

**М.Н. Рытикова** (ГГУ имени Ф.Скорины, Гомель)  
Науч. рук. **Г.Ю. Тюменков**, канд. физ.-мат. наук, доцент

## **О ТВЁРДЫХ ЭКЗОПЛАНЕТАХ В ЗОНЕ ОБИТАЕМОСТИ ПО КРИТЕРИЮ БЛЕСКА МАТЕРИНСКОЙ ЗВЕЗДЫ**

Впервые экзопланета, обращающаяся вокруг похожей на Солнце звезды главной последовательности была открыта в 1995 году. Её назвали 51 Peg b. С тех пор количество обнаруженных экзопланет экспоненциально растет с каждым годом и на сегодняшний день достоверно подтверждено наличие 2111 экзопланет в 1354 планетных системах, из которых в 510 имеется более одной экзопланеты. Количество же экзопланет в нашей Галактике (Млечный путь) в настоящее время оценивается более чем в 100 миллиардов, из которых от 6 до 23 миллиардов могут являться похожими на Землю. Также около 37% схожих с Солнцем звезд могут иметь в обитаемой зоне планеты, сравнимые с нашей.

Для изучения возможности попадания в зону обитаемости и расчета некоторых связанных с этим фактом физических характеристик экзопланет выберем систему TRAPPIST-1, которая была обнаружена с помощью роботизированного 0,6-метрового телескопа TRAPPIST (Transiting Planets and Planetesimals Small Telescope), расположенного в обсерватории ESO в Ла-Силья в Чили. Эта система является одной из ближайших к Солнечной системе с расстоянием 39,5 св. лет, она содержит 7 экзопланет и располагается в созвездии Водолея рядом с эклипстикой. Данная экзопланетарная система является очень компактной и сформирована вокруг небольшой красной звезды.

Близость системы определяет достаточную достоверность средних значений масс и радиусов экзопланет, хотя погрешности очень велики и колеблются от 26% до 85% по массе и от 3,2% до 4,5% по радиусу [1]. К тому же, данные о массе экзопланеты h отсутствуют вообще. Но приведенная информация позволяет рассчитать некоторые механические характеристики экзопланет [2], не менее существенные для решения данной проблемы, например, подобрать землеподобную структуру функции распределения плотности. И тем самым доказать её твердость и схожесть с планетами земной группы. Известны лишь средние значения плотностей  $\langle \rho \rangle$ , определяемые условием

$$\langle \rho \rangle = 3M/4\pi R^3, \quad (1)$$

к тому же выраженные через среднюю плотность Земли, а не их предельные значения, необходимые для моделирования функций  $\rho(r)$ , согласно [3]. Поэтому для моделирования оценочных функций плотности используем дополнительные допустимые приближения:

- рассматриваем  $\langle \rho \rangle$  как среднеарифметическую, тогда

$$\rho_0 = 2\langle\rho\rangle - \rho(R); \quad (2)$$

- поверхностную плотность  $\rho(R)$  экзопланеты считаем равной средней поверхностной плотности планет земной группы, то есть равной  $2975 \text{ кг/м}^3$ ;

- относительные толщины  $H$  трёх структурных слоев экзопланет также приравниваем относительным толщинам, усредненным только по Венере и Земле [4], так как Меркурий и Марс имеют значительно меньшие массы, поэтому  $H_{\text{ЯДРА}} = 0,49R$ ;  $H_{\text{МАНТИИ}} = 0,49R$ ;  $H_{\text{КОРЫ}} = 0,02R$ .

Теперь, используя имеющиеся данные применительно к условиям (1) – (2) и с модельными функциями плотности из работы [3], получаем оценочные значения масс, лучшие из которых приведены ниже в Таблице 1.

Таблица 1 – Оценочная расчетная масса экзопланеты с учетом предполагаемой слоистой структуры

Экзопланета	Оценочная расчетная масса (в массах Земли)			
	II-I-II	II-II-I	I-III-IV	III-I-IV
b	0,841	---	---	---
c	---	1,295	---	---
d	---	---	0,422	---
e	---	---	---	0,609
f	---	---	0,670	---
g	---	1,345	---	---

Они отклоняются от средних значений [1] следующим образом:

- на 1% ниже у “b” (II-I-II);
- на 1,1% ниже у “c” (II-II-I);
- на 1% выше у “d” (I-III-IV);
- на 1,8% ниже у “e” (III-I-IV);
- на 1,5% ниже у “f” (I-III-IV);
- на 0,3% выше у “g” (II-II-I).

Видно, что наилучший результат получен для экзопланеты “g”. Прочие результаты также достаточно хороши и также согласуются с результатами для планет земной группы [3]. Следовательно, можно констатировать, что первые шесть из семи планет системы являются твёрдыми землеподобными.

Следующим шагом является определение блеска материнской звезды у поверхностей экзопланет, значение которого для зоны обитаемости должно по современным представлениям изменяться в пределах от  $2435 \text{ Вт/м}^2$  до  $445 \text{ Вт/м}^2$  [4]. Характеристики самой звезды следующие:  $M = (0,0802 \pm 0,0073) M_{\odot}$ ;  $R = (0,121 \pm 0,003) R_{\odot}$ ;  $T = (2559 \pm 50) \text{ К}$ . При

этом для нас важнейшей является светимость  $L=(0,000524 \pm 0,000034) L_{\odot}=2 \cdot 10^{23}$  Вт. Искомый же блеск звезды  $E$  определяется соотношением

$$E(r) = \frac{L}{4\pi r^2},$$

в котором расстояние изменяется в пределах погрешности, заданной в [1,5].

Результаты расчетов блесков и сопоставление их с блесками зоны обитаемости приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Изменение блеска звезды у поверхности экзопланет

экзопланета	блеск в перцентре	блеск в апоцентре	попадание в зону обитаемости
<i>b</i>	5496 Вт/м <sup>2</sup>	5433 Вт/м <sup>2</sup>	нет
<i>c</i>	2892 Вт/м <sup>2</sup>	2903 Вт/м <sup>2</sup>	нет
<i>d</i>	1456 Вт/м <sup>2</sup>	1496 Вт/м <sup>2</sup>	да
<i>e</i>	845 Вт/м <sup>2</sup>	850 Вт/м <sup>2</sup>	да
<i>f</i>	490 Вт/м <sup>2</sup>	492 Вт/м <sup>2</sup>	да
<i>g</i>	329 Вт/м <sup>2</sup>	331 Вт/м <sup>2</sup>	нет
<i>h</i>	88 Вт/м <sup>2</sup>	89 Вт/м <sup>2</sup>	нет

Из данных таблицы 2 видно, что в зону обитаемости по критерию блеска материнской звезды попадают экзопланеты *d*, *e* и *f*.

Таким образом, в работе была исследована экзопланетная система TRAPPIST-1. И на основании физического критерия значения блеска материнской звезды у поверхности экзопланеты показано, что в зоне обитаемости находятся экзопланеты *d*, *e* и *f*. Данный результат находится в некотором противоречии с результатом, полученным на основании критерия температурного относящего в зону обитаемости экзопланеты *e*, *f* и *g*. По нашему мнению, блеск является более объективным фактором, связанным с материнской звездой, в отличие от температуры, которая также зависит и от наличия и характеристик атмосфер экзопланет, сведения о которых крайне недостоверны.

### Литература

1. Seager, S. Mass-Radius Relationship for Solid Exoplanets // S. Seager, M. Kuchner, C. Hier-Majumber, B. Militzer / Subjects: Astrophysics

(astro-ph); DOI: 10.1086/521346; Cite as: arXiv:0707.2895 [astro-ph] (or arXiv:0707.2895v1 [astro-ph] for this version).

2. Carroll, B.W. An Introduction to Modern Astrophysics / B.W. Carroll, D.A. Ostlie. – Pearson International Edition, 2007. – 1309 с.

3. Тюменков, Г.Ю. О моделировании радиальной функции плотности планет земной группы // Г.Ю. Тюменков, Д.А. Штромберг / Известия Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины. – 2016. – № 6(99). – С. 116 – 119.

4. Prantzos, N. On the “Galactic Habitable Zone” // N. Prantzos Space Science Reviews – 2008. – Т. 135, № 1–4. – С. 313–332. –ISSN 1572-9672. – arXiv:astro-ph/0612316. – DOI:10.1007/s11214-007-9236-9.

5. California Institute of Technology (USA) [Electronic resource] / NASA’S Jet Propulsion Laboratory. – Pasadena, CA, 2004. – Mode of access: [www.jpl.nasa.gov/solar-system/](http://www.jpl.nasa.gov/solar-system/). – Data of access: 30.09.2017.

**П.Д. Седро** (ГГТУ имени П.О.Сухого, Гомель)  
Науч. рук. **С.М. Евтухова**, канд. физ.-мат. наук, доцент

### ВОЛНЫ МАЯТНИКА

Маятник – система, состоящая из твердого тела, соединенного с некоторой неподвижной точкой с помощью стержня или нити, способное совершать механические колебания относительно этой точки. Поведение маятника зависит от таких параметров, как длина нити ( $l$ ), амплитуда ( $A$ ), период ( $T$ ) и частота ( $\nu$ ) колебаний.

Рассмотрим систему, где на опоре подвешены несколько маятников, причем длина нити каждого маятника отличается от длин нитей остальных маятников на некоторую величину. Маятники подвешены таким образом, чтобы длина нити предыдущего маятника была меньше длины нити последующего. Такая система называется «генератором волн маятников» (ГВМ) (рисунок 1). При приведении ГВМ в движение можно наблюдать эффект «бегущей волны маятников».

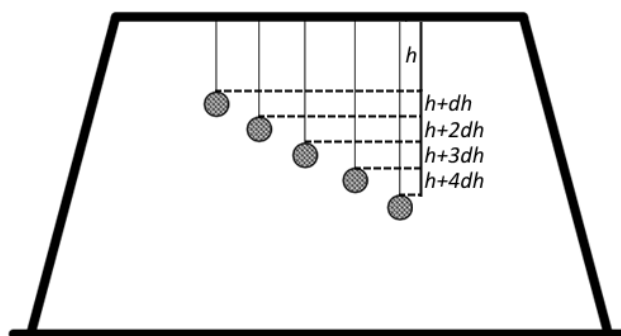


Рисунок 1 – «Генератор волн маятников»