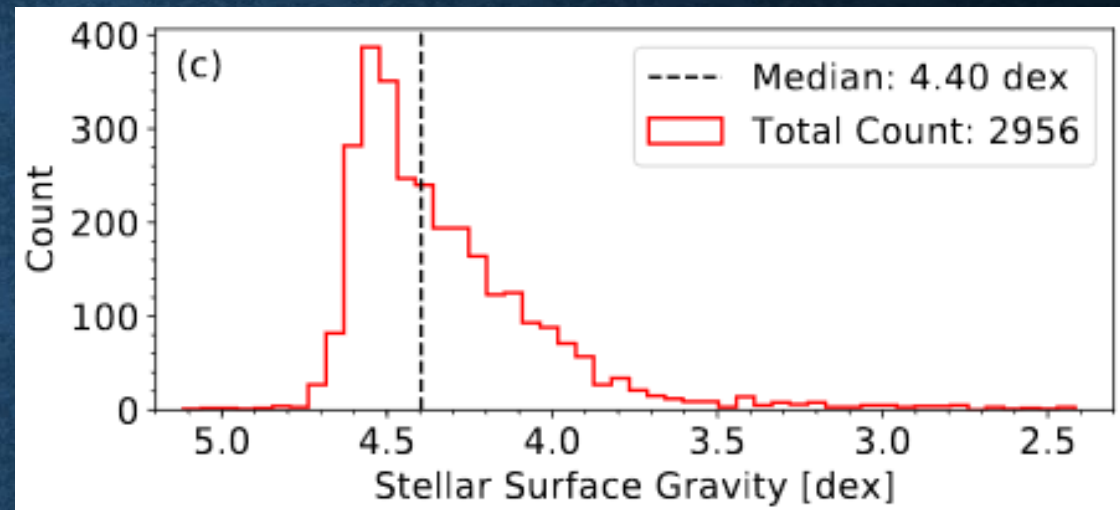
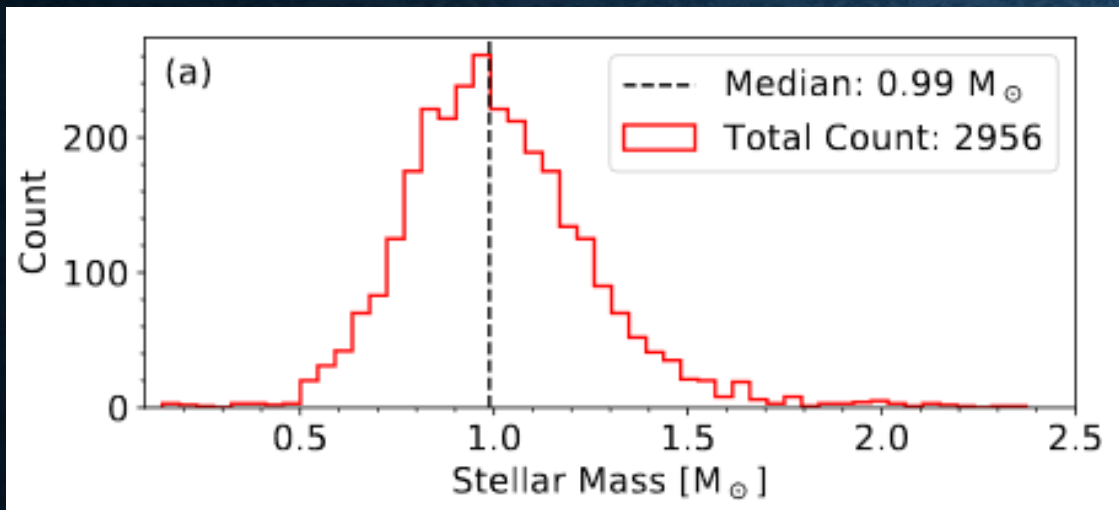


Figure 5. Same as Fig. 4 but for $R_p = 0.5 - 10 R_\oplus$, $P = 3 - 300$ days.

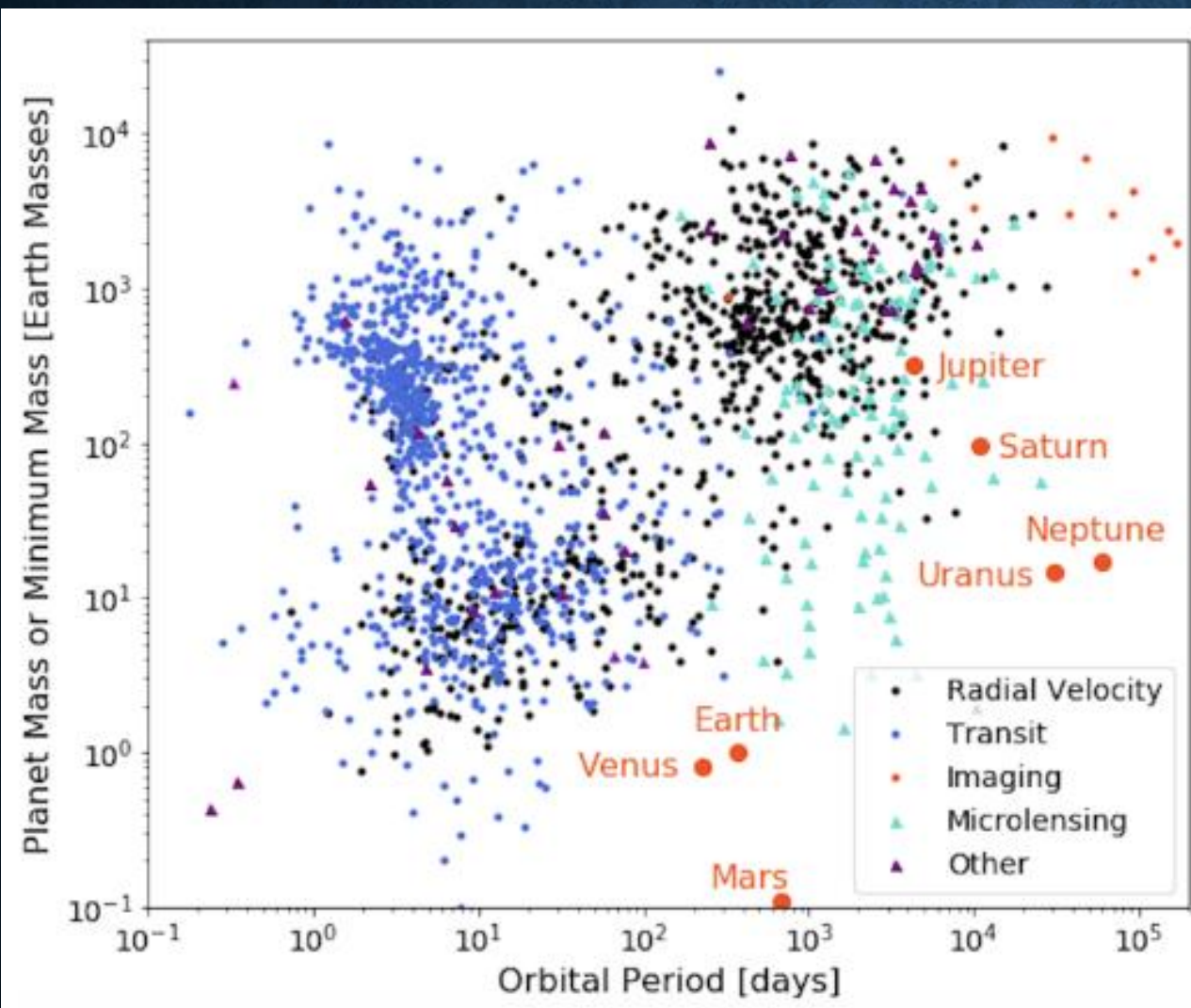
Показано распределение частоты встречаемости (слева) и распределение звезд с планетами (Справа) для толстого (красный) и тонкого (синий) диска.

Статистика для планет с радиусом 0.5-10 земных и орбитальными периодами 3-300 дней.

ДАННЫЕ GAIA И KEPLER ВМЕСТЕ

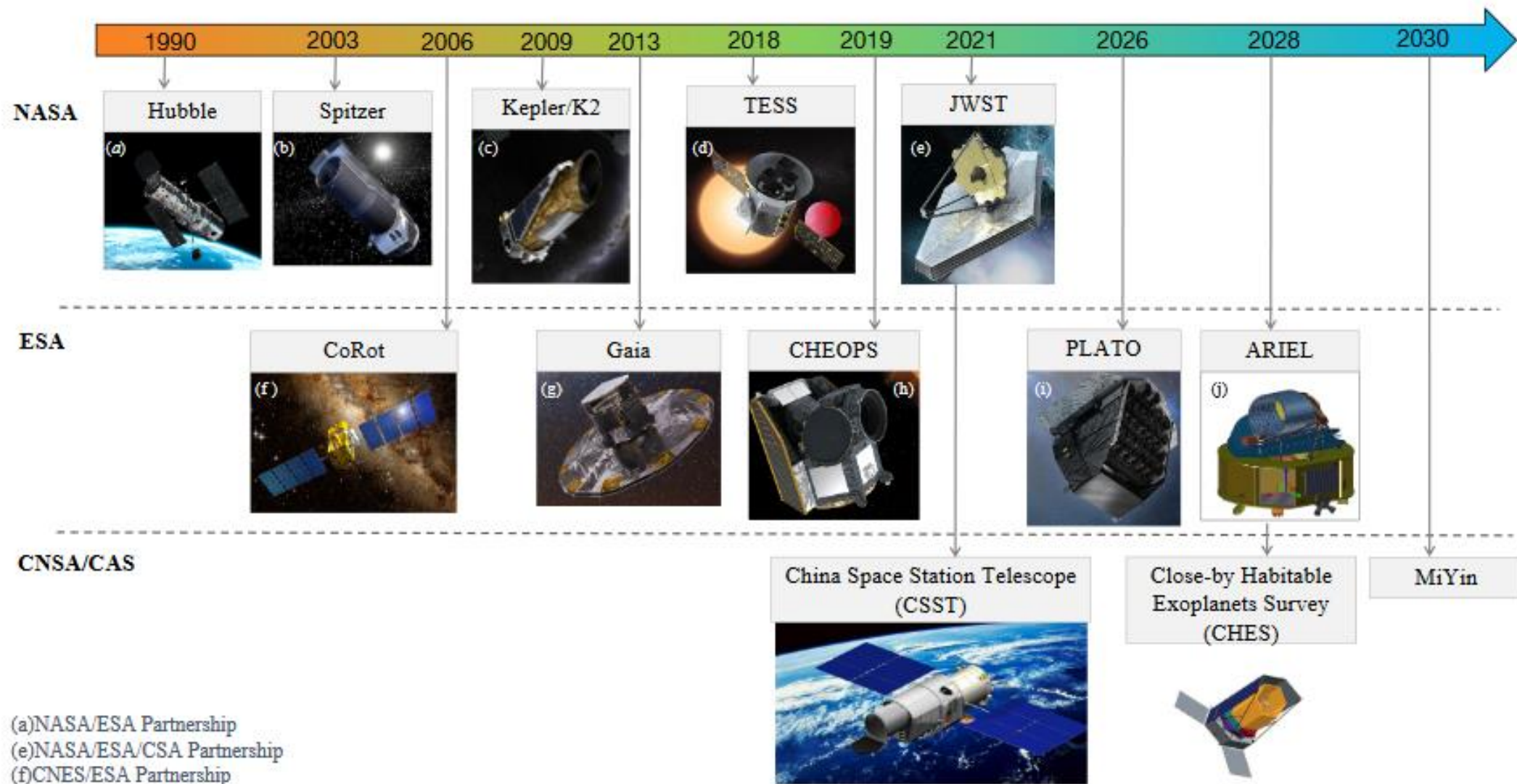


СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РЕГИСТРАЦИИ



Различные методы дополняют друг друга, поскольку пока чувствительны к планетам с разными параметрами.

ИСТОРИЯ СПУТНИКОВ



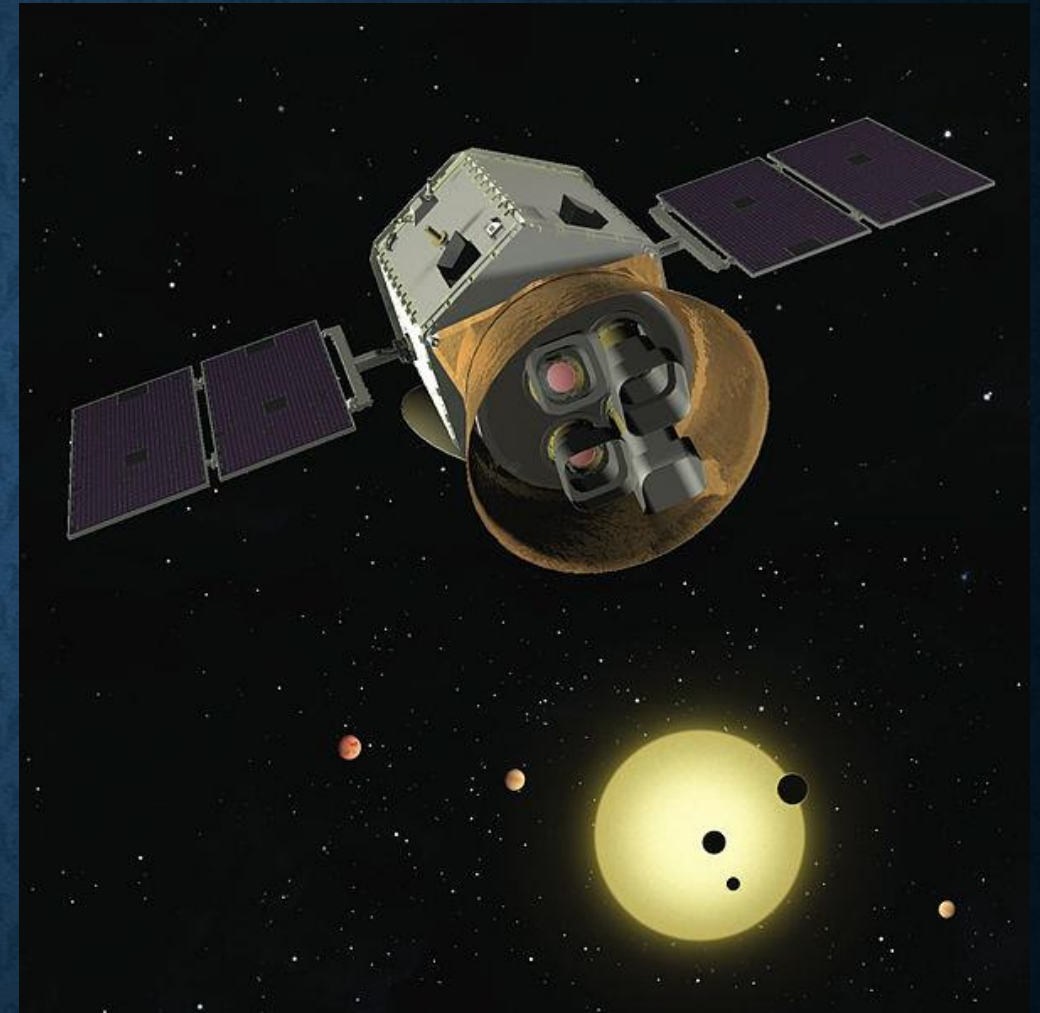
TESS

Поиск транзитных экзопланет
у близких (ярких) звезд.

Ожидается, что будут открыты
каменные планеты в зонах обитаемости,
которые потом можно будет
изучать на JWST.

Примерно полмиллиона звезд классов G и K

За несколько работы уже открыто
множество планет и есть >5000 кандидатов.

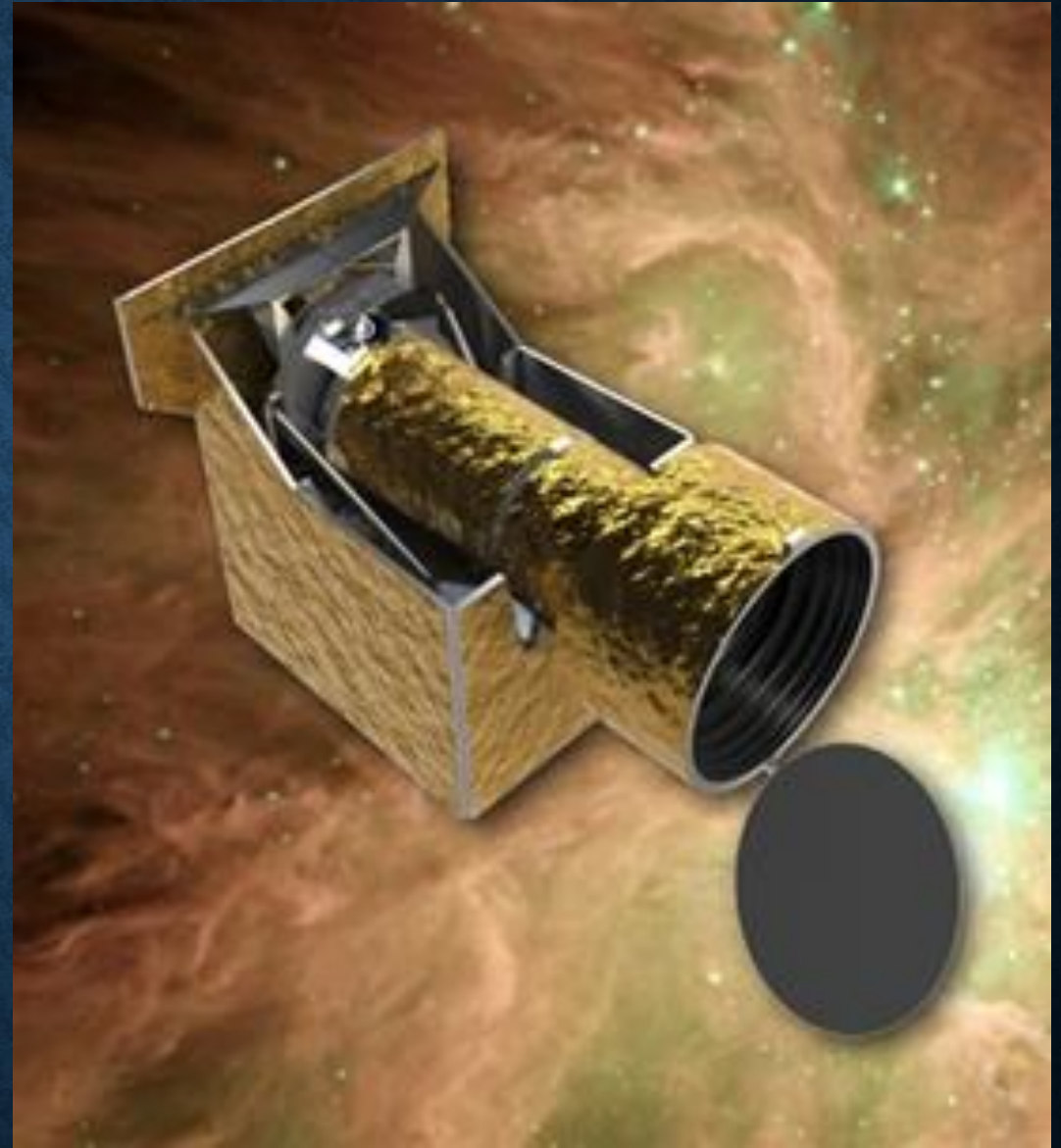


Transiting Exoplanet Survey Satellite

NASA, 2018

CHEOPS

Небольшой спутник для определения радиусов экзопланет у близких звезд, для которых с помощью наземных телескопов уже получены оценки массы.

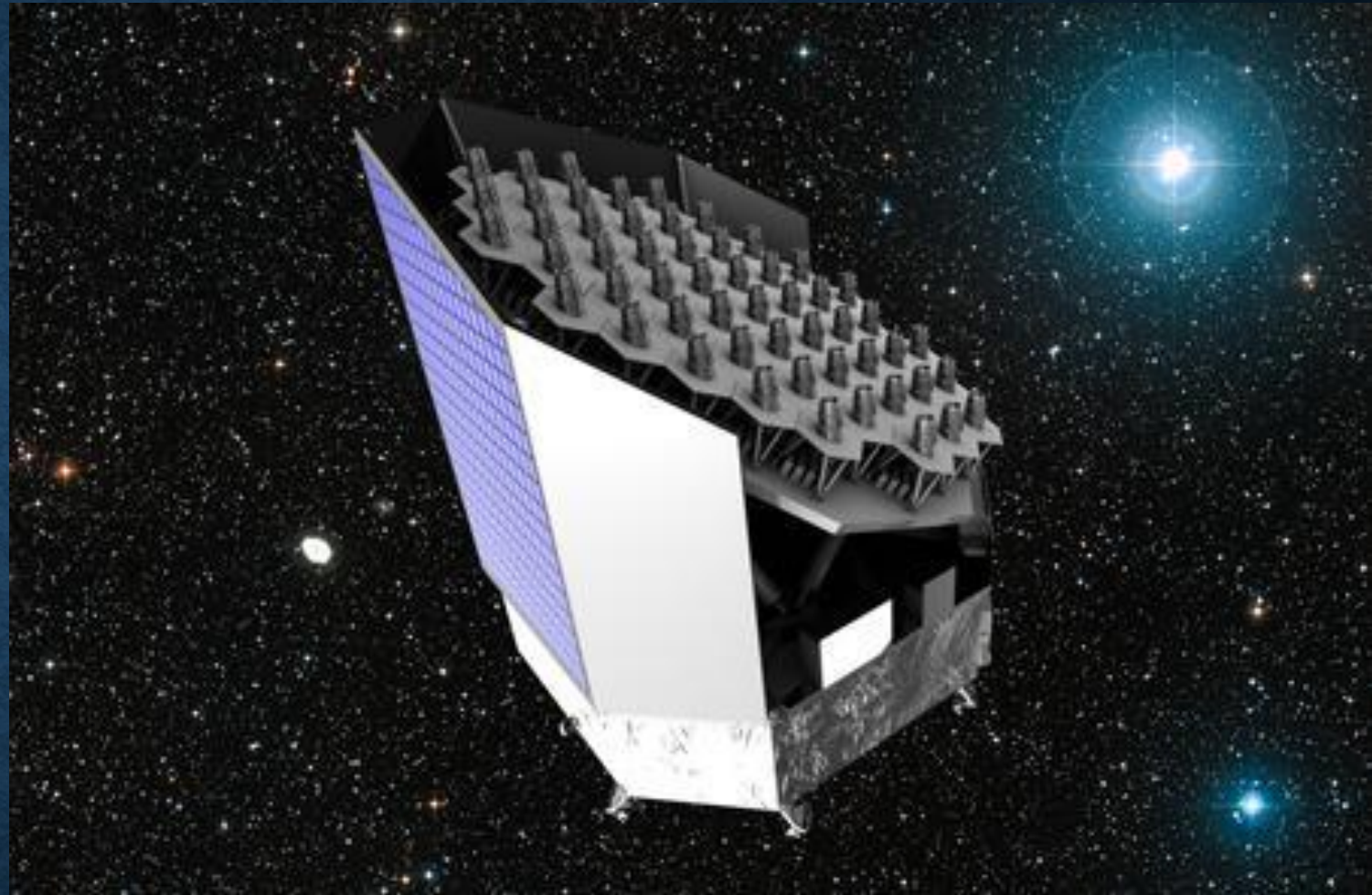


CHaracterising **ExO**Planets Satellite

ESA, 2019

PLATO

С помощью 34 небольших телескопов
будет проведен поиск планет
типа Земли у миллиона звезд.



Planetary Transits and Oscillations of stars

ESA, 2026

Nancy Grace Roman Telescope (WFIRST)

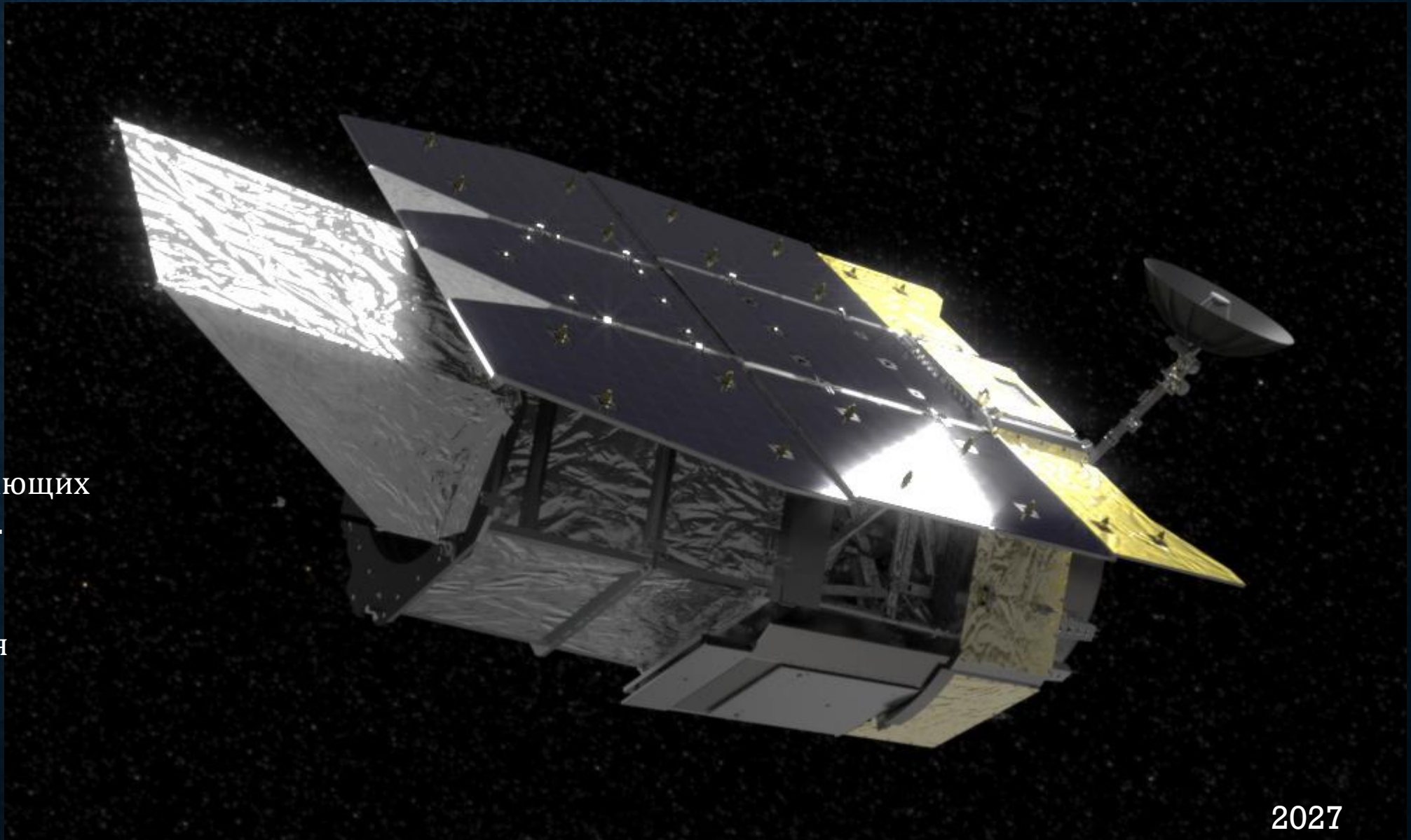
NASA

2.4 метра

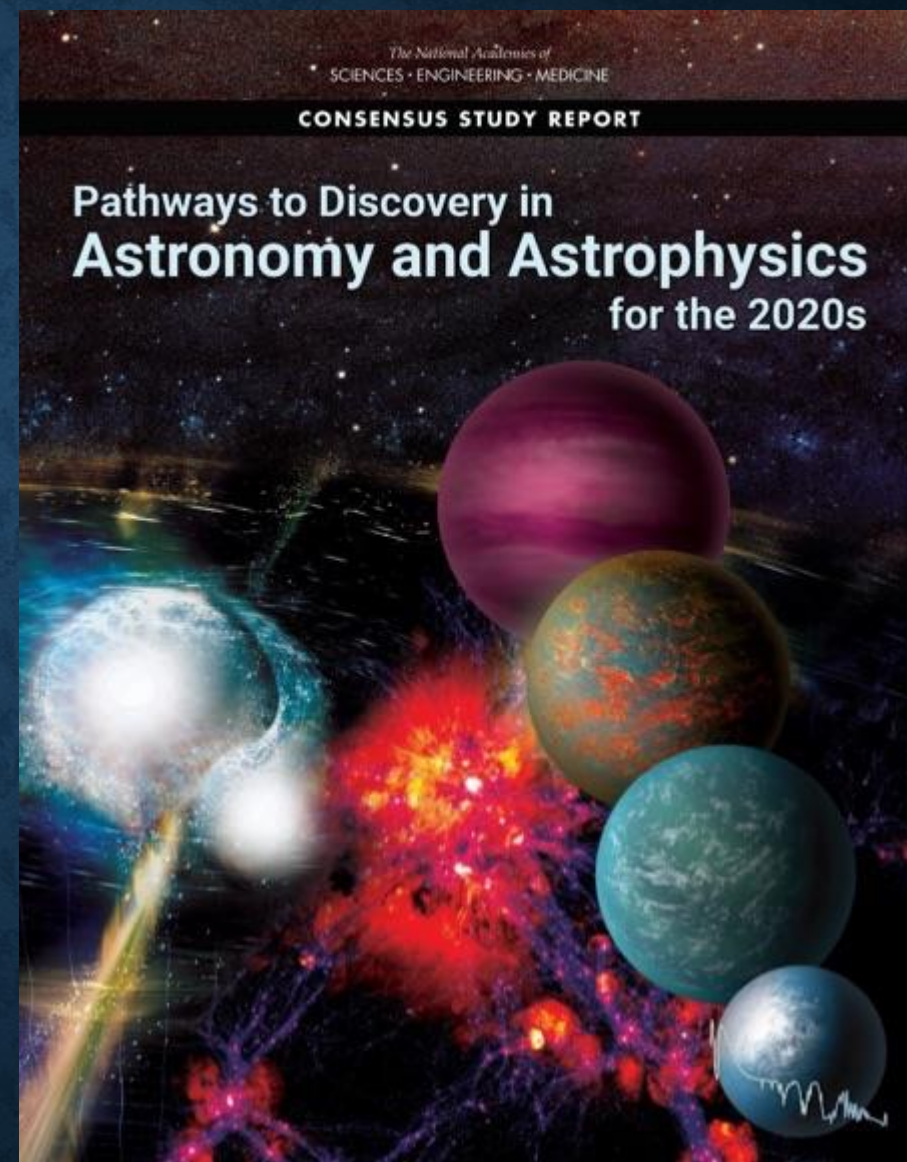
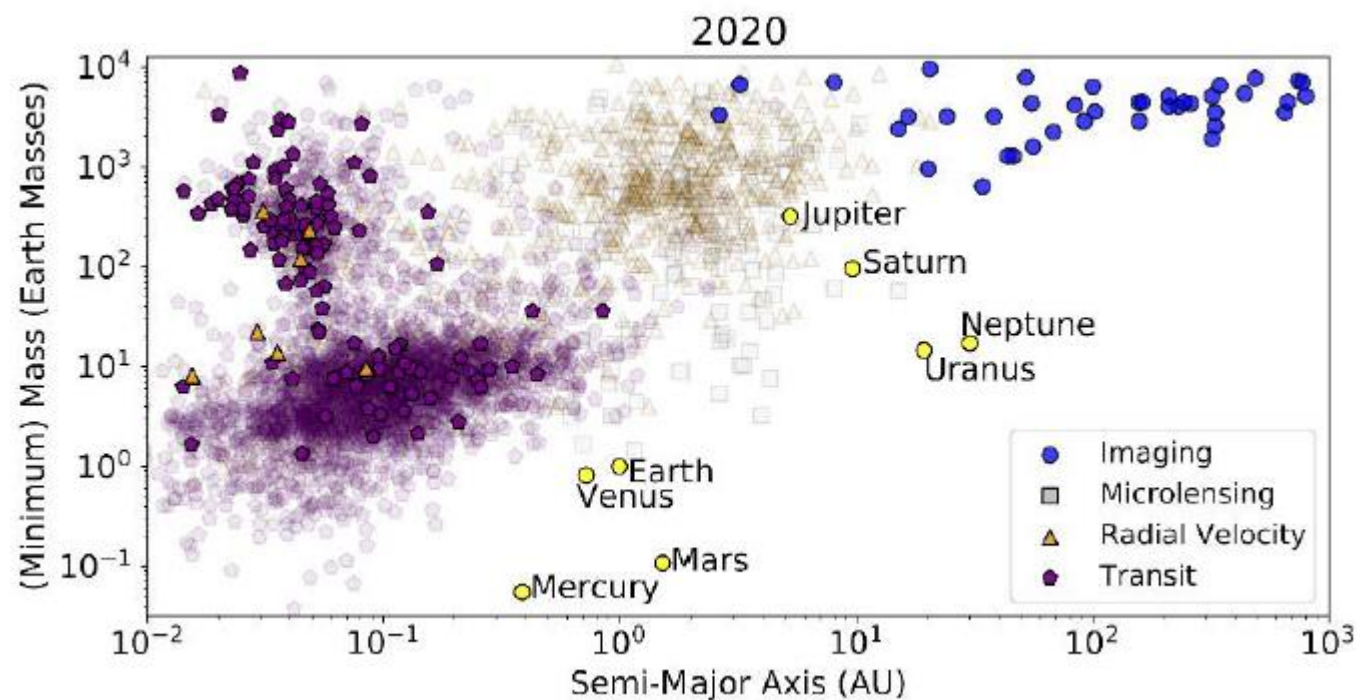
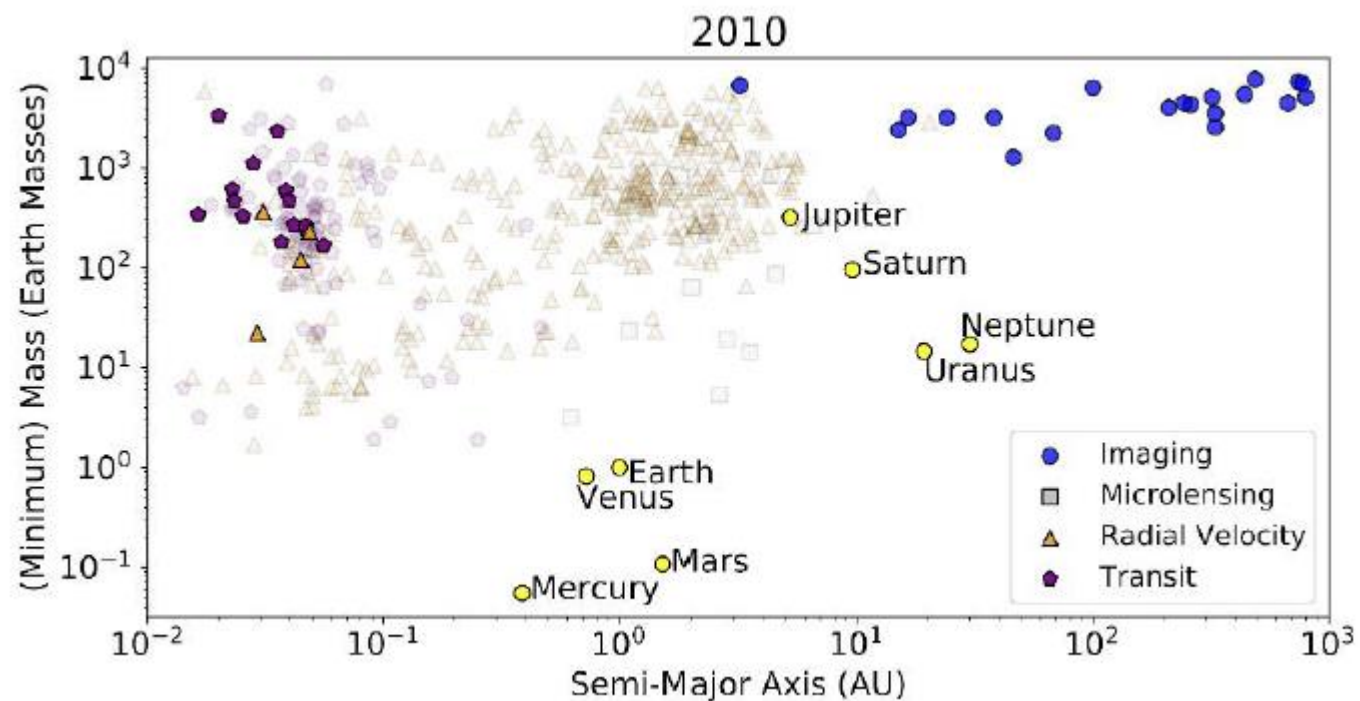
Поиск экзопланет
по наблюдений
гравлинзирования.

В частности,
будет открыто
много свободно летающих
планет малой массы.

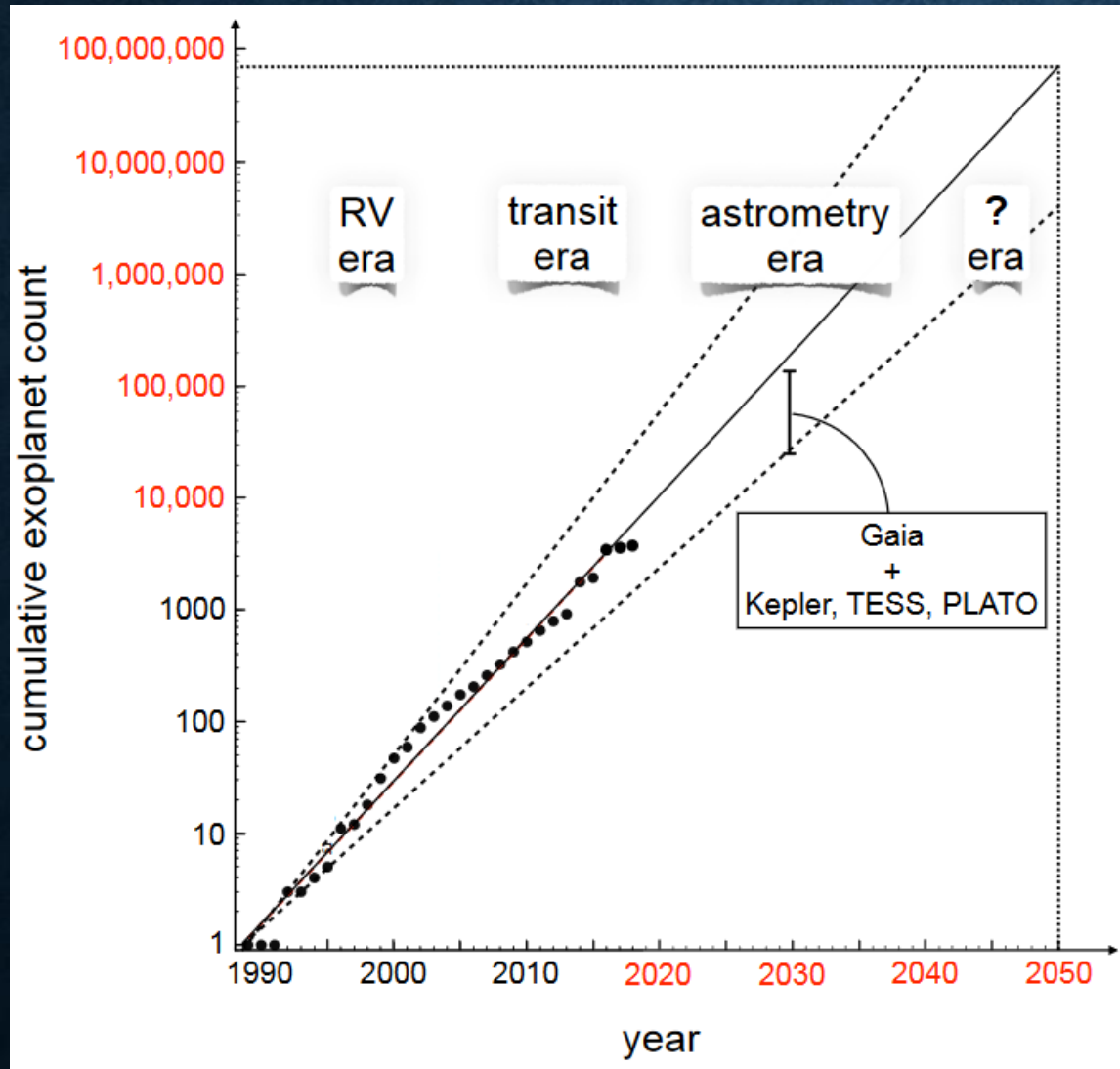
Коронограф для
детального изучения
экзопланет.



2027



СКОЛЬКО ОТКРОЕМ?



В ближайшем будущем большое прибавление будет связано с **GAIA**. Затем – с **PLATO**. Затем, вероятно, **WFIRST** даст много интересных планет с большими орбитальными периодами (аналоги Урана и Нептуна).

Постепенное обнаружение большого числа планет с **РАЗНЫМИ** параметрами позволит понять, как формируются и эволюционируют планетные системы.

ARIEL

~1-метровый телескоп.

Одновременное
исследование
~1000 транзитных
планет в
оптическом и ИК-
диапазонах.

Изучение атмосфер.

См., например,
[arXiv: 2104.04824](https://arxiv.org/abs/2104.04824)



ELT

Этот инструмент сможет внести большой вклад в изучение экзопланет.

Уже запланировано, что на нем будет стоять несколько специальных инструментов.

Можно будет непосредственно регистрировать планеты земного размера.

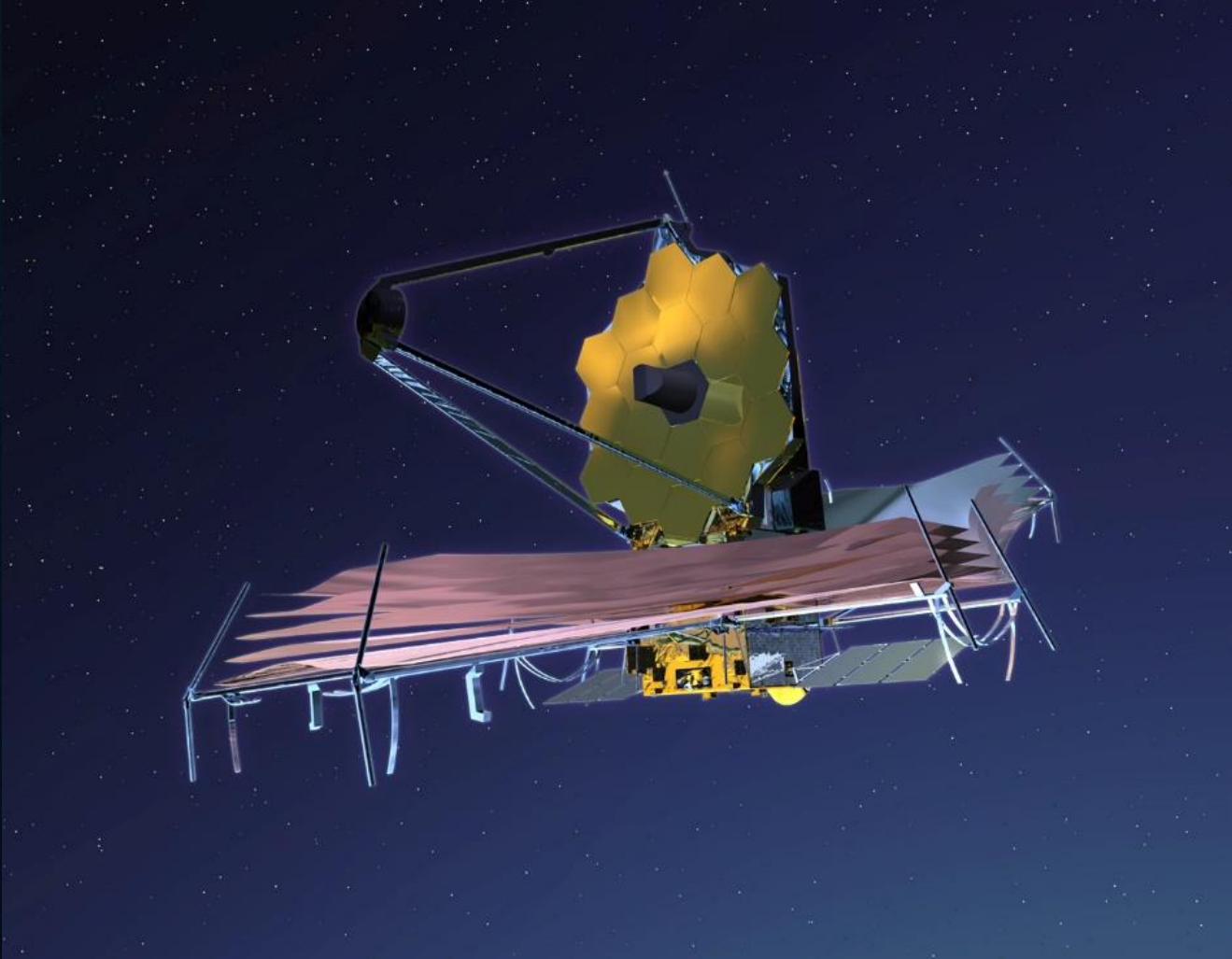
Для более крупных планет будет возможно получать хорошие спектры атмосфер.



Эффективный размер - почти 40 метров
Европейская южная обсерватория (ESO).
Пустыня Атакама, Чили.
Планируемые сроки первого света – 2027 г.

European Extremely Large Telescope

James Webb Space Telescope (JWST)



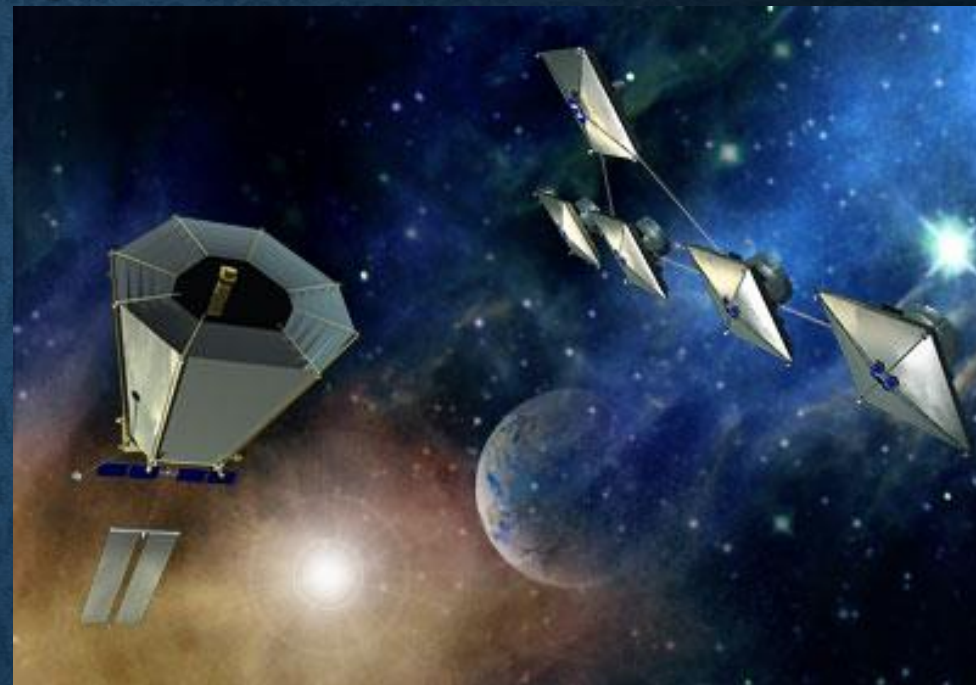
Инфракрасный диапазон.

Раскладывающееся зеркало
6.5 метра

Далекое будущее



Darwin



Terrestrial Planet Finder

Космические коронографы и космические интерферометры для детального исследования атмосфер планет типа Земли в зонах обитаемости на орбитах вокруг планет типа Солнца в наших окрестностях.

LITERATURE

- Demographics of exoplanets. 2011.04703
- Exoplanet statistics and theoretical implications. 2103.02127
- The Demographics of Wide-Separation Planets. 2102.01715