

## Астробиология

**Роза М. Рос, Беатрис Гарсия, Алекс Коста, Флориан Зейтц,  
Ана Вильяэскуса, Мадлен Рохас**

Международный астрономический союз; Технический университет Каталонии, Испания; ITeDA и Национальный технологический университет, Аргентина; Escola Secundária de Faro, Португалия; Гейдельбергский астрономический дом, Германия; Diverciencia, Algeciras, Испания; SENACYT, Панама

### Абстракт

Семинар разделен на две части. Вводятся понятия необходимых для жизни химических элементов, проводится изучение таблицы Менделеева, соответствующее целям данной работы, рассматриваются некоторые концепции астробиологии.

### Цели

- Понять, откуда и как возникают различные элементы таблицы Менделеева.
- Понять основные характеристики внесолнечных планетных систем.
- Понять условия обитаемости, необходимые для развития жизни.
- Изучить минимальные правила жизни за пределами Земли.

### Формирование планетных систем

Когда звезда образуется из облака газа и пыли, остатки облака вокруг звезды продолжают формировать планеты. Таким же образом, как мы можем узнать состав звезды, изучая ее спектр, спектроскопия используется для определения атмосферы экзопланет.

Каждый химический элемент и каждая молекула имеют определенный и уникальный спектр. В некоторых системах планета проходит перед своей звездой. Свет звезды пройдет через атмосферу планеты и произойдет поглощение. Наблюдая световые спектры звезд экзопланетных систем, можно определить химический состав атмосфер планет (рисунки 1 и 2).

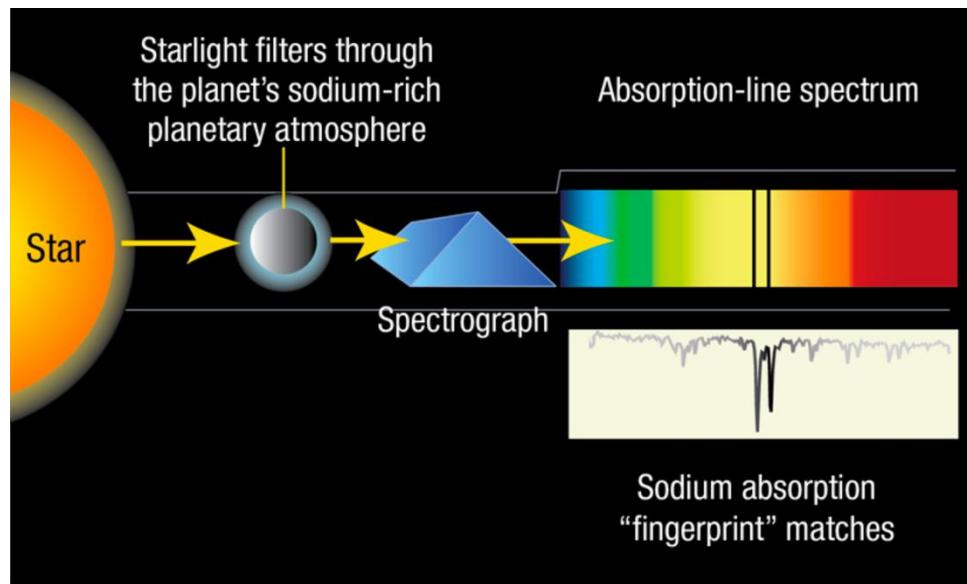


Рис. 1: Спектроскопия, примененная к исследованию атмосферы планеты HD 209458b, с обнаружением натрия в ее атмосфере. Источник: Википедия / А. Фейлд (STScI)

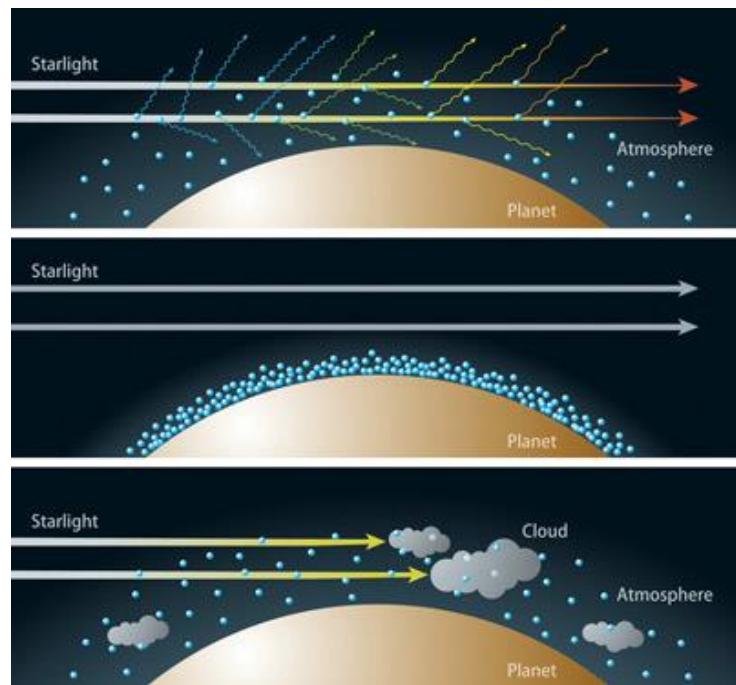


Рис. 2: Как мы узнаем, есть ли вода или другие органические молекулы в атмосфере планеты? Каждый химический элемент, каждая молекула имеет специфический и уникальный спектр. Сравнивая световые спектры звезд экзопланетных систем, мы можем обнаружить химический состав атмосферы экзопланеты, если свет в конечном итоге проходит через соответствующую атмосферу.

Но давайте рассмотрим пример формирования планетной системы с вовлечением участников в активную модель.

## Упражнение 1: Формирование планетной системы из газа и пыли

Тема этого упражнения – объяснить формирование Солнечной системы или любой планетной системы в соответствии с небулярной гипотезой Иммануила Канта (1755 г.).

Активность состоит в том, чтобы разделить класс на две группы, которые легко идентифицировать, например: группа девочек и группа мальчиков. (Можно использовать и другие критерии, но обычно это самый простой.) У каждой группы есть своя роль, девочки могут представлять газ, а мальчики – пыль (или наоборот). Если есть существенная разница в количестве участников в группах, рекомендуется, чтобы группа, представляющая газ, содержала наибольшее количество участников, поскольку в планетной системе во время формирования масса газа в 100 раз больше массы пыли.

Когда участники слушают рассказ, они динамично реагируют на то, что слышат, например:

Текст рассказа:	Действия участников:
Когда-то существовало облако из большого количества газа и немного меньшего количества пыли.	Все смеются в «облако». Большинство участников представляют газ. В «облаке» все участники случайным образом держатся за руки, образуя сеть.
Затем газ начал собираться в центре облака, а вокруг была пыль.	Участники начинают разделяться. Участники, представляющие газ, собираются (накапливаются) в центре, а участники, представляющие пыль, держатся за руки в кольце вокруг центра.
Всё интенсивно двигалось, частицы газа притягивали газ, а частицы пыли притягивали пыль.	Они начинают вращаться, двигаться, ударяться (столкиваться), дрожать, прыгать. Некоторые вылетают в результате такого большого движения, а другие «спасают», ловят, обнимают эти частицы, разделяя их (газ к газу и пыль к пыли)
В центре образовалось плотное непрозрачное ядро, окруженное диском из пыли и газа.	Те, что в центре (газ), собираются, и вокруг них участники, представляющие пыль, образуют круг, взявшись за руки. Уточнение: не весь газ находится в центре, есть газ, вынесенный за пределы круга.
Это ядро – та часть, которая в конце концов даст начало образованию Солнца или родительской звезды внесолнечной системы.	Солнце или родительская звезда начинает светить, поэтому его лучи должны быть направлены во все стороны. Уточнение: в тот момент, когда Солнце или звезда начинает светить, свободный (неплотный) газ начинает удаляться.
Некоторые маленькие планеты образованы объединением всё более и более крупных пылинок, затем камней и так далее.	Участники, представляющие пыль, которая образует планеты земной группы, начинают собираться вместе. Уточнение: не вся пыль остается с планетами земной группы, должно быть некоторое количество пыли в самых отдалённых регионах.
Планеты-гиганты образовались вдали от тепла Солнца или родительской звезды, где	Остальные участники начинают объединяться, чтобы образовать планеты-гиганты: много газа и немного пыли. Уточнение: снижение температуры из-за большего расстояния от Солнца или родительской звезды является причиной основных

газ мог беспрепятственно собираться.	различий между внутренними каменистыми планетами и внешними газовыми гигантами.
--------------------------------------	---

Таблица 1: История, объясняющая формирование планетной системы.



Рис. 3: Все смешиваются в облако. Большинство участников представляют газ. В облаке все участники берутся за руки случайным образом, как в сети, или образуют сеть.



Рис. 4: Участники расходятся. Представляющие газ собираются в центре, представляющие пыль держатся за руки вокруг остальных.



Рис. 5: Участники, представляющие пыль, образующую планеты земной группы, начинают группироваться.



Рис. 6: Остальные участники начинают собираться, чтобы сформировать планеты-гиганты: много газа и небольшое количество пыли.

## Химические аспекты звёздной эволюции

Периодическая таблица Менделеева позволяет нам понять, что элементы, из которых мы состоим, были созданы в процессе эволюции звезд.

Elements which were produced in the first minutes after the Big Bang

Elements which were forged in the interior of stars

Elements appearing in supernova explosions

Man-made elements in the laboratory

1 H																			2 He	
3 Li	4 Be																		3 Ne	
11 Na	12 Mg																		10 Ar	
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Cb	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr			
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe			
55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn			
87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fi	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og			
57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu						
89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr						

Рис.7: Периодическая таблица с точки зрения звездной эволюции.

В Периодической таблице (рис. 7) различные элементы классифицируются следующим образом:

- 1) Элементы, созданные в первые минуты после Большого взрыва. Первоначально Вселенная состояла из простейшего атома: атома водорода. Спустя некоторое время это привело к появлению более сложных элементов, таких как гелий, литий и бериллий.
- 2) Элементы, которые образуются в ядрах звезд путем нуклеосинтеза, несколько тяжелее. К ним относятся бор, углерод, азот, кислород, фтор, неон, натрий, магний, алюминий, кремний, фосфор, сера, хлор, аргон, калий, кальций, скандий, титан, ванадий, хром, марганец и железо.
- 3) Остальную часть таблицы составляют самые тяжелые элементы, образующиеся при взрывах больших сверхновых. Некоторые из них нестабильны, но могут быть воспроизведены в лабораториях.
- 4) Синтетические элементы, произведенные человеком в лаборатории и не встречающиеся в природе.

## Упражнение 2: Классификация элементов таблицы Менделеева

Ниже приведен список объектов, которые необходимо будет классифицировать по трем уровням в трех корзинах:

1. Элементы, образованные в первые минуты после Большого взрыва (Синяя корзина).
2. Элементы, образовавшиеся внутри звезд (Желтая корзина).
3. Элементы, появляющиеся при взрывах сверхновых (Красная корзина).

В одну из трех корзин (синюю, желтую или красную) необходимо поместить каждый объект из следующего списка в соответствии с его составом:

Кольцо: Gold Au	Сверло с покрытием: Titanium Ti	Газ внутри воздушного шарика: Helium He	Металлическая мочалка для посуды: Nickel Ni
Круглая батарейка: Lithium Li	Автомобильная свеча зажигания: Platinum Pt	Электрический медный провод: Copper Cu	Раствор йода: Iodine, I
Питьевая вода H <sub>2</sub> O: Hydrogen H	Старая кастрюля: Aluminium Al	Черный карандаш: Graphite C	Сера для сельского хозяйства: Sulfur, S
Банка напитка: Aluminium Al	Наручные часы: Titanium Ti	Медаль: Silver Ag	Старая водопроводная труба: Lead Pb
Точилка для карандашей: Zinc Zn	Старый ржавый гвоздь: Iron Fe	Термометр: Gallium Ga	Коробок спичек: Phosphorus P

Таблица 2: Объекты для классификации.

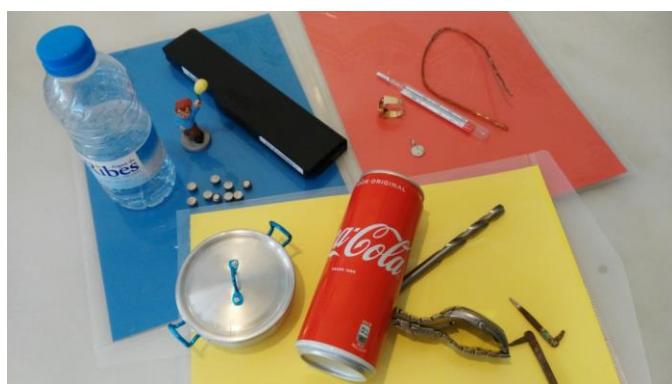


Рис. 8: Правильная классификация. В синей зоне: сотовый телефон или круглая батарейка: Литий Li; Бутылка с водой H<sub>2</sub>O: Водород; Газ внутри воздушного шарика: Гелий He. В желтой зоне: банка газированного напитка: алюминий Al; бутылка с водой H<sub>2</sub>O: кислород O. Сверло с покрытием: титан Ti; старая сковорода: алюминий Al; титановые наручные часы Ti; ржавый старый гвоздь: железо Fe; черный грифель карандаша: графит C; сера в сельском хозяйстве: сера S; спичечный коробок: фосфор P. В красной зоне: электрический медный провод: медь Cu; свечи зажигания: платина Pt; кольцо: золото Au; медаль: серебро Ag; термометр: Gallium Ga; Точилка для карандашей: цинк Zn; мочалка для кастрюль: никель Ni; раствор йода: йод I; старая водопроводная труба: свинец Pb.

## Упражнение 3: Дети звёзд

Химические элементы, которые считаются необходимыми для жизни, обладают следующими характеристиками:

- Недостаток элемента вызывает функциональные нарушения (обратимые, когда его количество возвращается к соответствующей концентрации).
- Когда организму не хватает этого элемента, он не растет и не завершает свой жизненный цикл.
- Элемент напрямую влияет на организм и участвует в метаболических процессах.
- Влияние этого элемента не может быть произведено каким-либо другим элементом.

Ниже приведен список биоэлементов, присутствующих в организме человека, в порядке их содержания.

- Самые распространённые элементы: кислород, углерод, водород, азот, кальций, фосфор, калий, сера, натрий, хлор, железо и магний.
- Микроэлементы: фтор, цинк, медь, кремний, ванадий, марганец, йод, никель, молибден, хром и кобальт.

Самые распространённые элементы						Микроэлементы						Основные элементы					
<u>H</u>																	He
<u>Li</u>	Be											<u>B</u>	<u>C</u>	<u>N</u>	<u>O</u>	<u>F</u>	Ne
<u>Na</u>	<u>Mg</u>											Al	<u>Si</u>	<u>P</u>	<u>S</u>	<u>Cl</u>	Ar
<u>K</u>	<u>Ca</u>	Sc	Ti	<u>V</u>	<u>Cr</u>	<u>Mn</u>	<u>Fe</u>	<u>Co</u>	<u>Ni</u>	<u>Cu</u>	<u>Zn</u>	Ga	Ge	<u>As</u>	<u>Se</u>	<u>Br</u>	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	<u>Mo</u>	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	<u>Cd</u>	In	<u>Sn</u>	Sb	Te	<u>I</u>	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	<u>W</u>	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac															

Рис.9: Периодическая таблица элементов, необходимых для жизни.

Не все живые существа имеют в организме одинаковые пропорции основных элементов. На рисунке 9 показаны основные элементы, а также некоторые элементы, которые можно идентифицировать как: литий, кадмий, мышьяк.

Сравнивая периодическую таблицу на рисунке 7 с таблицей на рисунке 9, вы можете увидеть, что все основные элементы (кроме водорода) были произведены внутри звезд. Мы не могли бы существовать без более тяжелых элементов, созданных звездной эволюцией. Что касается тех элементов, которые появляются только как микроэлементы – некоторые из них образовались внутри звезды, а другие – в результате взрыва сверхновой. Однако большинство из них возникает в результате реакций синтеза ядер в ядрах звезд: Мы – дети звезд! Мы сделаны из звездной пыли!!

Хотя это не основная цель данного семинара, было бы неплохо составить периодическую таблицу, в которой каждый элемент соотносится с повседневным предметом, и/или экспериментом с участием этого элемента. Это должно привести к лучшему пониманию учениками таблицы Менделеева.

## Солнце – не первое поколение звезд

Звезды первого поколения – это, по сути, водород и гелий после Большого взрыва (и некоторое количество гелия, которое они создали сами). Звезды, состоящие из более тяжелых элементов, образовались из первоначального облака, содержащего остатки взрывов сверхновых. Взрывы сверхновых привели к образованию более тяжелых элементов за счет синтеза. Например, в солнечном спектре есть отчетливый набор спектральных линий натрия, что позволяет предположить, что из-за малой массы и этапа эволюции он не может быть звездой первого поколения. Натрий не мог быть произведен Солнцем. Кроме того, на планетах Солнечной системы обнаруживается множество элементов, возникающих после взрыва сверхновой. Это разумная теория, согласно которой Солнце образовалось из первоначального облака остатков по крайней мере двух взрывов сверхновых. Следовательно, Солнце можно рассматривать как звезду третьего поколения.

Давайте посмотрим на пару примеров спектров, показанных ниже: спектр звезды первого поколения, в котором видны только линии примитивных элементов (рисунок 10). Хорошо виден солнечный спектр с уже упомянутыми линиями натрия (рис. 12).

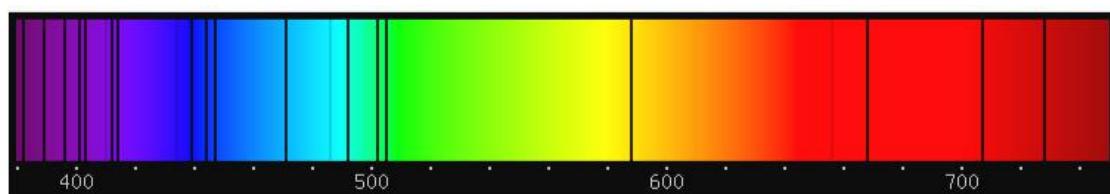


Рис. 10: Спектр звезд первого поколения (впечатление художника). Эти звезды преимущественно в десятки и сотни раз массивнее Солнца. Они жили быстро, умирали молодыми и не дожили до наших дней. Были бы видны только спектральные линии водорода, гелия и отчасти лития.

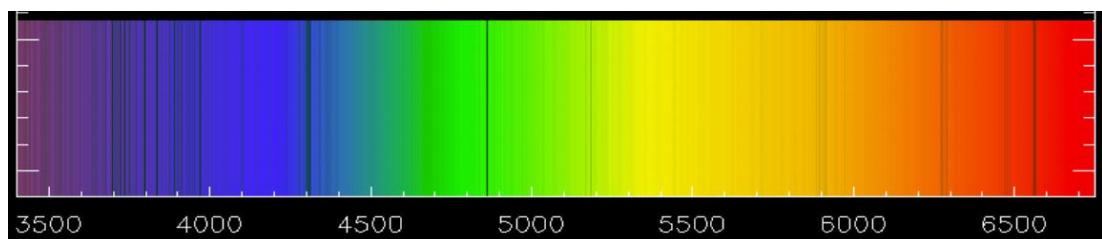


Рис. 11: Спектр SMSS J031300.36-670839.3, звезды второго поколения, на которой видны только линии водорода и углерода.

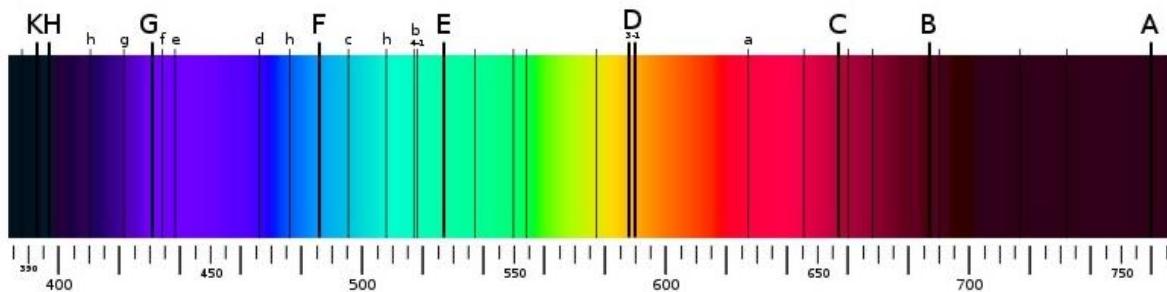


Рис. 12: Спектр Солнца. Множество спектральных линий различных элементов, в том числе натрия (выделены жирным шрифтом).

## Зона обитаемости

Когда мы говорим о жизни, обычно предполагается, что это формы жизни на основе углерода, и, таким образом, определяется главный критерий обитаемости – наличие жидкой воды. Область вокруг звезды, в которой поток излучения на поверхности любой скалистой планеты (или спутника) допускает присутствие воды в жидким состоянии, называется зоной обитаемости звезды. Обычно это происходит на телах (или на поверхности тел с массой) массой от 0,5 до 10 Мт и с атмосферным давлением выше 6,1 мбар, что соответствует тройной точке воды при температуре 273,16 К (когда вода сосуществует в виде льда, жидкости и пара).

Зона обитаемости зависит от массы звезды. Если масса звезды увеличивается, ее температура и яркость увеличиваются, и, следовательно, зона обитаемости становится все более удалённой.

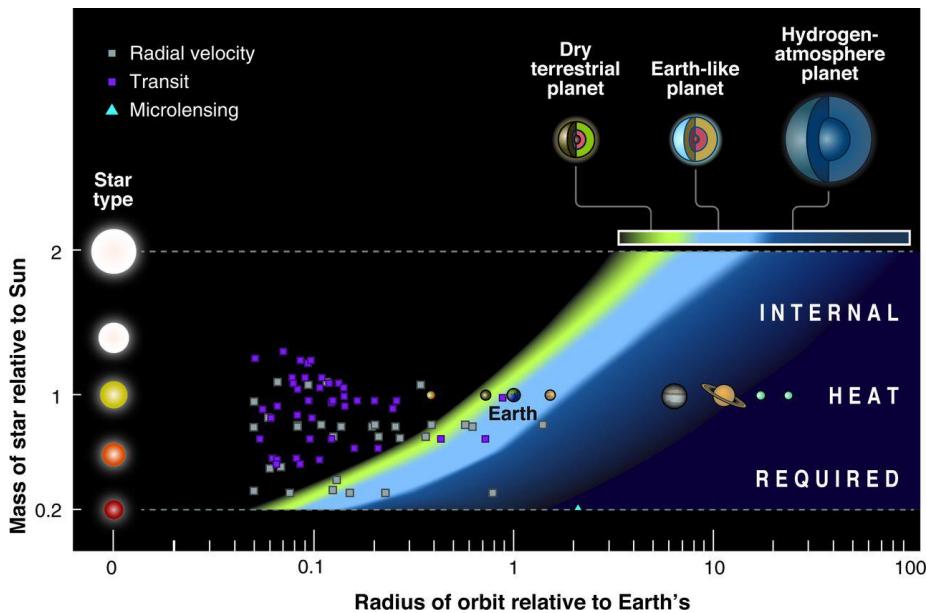


Рис. 13: Зона обитаемости, определяемая родительской звездой.

То, что планета находится в зоне обитаемости, не означает, что там должна быть жизнь. Например, в нашей Солнечной системе зона обитаемости включает в себя планеты Землю и Марс, но из двух единственной планетой, на которой известна жизнь, является Земля. Зона обитаемости Солнечной системы простирается от 0,84 до 1,67 а.е. Венера находится на 0,7 а.е. с неконтролируемым парниковым эффектом, а Марс – на 1,5 а.е. без наличия поверхностных вод, но вполне может присутствовать внутренняя замороженная вода.

Помимо существования жидкой поверхности воды, существуют и другие условия для обитаемости планеты. Разберем подробно самые главные:

- Орбитальное расстояние от планеты, которое обуславливает пребывание её в зоне обитания, является необходимым, но не достаточным условием для того, чтобы планета была гостеприимной для жизни. Пример: Венера и Марс.
- Одним из факторов, оказывающих решающее влияние на обитаемость, является масса планеты. Она должна быть достаточно большой, чтобы сила тяжести планеты могла удерживать атмосферу. Это основная причина, по которой Марс в настоящее время непригоден для жизни, поскольку он потерял большую часть своей атмосферы и все поверхностные воды, которые у него были в первый миллиард лет существования.

В любом случае может случиться так, что, хотя планеты не находятся в зоне обитаемости, факторы, необходимые для существования какой-либо жизни, могут существовать либо на самих планетах, либо на некоторых из их лун. Это может относиться к некоторым лунам Юпитера или Сатурна.

## Введение в астробиологию: процесс формирования атмосферы Земли

Знания о фотосинтезе необходимы для понимания взаимоотношений живых существ и атмосферы, а также для понимания баланса жизни на Земле, учитывая глубокое влияние, которое фотосинтез оказывает на атмосферу и климат Земли.

Фотосинтез – это физико-химический процесс, с помощью которого растения, водоросли и некоторые фотосинтезирующие бактерии используют энергию солнечного света для синтеза органических соединений. Это фундаментальный процесс для жизни на Земле, который оказывает глубокое влияние на атмосферу и климат Земли: каждый год организмы, обладающие способностью к фотосинтезу, превращают более 10% атмосферного углекислого газа в углеводы. Это означает, что увеличение концентрации углекислого газа в атмосфере, создаваемое деятельностью человека, оказывает большое влияние на фотосинтез. С эволюционной точки зрения появление кислородного фотосинтеза (производящего кислород) было настоящей революцией для жизни на Земле: он изменил атмосферу Земли, обогатив ее, и этот факт позволил появиться организмам, которые используют кислород для жизни.

Кислородный фотосинтез	Бескислородный фотосинтез
$H_2O \rightarrow 2 H^+ + 2 e^- + 1/2 O_2$	$H_2S \rightarrow 2 H^+ + 2 e^- + S$

Рис. 14: Кислородный и бескислородный фотосинтез.

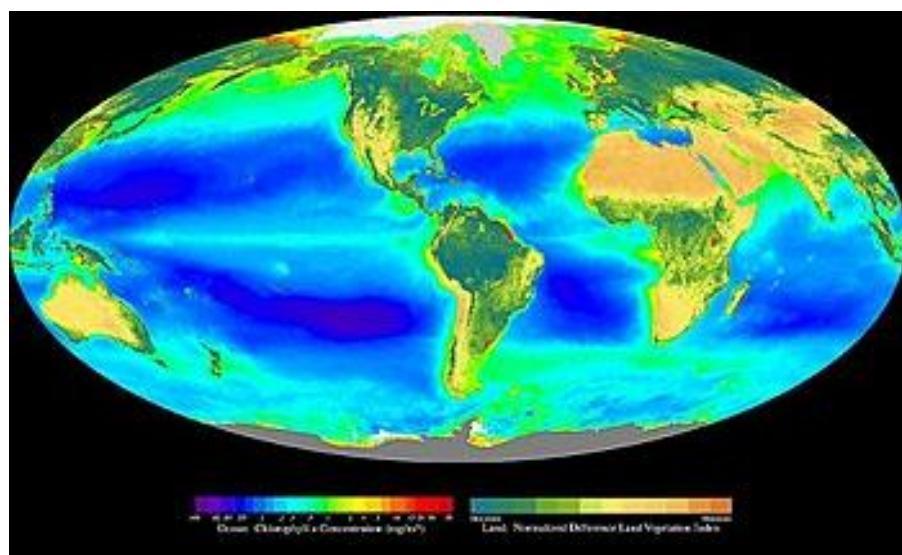


Рис. 15: Изображение показывает распределение фотосинтеза в земном шаре, осуществляемого как океаническим фитопланктоном, так и наземной растительностью.

Не всегда все было так, как мы знаем сегодня; эволюция Земли, эволюция примитивной атмосферы, эволюция примитивного метаболизма составляют структуру событий, которые приводят к появлению фототрофных бактерий, которые используют свет в качестве источника энергии, но выделяют серу (так называемый бескислородный (аноксигенный) фотосинтез, поскольку он не выделяет кислород). Позднее на Земле появляется кислородный фотосинтез. Он выделяет кислород в атмосферу, увеличивая его концентрацию и способствуя огромному взрыву жизни, который мы знаем сейчас. Можно сказать, что примитивная атмосфера нашей планеты почти не содержала следов кислорода. Но жизнь была раньше. И все согласны с тем, что воздух, которым мы дышим сегодня, с 21% кислорода, является продуктом биологической активности Земли и сильно отличается от атмосферы примитивной Земли.

## Процесс образования органического вещества. Почему растения зеленые?

Жизнь на нашей планете поддерживается в основном благодаря фотосинтезу, который водоросли и некоторые бактерии осуществляют в водной среде, а растения – в сухой среде (на поверхности Земли). Все они обладают способностью синтезировать органические вещества (необходимые для строения живых существ), начиная с легкой и неорганической материи. Фактически, каждый год фотосинтезирующие организмы фиксируют около 100 миллиардов тонн углерода в форме органического вещества.

Начальные этапы преобразования энергии света в химическую энергию зависят от молекул, называемых фотосинтетическими пигментами. Термин «пигмент» используется для описания молекулы, способной улавливать энергию фотонов (возбуждать электроны на их энергетических уровнях в атомах; молекула, которая «возбуждается светом»). Все биологические пигменты избирательно поглощают одни длины волн света, отражая другие.

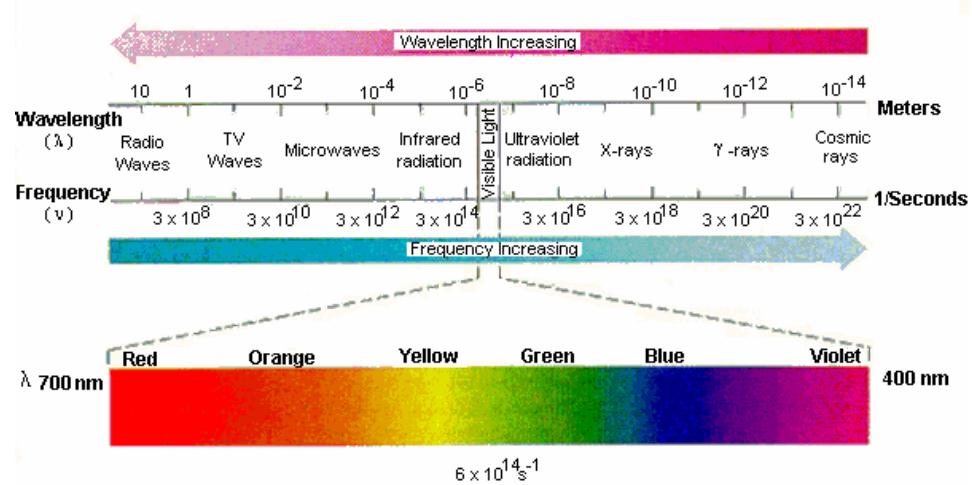


Рис. 16: Спектр видимого света.

Солнечный свет состоит из разных цветов; каждый имеет разную длину волны, которая находится в диапазоне от 400 до 700 нм. Хлорофилл поглощает энергию красного и

синего света, но не поглощает энергию зеленого света. Зеленый цвет отражается на листе, и наши глаза видят его зеленым.

## Упражнение 4: Производство кислорода из CO<sub>2</sub> с использованием фотосинтеза или функции хлорофилла

В этом экспериментальном предложении мы будем использовать листья растения для производства кислорода за счет бикарбоната натрия, углерода и света лампы. Мы будем использовать две прозрачные стеклянные банки и на них разместим синий и красный фильтры.

Зеленые листья овощей должны быть свежими, плотными и полностью зелеными, поэтому рекомендуется использовать шпинат или листовую свеклу. С помощью дырокола мы нарежем диски из однородных листов (из расчета 10 дисков на бутылку, избегая участков с центральными ребрами).

Подготовим 2.5% раствор гидрокарбоната натрия, то есть 25 г гидрокарбоната на 1 литр воды, с целью пропитать им диски, вырезанные из листьев. Мы надеемся увеличить количество углерода, доступного в форме бикарбоната натрия, тем самым сделав более заметным и ускорив явление, которое мы хотим наблюдать. В каждую стеклянную банку наливаем по 20 мл раствора бикарбоната натрия.

Вынимаем поршень из одноразового шприца на 10 мл и помещаем диски в его корпус, затем осторожно помещаем поршень и отсасываем 10 мл раствора бикарбоната до тех пор, пока диски не будут взвешены в растворе.

Надо заменить воздух в дисках раствором бикарбоната. Для этого закрываем конец шприца пальцем и плотно отсасываем, пытаясь создать вакуум, а затем отпускаем. Во внутренних пространствах растительной ткани воздух будет заменен раствором бикарбоната: таким образом, диски не будут плавать в растворе бикарбоната, и раствор будет доступным источником углерода и близок к фотосинтетическим структурам листа.

Обработанные таким образом листовые диски помещаем в каждую стеклянную банку (которая, в свою очередь, содержит 2.5% раствор бикарбоната). Накройте одну из банок алюминиевой фольгой, а вторую накройте цветной целлофановой бумагой. На каждую бутылку следует установить лампу (с закрывающей ее бумагой), чтобы световой луч воздействовал на исследуемый образец: обе лампы на одинаковом расстоянии (необходимо иметь отдельные источники света для каждой бутылки, одинаковой мощности, не менее 70 Вт: они могут быть люминесцентными источниками, но рекомендуется использование светодиодов; избегайте ламп накаливания, например галогенных ламп, так как они теряют много энергии в виде тепла).



Рис. 17 и 18: Раствор и лампы с красным фильтром и синим фильтром.

Когда включаем свет, начинаем отсчитывать время секундомером. Записываем время, необходимое для того, чтобы диски начали подниматься в растворе.

Процесс не является мгновенным, диски могут начать подниматься примерно через 5 минут (это зависит от интенсивности света и расстояния, на котором находится лампа). Диски начинают подниматься, выделяя кислород в виде пузырьков, которые помогают при подъёме. Следует отметить, что движение в каждой бутылке происходит в разное время, в зависимости от цвета света: быстрее для синего света. Таким образом мы демонстрируем, что компонент электромагнитного излучения с более высокой энергией является наиболее эффективным в процессе. Скорость фотосинтеза напрямую связана со временем, которое требуется дискам, чтобы начать подниматься, это явление связано с производством кислорода. Скорость фотосинтеза у синего света выше, чем у красного. Таким образом, в этом эксперименте мы демонстрируем, как растения и другие фотосинтезирующие организмы ответственны за существование кислорода в нашей атмосфере. Замена воздуха раствором бикарбоната ускоряет процесс и позволяет визуализировать его за меньшее время.



Рис. 19 и 20: Раствор под лампами разного цвета, показывающими, что диски поднимаются по-разному в каждом случае.

Кроме того, со временем при взаимодействии ультрафиолетового излучения Солнца с молекулами кислорода образуется озон ( $O_3$ ). Этот процесс защищает нас от наиболее интенсивного УФ-излучения, но пропускает лучи УФ-А и УФ-В, что способствует образованию витамина D в коже человека.

Альтернативные переменные для изучения: концентрация бикарбоната в используемом растворе, температура, источники света разного цвета и интенсивности (поддержание постоянных условий и контроль темноты во всех случаях), листья, предварительно подвергшиеся воздействию света или темноты и т.д.

## Упражнение 5: Возможность жизни в экстремальных условиях

Ферментация для производства спирта – это анаэробный процесс, выполняемый дрожжами (грибами). Вместе с бактериями процесс ферментации является основой для получения энергии у микроорганизмов. Дрожжи превращают сахар (глюкозу) в этиловый спирт или этанол и диоксид углерода. Ферментация – это процесс с низкой энергоэффективностью, в то время как дыхание гораздо более выгодно и с эволюционной точки зрения является более поздним процессом.

Таким образом, поскольку сахар превращается в этиловый спирт и двуокись углерода, мы будем основывать наш эксперимент на присутствии этого газа. Если мы отнаблюдаем его присутствие, мы узнаем, что происходило брожение и, следовательно, проверим возможность существования жизни.

Микробиологический опыт требует времени, чтобы прийти к надежным выводам. В нашем случае наличие или отсутствие углекислого газа позволит нам узнать, можем ли мы, учитывая изменение условий окружающей среды, сделать вывод, что жизнь возможна. Во всех случаях нашего эксперимента мы начинаем с посева, в котором присутствует вода. Чтобы иметь достаточно времени для наблюдения за развитием эксперимента, он готовится в начале семинара, и через час можно наблюдать за ситуацией с семью различными процедурами.

Для этого мы будем использовать 1 столовую ложку дрожжей (используйте дрожжи для приготовления хлеба, которые можно купить в супермаркете) – это живой микроорганизм, который легко достать; 1 стакан теплой воды (чуть больше половины стакана при температуре от 22 до 27°C) и 1 столовую ложку сахара, который могут потреблять микроорганизмы.

Мы будем использовать ту же процедуру в контролльном эксперименте и других экспериментах, разработанных в экстремальных условиях.

### Порядок проведения контрольного эксперимента

Сахар растворяют в горячей воде в стеклянной чашке. Затем добавляют дрожжи и перемешивают ложкой. Затем полученная смесь помещается в полиэтиленовый пакет на

молнии (попадание воздуха внутрь не допускается). Весь воздух удаляется из пакета (разложив его по столу и надавив вытянутыми руками) перед его герметизацией. Важно следить за тем, чтобы внутри мешка не оставался воздух. Через 5 минут наблюдаем, как в пакете начал скапливаться углекислый газ. Через 20 минут внутри мешка появляются пузырьки из-за выделения этого газа, одного из конечных продуктов ферментации, происходящей внутри мешка. Наличие этого газа показывает, что микроорганизмы живы.



Рис.21: Контрольный эксперимент с пузырьками углекислого газа, которые свидетельствуют о существовании жизни.

**Процедура на «щелочной планете» (например, на Нептуне или Титане присутствует аммиак):** повторите опыт с любым доступным «основным» материалом (бикарбонат натрия, аммиак ...) в воде и подождите, чтобы увидеть, появятся ли пузырьки, то есть, могут ли микроорганизмы жить или нет. Шкала pH: бикарбонат натрия: pH 8,4 и бытовой аммиак: pH 11.

**Процедура на «соленой планете» (например, считается, что Марс или Ганимед имеют воду с высокой концентрацией соли).** Повторите опыт, растворяя разное количество хлорида натрия (поваренной соли) в водопроводной воде.



Рис. 22 и 23: Щелочной и солёный растворы с пузырьками.

**Процедура на «кислой планете» (например, на Венере, на которой идет дождь из серной кислоты):** повторите процесс растворения уксуса, лимона или любой другой кислоты, имеющейся в воде. Шкала pH: Кислота: Уксус: pH 2,9 и лимон: pH 2,3.

**Процедура на «ледяной планете» (например, Европа или Trappist-1h)**

Поместите пакет в контейнер, полный льда, и посмотрите, есть ли активность, то есть не набухает ли пакет. Если есть холодильник или морозильная камера, им тоже можно пользоваться. Если пузырьки не появляются, жизни нет.

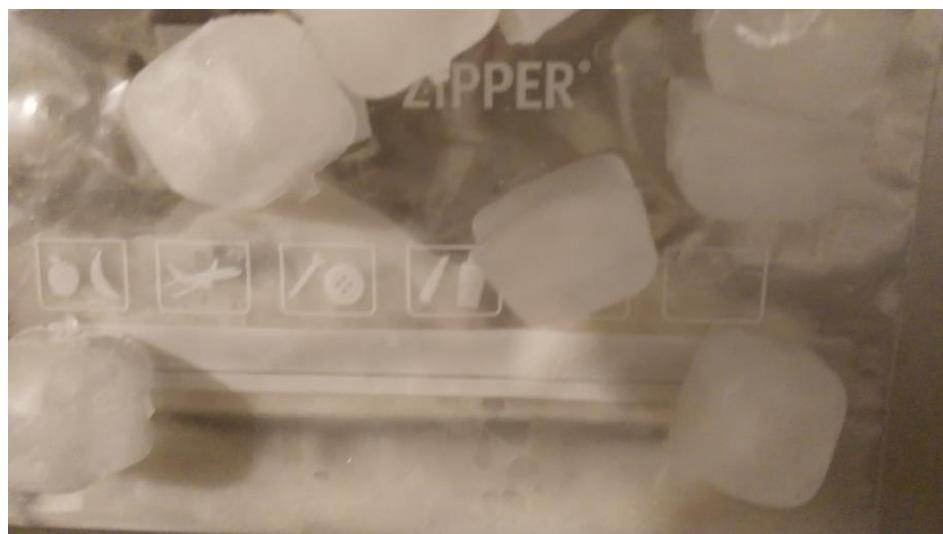


Рис.24: Замороженный раствор без пузырьков

**Процедура на «планете с УФ-излучением» (например, Марс):** Проведите тот же эксперимент, но держите пакет с дрожжами и сахаром плотно под действием УФ-излучения, создаваемого специальной лампой. Если используется УФ-лампа высокой энергии (УФ-С) или (УФ-В), пузырьки не появляются, а это означает, что жизнь невозможна. Но коммерческие лампы, называемые «черным светом», являются низкоэнергетическими ультрафиолетовыми (УФ-А), то есть они не опасны для жизни и часто используются в садоводстве для хороших результатов, которые они дают при облегчении роста растений. При использовании этого типа ламп наблюдается образование большего количества пузырей. Если появляются пузырьки – значит, жизнь присутствует.

**Процедура на «теплой планете» (например, Венера из-за парникового эффекта)**

Проделайте тот же эксперимент с очень горячей водой. В случае Венеры мы должны использовать кипящую воду. (Если имеется термометр, опыт можно повторить при различных температурах, и при этих температурах можно получить таблицу активности). Если появляются пузырьки, значит, это жизнь.

## Планеты и экзопланеты с экстремальными условиями, подобные тем, которые используются в этом упражнении

**ВЕНЕРА.** Она имеет плотную атмосферу, состоящую в основном из углекислого газа и небольшого количества азота. Давление на поверхности в 90 раз превышает атмосферное давление на поверхности Земли. Огромное количество углекислого газа в атмосфере вызывает сильный парниковый эффект, который повышает температуру поверхности планеты примерно до 464°C в менее возвышенных регионах вблизи экватора. Это делает Венеру более горячей, чем Меркурий, несмотря на то что она более чем в два раза дальше от Солнца, где она получает только 25% солнечного излучения. Облака в основном состоят из капель диоксида серы и серной кислоты и полностью покрывают планету, скрывая детали поверхности от внешнего визуального наблюдения.

**МАРС.** Под ледяной поверхностью этого пустынного мира может быть соленая вода. Эта вода может быть домом для форм жизни, способных выдержать эти экстремальные условия. В прошлом это было совсем другое место. Мы знаем, что Марс мог быть очень похож на Землю. У него были океаны, вулканы и такая же плотная, как наша, атмосфера, богатая углекислым газом, но это не было бы препятствием для микробной жизни. Единственное, чего не хватало на красной планете, и из-за чего она в конце концов не такая, как наша планета, это магнитное поле. Более низкая гравитация и отсутствие магнитного поля означало, что солнечный ветер мог медленно сдувать атмосферу Марса. Кроме того, Марс это планета, которая получает на своей поверхности солнечное ультрафиолетовое (УФ) излучение с сильным и биологически очень вредным компонентом (УФ-С и УФ-В), который в значительной степени влияет на ухудшение состояния поверхности, чтобы найти некоторые признаки жизни.

**НЕПТУН.** Внутренняя структура Нептуна напоминает структуру Урана: скалистое ядро, покрытое ледяной коркой, скрытое под толстой атмосферой. Внутренние две трети Нептуна состоят из смеси расплавленной породы, воды, жидкого аммиака и метана. Внешняя треть представляет собой смесь горячего газа, состоящего из водорода, гелия, воды и метана. Его атмосфера составляет примерно 7% от его массы. На больших глубинах давление в атмосфере примерно в 100 000 раз превышает давление в атмосфере Земли. Концентрации метана, аммиака и воды увеличиваются от внешних областей к внутренним областям атмосферы.

**Ганимед,** спутник Юпитера, состоит из силикатов и льда с ледяной коркой, которая плавает над мутной мантией, которая может содержать слой жидкой воды с высокой концентрацией соли. Первые пролеты над Ганимедом космического корабля «Галилео» обнаружили, что у спутника есть собственная магнитосфера. Вероятно, она генерируется аналогично магнитосфере Земли: то есть возникает в результате движения внутри проводящего вещества.

**Титан,** спутник Сатурна. Считается, что на Титане присутствует подземный водный океан с растворенным в нем аммиаком на глубине 100 километров от поверхности, и,

возможно, другие углеводороды. Атмосфера на 94% состоит из азота и является единственной богатой азотом атмосферой в Солнечной системе, за исключением нашей планеты. Оставшуюся долю атмосферы составляют значительные следы различных углеводородов. Лед очень похож на дрейфующий лед на полюсах Земли.

**Европа**, спутник Юпитера. На Европе ледяная поверхность и подземный океан жидкой воды. Атмосфера у неё тонкая и с низкой плотностью, но состоит из кислорода. Лед очень похож на дрейфующий лед на полюсах Земли. У Европы есть железоникелевое ядро, окруженное горячей каменистой мантией, над ним находится океан жидкой воды с глубиной (являющейся предметом геологических дискуссий) около 100 км и с ледяной поверхностью 10 км толщиной.

## Упражнение 6: Обнаружение второй Земли

Земля – единственная известная планета, на которой поддерживается жизнь. Поэтому, если мы ищем планету с внеземной жизнью, хорошим вариантом является поиск планет с похожими условиями. Но какие параметры при этом важны?

В следующей таблице перечислены некоторые экзопланеты и их свойства. Исключите экзопланеты, непригодные для жизни, и, возможно, найдете вторую Землю. Некоторые критерии приведены после таблицы.

Имя экзопланеты	Масса в массах Земли	Радиус в земных радиусах	Расстояние до звезды в а.е.	Масса звезды в массах Солнца	Спектральный класс звезды/температура поверхности
Beta Pic b	4100	18.5	11.8	1.73	A6V
HD 209458 b	219.00	15.10	0.05	1.10	G0V
HR8799 b	2226	14.20	68.0	1.56	A5V
<b>Kepler-452 b</b>	<b>неизвестно</b>	<b>1.59</b>	<b>1.05</b>	<b>1.04</b>	<b>G2V</b>
Kepler-78 b	1.69	1.20	0.01	0.81	G
<b>Luyten b</b>	<b>2.19</b>	<b>неизвестно</b>	<b>0.09</b>	<b>0.29</b>	<b>M3.5V</b>
Tau Cet c	3.11	неизвестно	0.20	0.78	G8.5V
TOI 163 b	387	16.34	0.06	1.43	F
Trappist-1 b	0.86	1.09	0.01	0.08	M8
TW Hya d (yet unconfirmed)	4	неизвестно	24	0.7	K8V
HD 10613 b	12.60	2.39	0.09	1.07	F5V
<b>Kepler-138c</b>	<b>1.97</b>	<b>1.20</b>	<b>0.09</b>	<b>0.57</b>	<b>M1V</b>
Kepler-62f	2.80	1.41	0.72	0.69	K2V
Proxima Centauri b	1.30	1.10	0.05	0.12	M5V
HD 10613 b	12.60	2.39	0.09	1.07	F5V
KIC 5522786 b	неизвестно	1.21	1.98	1.79	A

Таблица 3: Кандидаты на вторую Землю.

## Радиус и масса

В нашей Солнечной системе есть планеты земной группы (Меркурий, Венера, Земля, Марс) и планеты-гиганты (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун). Планеты земной группы состоят из силикатных пород и металлов и имеют более высокую плотность, чем планеты-гиганты. Хорошими индикаторами подходящей плотности являются радиус и масса планеты.

Мы используем определение команды Kepler Mission: планеты размером с Землю и планеты размером с супер-Землю имеют радиус менее 2 радиусов Земли. 10 масс Земли считаются верхним пределом для планет размером с Землю.

## Зона обитаемости

Зона обитаемости – это диапазон орбит вокруг звезды, в пределах которого на поверхности планеты может существовать жидккая вода.

Звезды главной последовательности, на которых мы фокусируемся, имеют прямую корреляцию между яркостью и температурой поверхности звезды. Чем выше температура поверхности, тем ярче звезда и тем дальше от неё зона обитаемости. Спектральные типы обозначают температуру поверхности (см. Таблицу ниже).

Спектральный тип	Температура, К	Зона обитаемости, а.е.
O6V	41 000	450-900
B5V	15 400	20-40
A5V	8 200	2.6-5.2
F5V	6 400	1.3-2.5
G5V	5 800	0.7-1.4
K5V	4 400	0.3-0.5
M5V	3 200	0.07-0.15

Таблица 4: Зона обитаемости в зависимости от спектрального класса.

Спектральные типы классифицируются буквой (O, B, A, F, G, K, M) и обозначаются цифрами от 0 до 9 (0 – самый горячий в данном спектральном типе). Буква V обозначает звезду главной последовательности.

Подсказка: если спектральный класс звезды немного отличается или подтип неизвестен, используйте данные значения для зоны обитания в качестве приближения.

## Масса родительской звезды

Чтобы изучить обитаемость планетной системы вокруг звезд главной последовательности, мы должны рассмотреть эволюцию родительской звезды.

Примерно через 1 миллиард лет после образования Земли возникли первые формы жизни. Может быть, жизнь была и раньше, но это сомнительно. Таким образом, родительская звезда должна быть стабильной не менее  $\sim 10^9$  лет для развития жизни.

Энергия, которую звезда может производить при синтезе водорода, пропорциональна ее массе. Вы получите время главной последовательности, разделив эту энергию на яркость звезды. Если вы используете эту пропорциональность и используете Солнце в качестве эталона, вы получите первую часть формулы, из этих соображений мы можем оценить время жизни звезды на главной последовательности:

$$t^*/ts = (M^*/Ms)/(L^*/Ls)$$

Для нормальных карликовых звезд или главной последовательности диаграммы Герцшпрунга-Рессела светимость приблизительно пропорциональна массе, возвещенной в степень примерно 3.5.  $L \propto M^{3.5}$

$$t^*/ts = (M^*/Ms)/(M^{*3.5}/Ms^{3.5}) = (M^*/Ms)^{-2.5}$$

$$t^*/ts = (Ms/M^*)^{2.5} ,$$

что дает время жизни звезды как долю ожидаемого времени жизни Солнца ( $10^{10}$  лет). Упрощенная версия этой формулы:

$$t^* \sim 10^{10} \times (Ms/M)^{2.5} \text{ лет}$$

Рассчитаем верхний предел массы звезды, если временной интервал главной последовательности составляет не менее 3 миллиардов лет.

$$M^* = (10^{-10} \times t)^{-0.4} Ms$$

$$M^* = (10^{-10} \times 3000000000)^{-0.4} Ms$$

$$M^* = 1.6 Ms$$

Мы видим, что для звезд с массой  $> 2M$  время жизни на главной последовательности падает ниже 1 галактического года (время обхода галактического центра, 250 миллионов лет), таким образом, даже если вокруг них существуют пригодные для жизни планеты, жизни, вероятно, не хватит времени для развития.

## Библиография

- Álvarez, C., y otros, *Guia Libreciencia Taller Abril*, Argentina 2018,
- Anderson, M., *Habitable Exoplanets: Red Dwarf Systems Like TRAPPIST-1*, 2018
- Goldsmith, D., *Exoplanets: Hidden Worlds and the Quest for Extraterrestrial Life*, Harvard University Press, 2018

- Prieto, J., Orozco, P., *Estudios de Astrobiología*, Actas Ciencia en Acción , Viladecans, 2018
- Summers M, Trefil, J., *Exoplanets: Diamond Worlds, Super Earths, Pulsar Planets, and the New Search for Life beyond Our Solar System*, Smithsonian Books; 2018
- Tasker, E. *The Planet Factory: Exoplanets and the Search for a Second Earth*, Bloomsbury Sigma, 2017