

Элементы Астробиология

Rosa M. Ros, Beatriz García, Alexandre Costa,
Florian Seitz, Ana Villaescusa, Madelaine Rojas

*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*



Цели

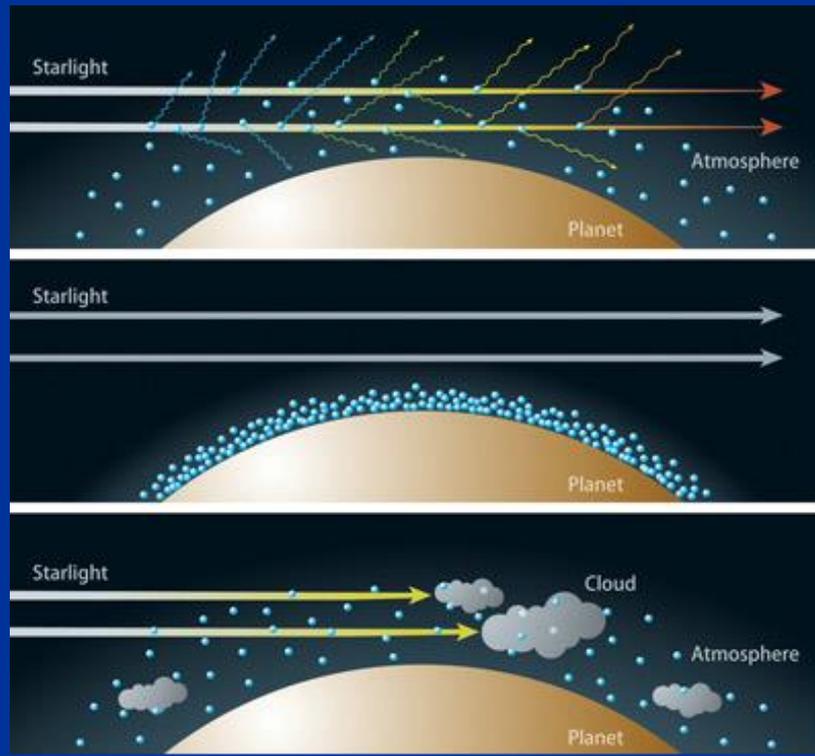
- Понять, как образовались различные элементы периодической таблицы.
- Определить условия, необходимые для развития жизни.
- Промоделировать необходимые для развития жизни условия.



Формирование планетных систем

Во время формирования звезды ее планетная система также состоит из остатков материала, близкого к звездному.

Спектроскопия используется для определения состава звезды, а также для определения атмосферы экзопланет.



Упражнение 1: Формирование планетной системы из газа и пыли

Группа делится на две части: например, девочки (газ) и мальчики (пыль).

Если есть существенная разница в количестве участников в этих группах, то рекомендуется, чтобы группа, представляющая газ, была самой большой, поскольку в формирующейся планетарной системе масса газа в 100 раз превышает массу пыли.

В то время как участники слушают историю, они совершают действия, чтобы наглядно показать процесс формирования планетной системы, например:



Упражнение 1: Формирование планетной системы из газа и пыли

Текст рассказа:

Действие участников:

Когда-то существовало облако из большого количества газа и немного меньшего количества пыли.

Все смешиваются в облако. Должно быть больше участников, представляющих 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.



Упражнение 1: Формирование планетной системы из газа и пыли

Текст рассказа:

Всё интенсивно двигалось, частицы газа притягивали газ, а частицы пыли притягивали пыль.

Действие участников:

Они начинают вращаться, двигаться, ударяться (сталкиваться), 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.



Упражнение 1: Формирование планетной системы из газа и пыли



Упражнение 1: Формирование планетной системы из газа и пыли

Текст рассказа:

Это ядро – та часть, которая в конце концов даст начало образованию Солнца или родительской звезды внесолнечной системы.

Некоторые маленькие планеты образованы объединением всё более и более крупных пылинок, затем камней и так далее.

Действие участников:

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.

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.



Упражнение 1: Формирование планетной системы из газа и пыли

Текст рассказа:

Планеты-гиганты образовались вдали от тепла Солнца или родительской звезды, где газ мог беспрепятственно собираться.

Действие участников:

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 различий между внутренними каменистыми планетами и внешними газовыми гигантами.

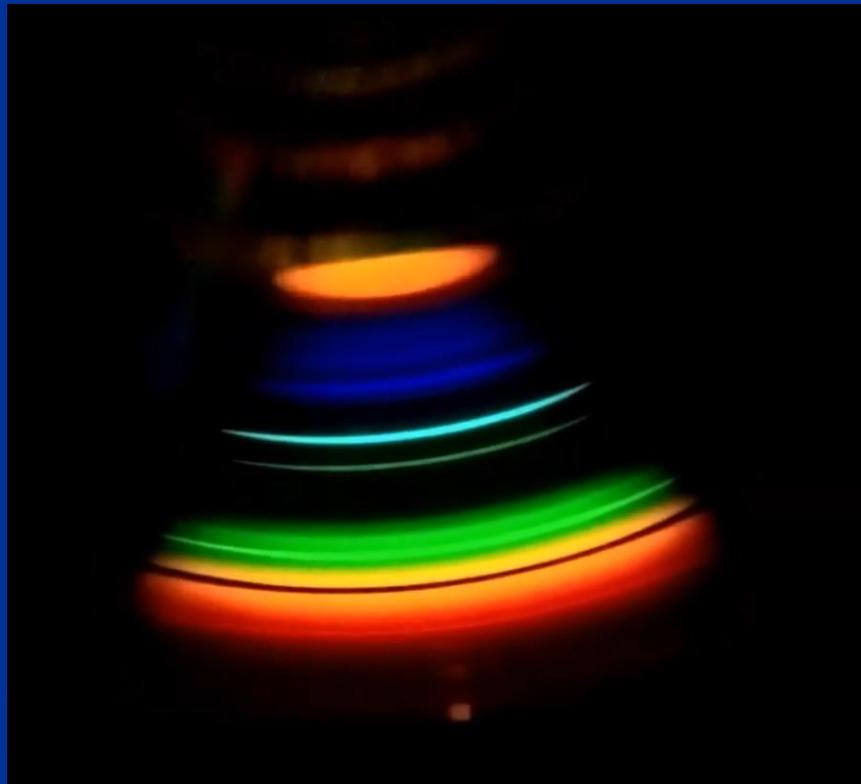


Упражнение 1: Формирование планетной системы из газа и пыли



Деятельность 2: Спектр излучения

Спектроскопия позволяет нам узнать некоторую информацию о химическом составе экзопланет и их атмосфер. Мы можем визуализировать спектр лампочки с помощью DVD (мы видим линии газов, которые она содержит внутри)



Химические аспекты звёздной эволюции

- 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											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne									
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar									
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	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 Fl	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									



Упражнение 3: Классификация периодической таблицы

Распределите все элементы (синий, желтый и красный)

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
Вода питьевая H ₂ O: Hydrogen H	Старая кастрюля: Aluminum Al	Черный карандаш: Graphite C	Сера для сельского хозяйства: Sulfur S
Банка для напитка: Aluminum 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

Элементы, созданные в первые минуты после Большого взрыва (синий)

Элементы, образованные внутри звезд (желтый)

Элементы, появляющиеся при взрывах сверхновых (красный)

Элементы, изготовленные в лаборатории (серый)



Упражнение 3: Классификация периодической таблицы

Кольцо: Gold Au	Сверло с покрытием: Titanium Ti	Газ внутри воздушного шарика: Helium He	Металлическая мочалка: Nickel Ni
Мобильный аккумулятор: Lithium Li	Автомобильная свеча зажигания: Platinum Pt	Электрический медный провод: Copper Cu	Раствор йода: Iodine I
Вода питьевая H ₂ O: Hydrogen H	Старая кофтушка: Aluminum Al	Черный карандаш: Graphite C	Сера для сельского хозяйства: Sulfur S
Банка для напитков: Aluminum 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

Элементы Большого взрыва (голубой)

Элементы звезд (желтый)

Элементы сверхновых (красный)

Лабораторные элементы (серый)



Упражнение 4: Дети звёзд

В человеческом организме:

Наиболее распространенные элементы: **кислород, углерод, водород, кальций, фосфор, калий, сера, натрий, хлор, железо и магний.**

Микроэлементы: **фтор, цинк, медь, кремний, ванадий, олово, марганец, йод, никель, молибден, хром и кобальт.**

Основные элементы: **литий, кадмий, мышьяк и олово.**

Legend:

- 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																	2
H																	He
3	4															10	
Li	Be															Ne	
11	12															18	
Na	Mg															Ar	
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Cb	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56		72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88		104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og
			57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
			La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
			89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
			Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

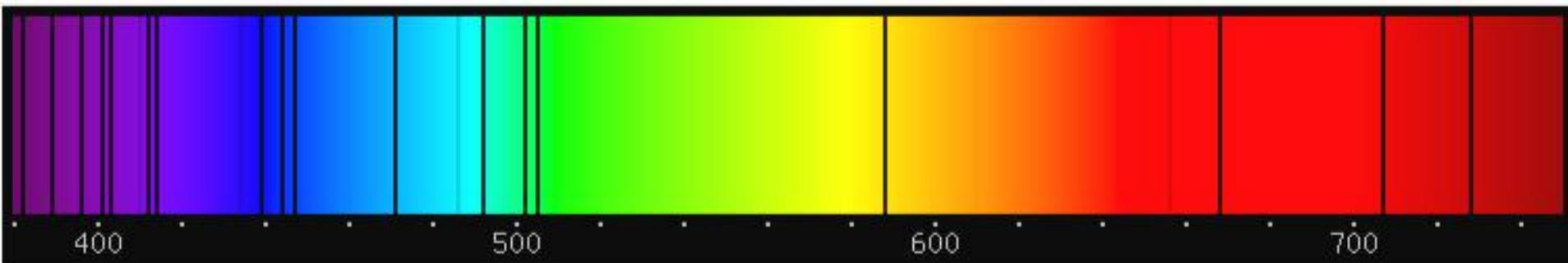
Все распространенные элементы (кроме H) были произведены внутри звезд.

Мы – дети звёзд !



Солнце не относится к звездам первого поколения

Звезды первого поколения жили быстро, умерли молодыми и не сохранились до наших дней.
Видны только линии водорода и гелия.

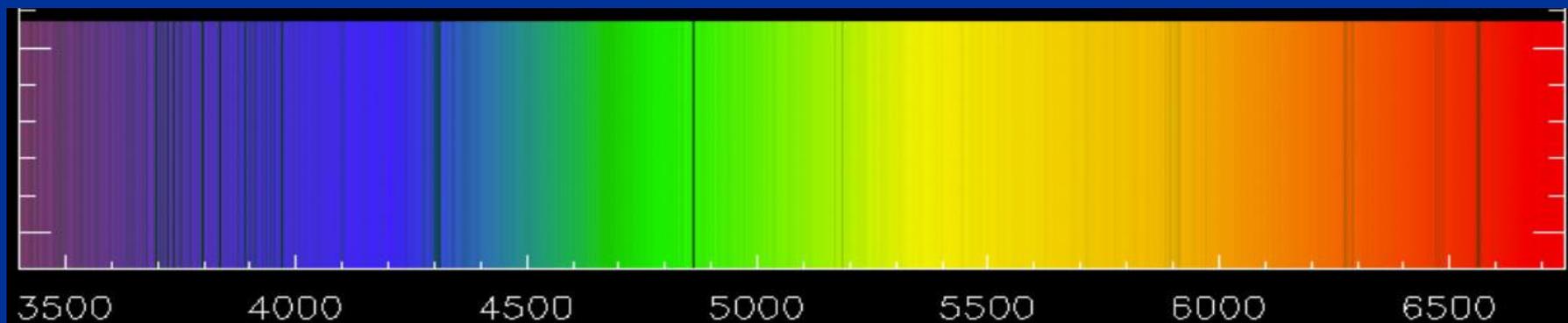


Спектр первого поколения (визуализация художника).



Солнце не относится к звездам первого поколения

Содержание в звездах более сложных элементов означает, что их первоначальное облако началось с остатков взрыва сверхновой.

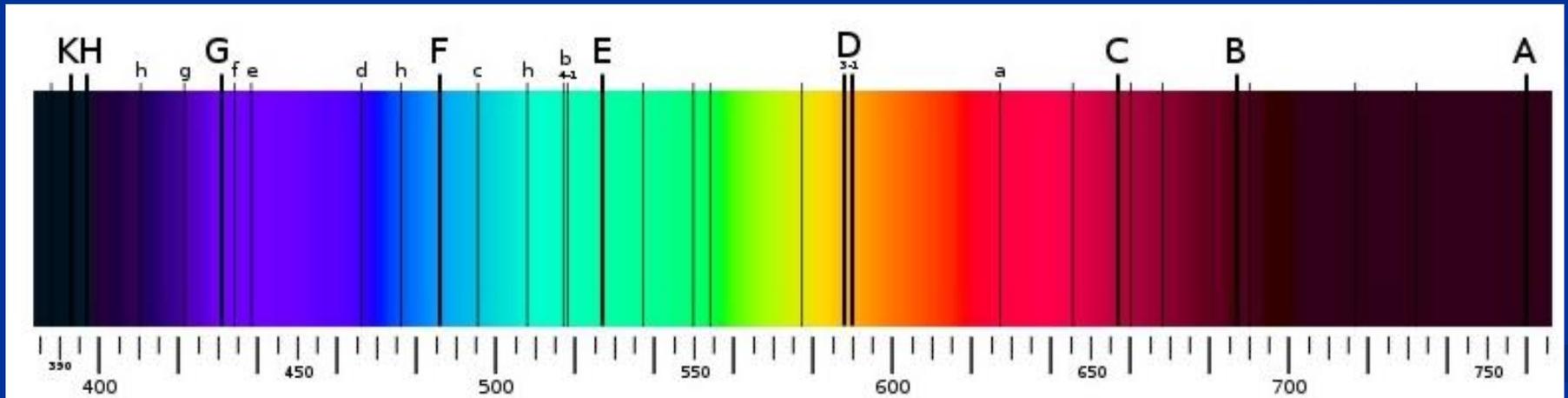


Спектр звезды второго поколения
SMSS J031300.36-670839.3 с линиями водорода и углерода



Солнце не относится к звездам первого поколения

В солнечной системе обнаружено много элементов, которые возникают после взрыва сверхновой. Поэтому Солнце, возможно, образовалось из начального облака, которое соответствовало останкам как минимум двух взрывов сверхновых, то есть это звезда третьего поколения.



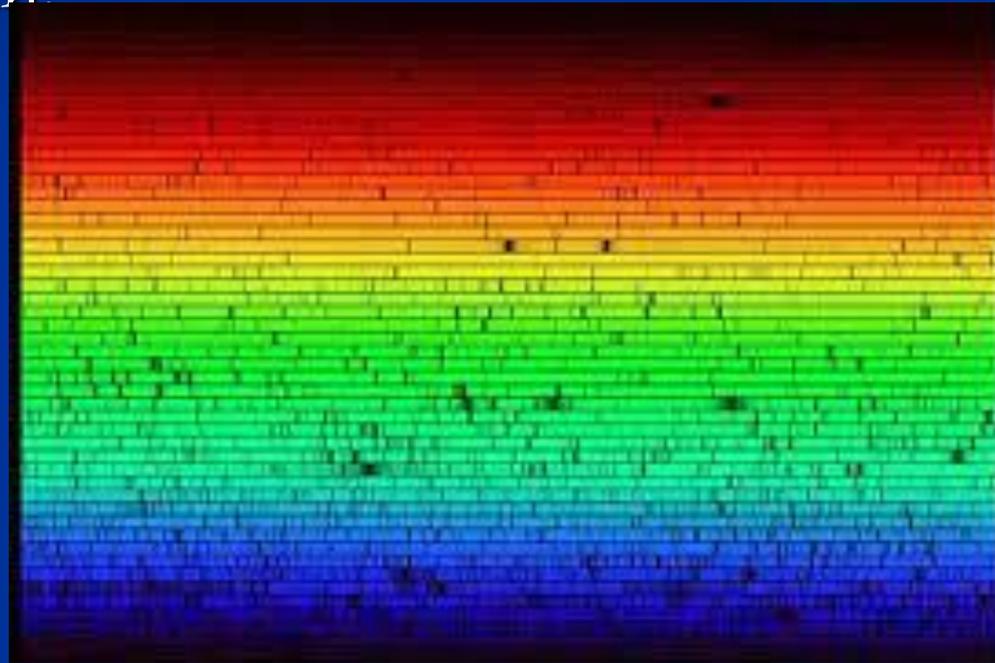
Спектр Солнца с множеством спектральных линий.



Деятельность 5: Линии Фраунгофера на Солнце

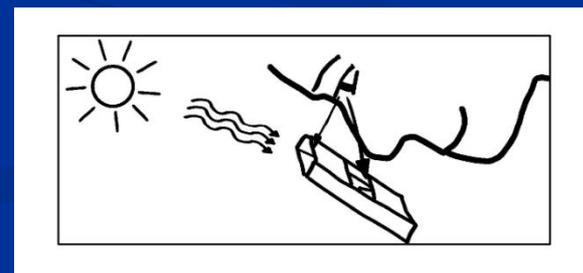
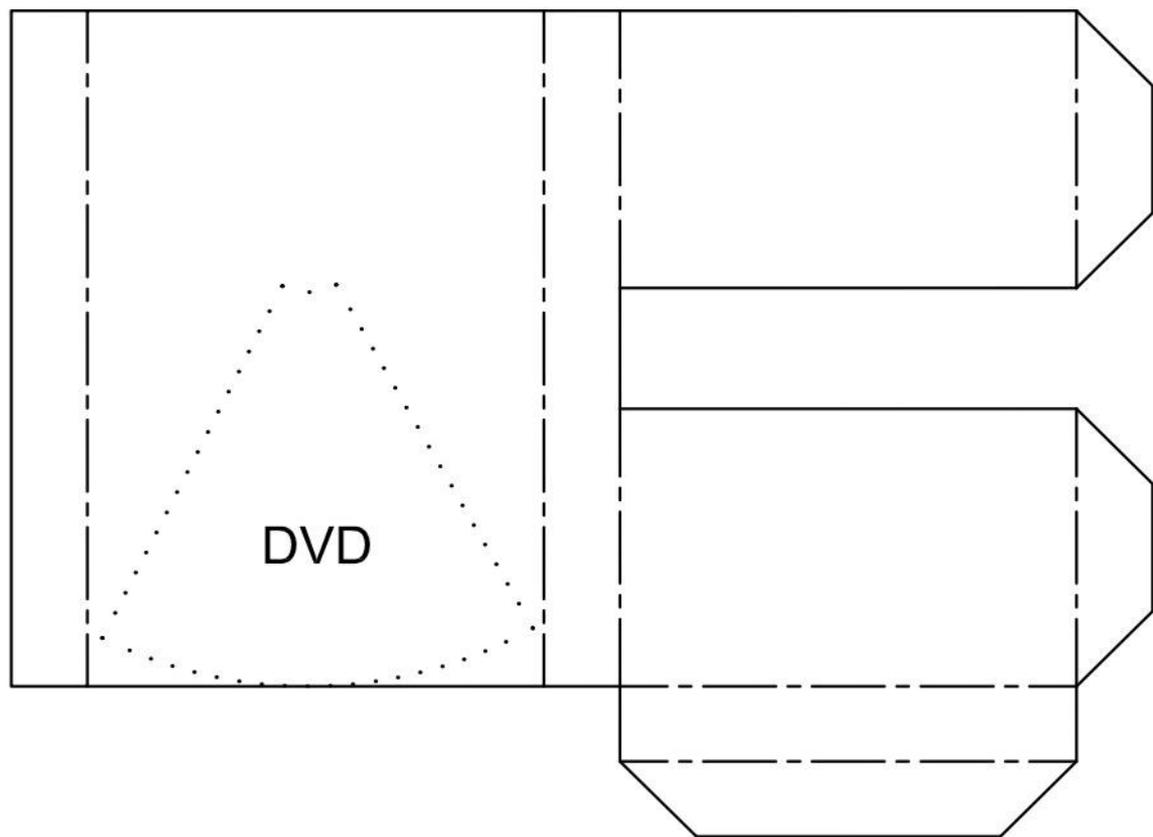
Спектр Солнца непрерывный с темными линиями, называемыми линиями Фраунгофера, которые соответствуют химическим элементам, содержащимся в его атмосфере.

Их можно увидеть невооруженным глазом в отражении солнечного света на DVD. Наблюдается много линий Fe, триплет Mg (зеленый), дублет Na (желтый).



Деятельность 5: Линии Фраунгофера на Солнце

Вырезаем шаблон, приклеиваем 1/8 DVD и собираем коробку с DVD внутри, складывая по пунктирным



Деятельность 5: Линии Фраунгофера на Солнце

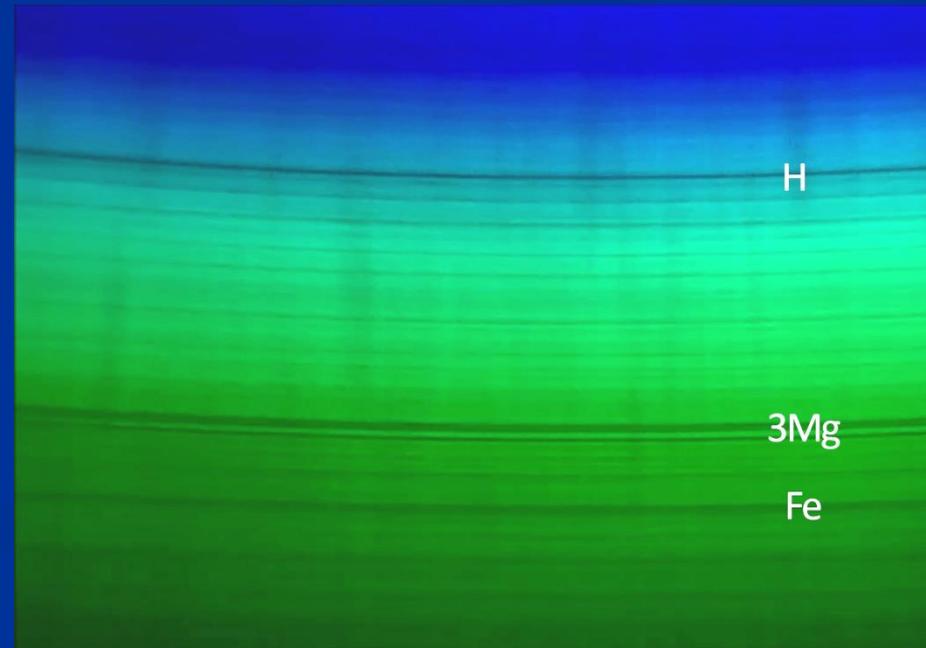
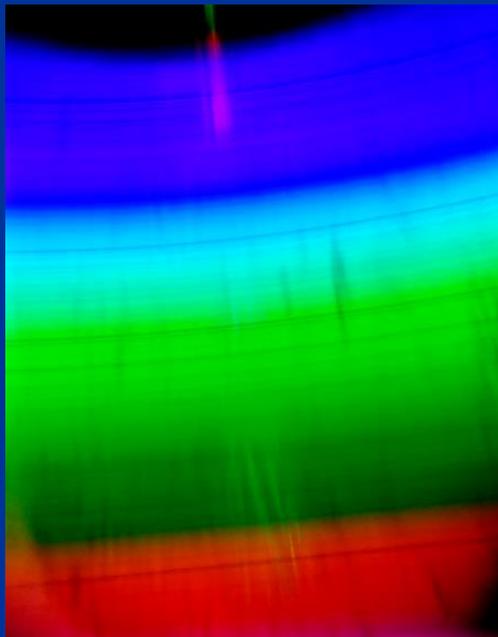
Выйдите на улицу в солнечный день и повернитесь лицом к Солнцу.

Поместите коробку перед лицом так, чтобы верхний край был на уровне глаз, как показано на фотографии. Глядя на DVD внутри, двигайтесь медленно, пока не увидите яркое разноцветное радиальное отражение Солнца на DVD.

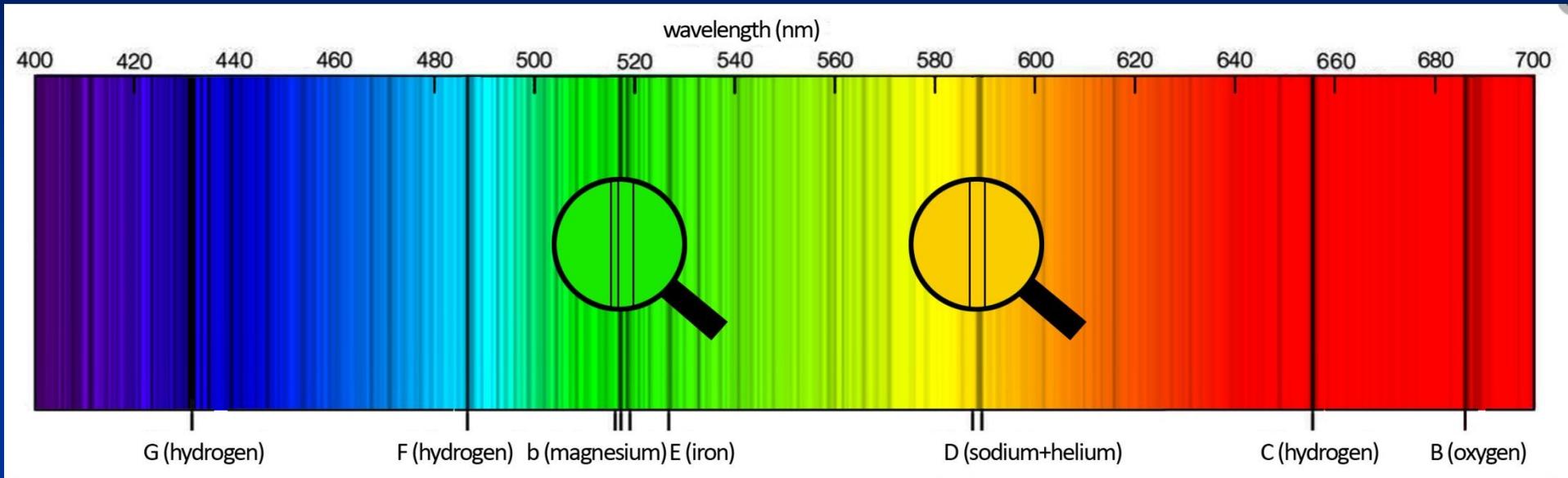


Деятельность 5: Линии Фраунгофера на Солнце

Поднесите лицо ближе к коробке, всегда глядя на отражение, которое будет казаться шире. Когда ваш глаз почти касается окна, вы увидите тонкие, резкие черные линии в цветовой области. Это спектральные линии химических элементов, находящихся на Солнце.



Деятельность 5: Линии Фраунгофера на Солнце



Видно множество линий, некоторые более интенсивные, чем другие. Основная из них, показанная синим цветом, исходит от Водорода, на зеленом очень хорошо видны три очень близкие полосы, которые представляют собой тройку Магния, и еще одну отдельную полосу, исходящую от Железа. В желтой части можно увидеть двойную полосу из гелия и натрия. В красной части вы можете увидеть интенсивный Водород.

Зона обитаемости

Зона обитаемости - это область вокруг звезды, в которой поток излучения на поверхность каменной планеты допускает присутствие жидкой воды.

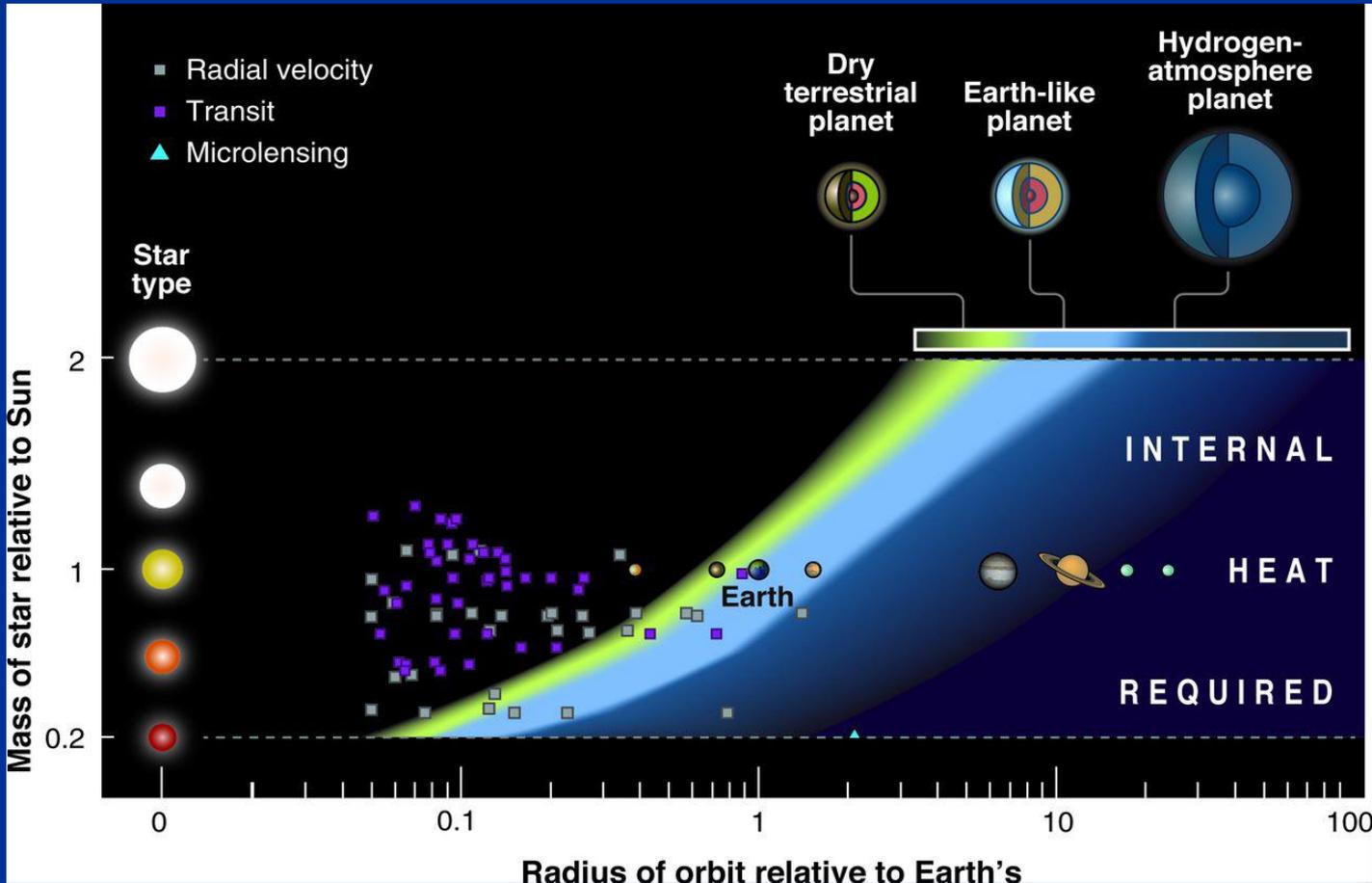
(жизнь на основе углерода предполагает наличие жидкой воды)

Это обычно происходит в телах массой от **0.5 до 10 M_{\oplus}** и атмосферном давлении более 6,1 мбар, что соответствует тройной точке воды при **температуре 273.16 К** (когда вода сосуществует в виде льда, жидкости и пара).



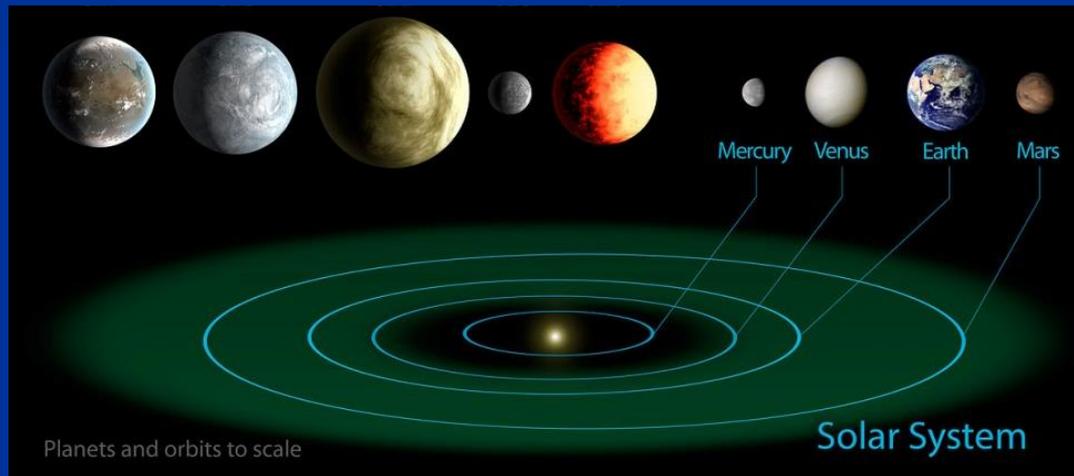
Зона обитаемости

Зона обитаемости **зависит от массы звезды**. Если масса больше, то ее температура и яркость возрастают, и, следовательно, зона обитаемости становится все более удаленной.



Другие условия обитаемости

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.



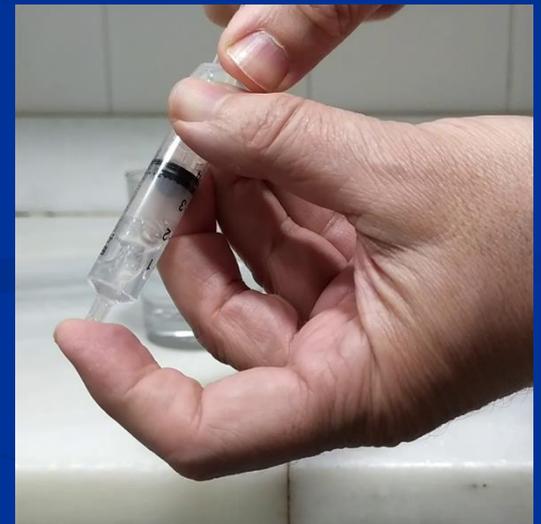
Масса планеты должна быть достаточно большой, чтобы ее гравитация могла удерживать атмосферу.

Это главная причина, по которой Марс в настоящее время непригоден для жизни, поскольку он потерял большую часть своей атмосферы и всей поверхностной воды, которые были у него в первый миллиард лет существования.

Деятельность 6: Жидкая вода на Марсе?

Атмосферное давление на Марсе низкое (0,7% от земного). Несмотря на низкое давление, на Марсе у полюсов планеты образуются водяные облака. Почему на поверхности нет жидкой воды?

Мы ставим горячую воду близко к кипению внутри



Вытравливание плунжера снижает давление, вода начинает кипеть, превращается в пар и постепенно исчезает. Чтобы симулировать марсианское давление, нужно подтянуть плунжер до 9 метров.

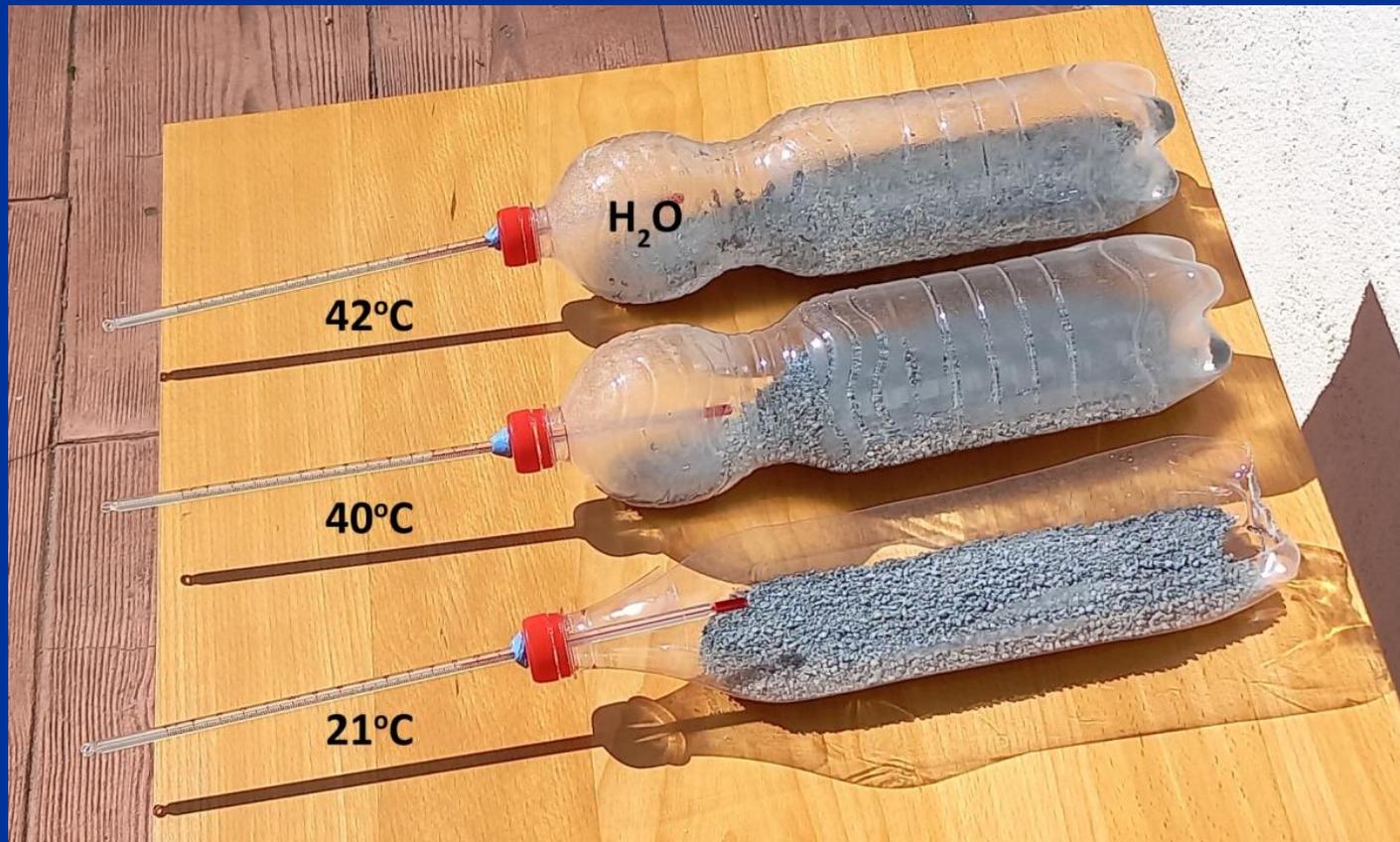
Деятельность 7: Парниковый эффект

Мы положили темную землю в 2 пустые пластиковые бутылки, а третью разрезали вдоль пополам. В пробку каждой бутылки мы вставили термометр. Разрезанная бутылка имитирует планету без облаков, первая целая бутылка имитирует планету с облаками, а в последнюю мы поместили несколько капель воды, чтобы имитировать атмосферу с водяным паром.



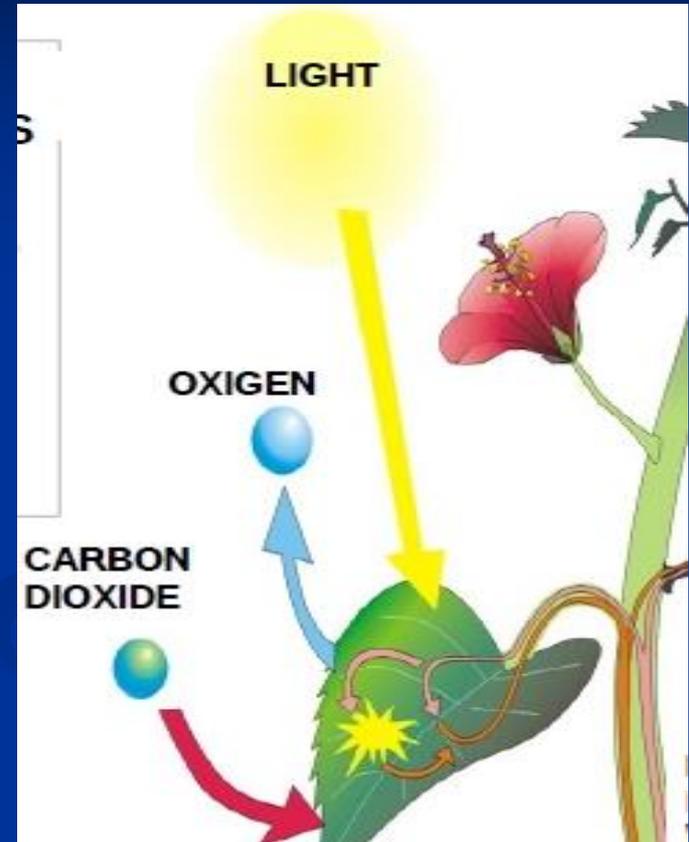
Деятельность 7: Парниковый эффект

Мы ставим бутылки на солнце и измеряем температуру внутри каждые 5 минут. Мы записываем результаты измерений, чтобы определить, как влияет парниковый эффект.



Фотосинтез: производство кислорода

Фотосинтез – это процесс, при котором растения и некоторые бактерии используют солнечный свет для производства глюкозы, углеводов и кислорода из углекислого газа и воды.



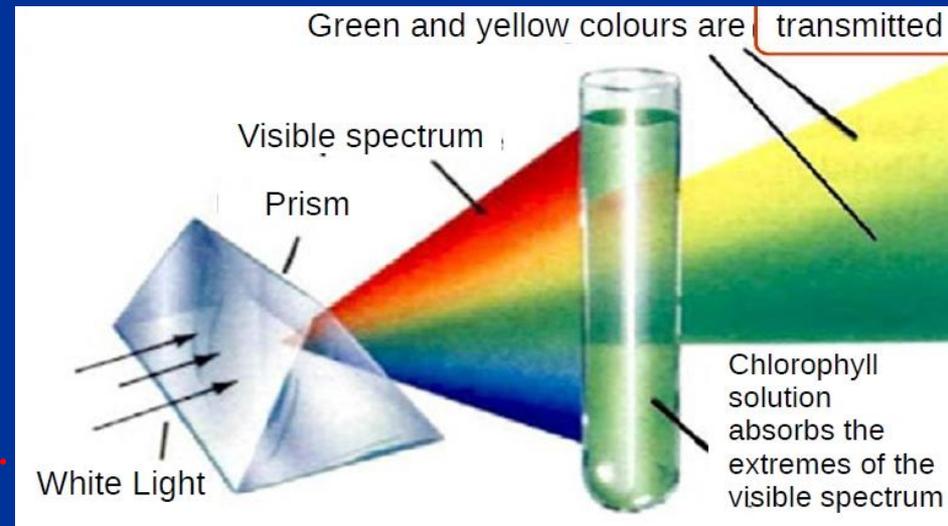
Молекулы, называемые **фотосинтетическими пигментами**, преобразуют энергию света в химическую энергию.



Фотосинтез: почему листья зеленые?

Поглощенный свет может использоваться растением в различных химических реакциях, **длина же волны отраженного света определяет цвет пигмента, который виден глазу.**

Одной из групп фотосинтетических пигментов являются хлорофиллы, которые обычно имеют два типа поглощения в видимом спектре, один в синей области (400-500 нм), а другой в красной зоне (600-700 нм).



Они отражают среднюю часть спектра, которая соответствует зеленому цвету (500-600 нм).



Фотосинтез: производство кислорода

Пигменты освещаются и переносят свои электроны, которые возбуждаются светом.

Вода является донором электронов, которые переходят от одной молекулы к другой,

и конечным результатом является

производство кислорода, когда молекулы воды разрушаются. Это световая фаза фотосинтеза.

В темной фазе производятся углеводы или сахара.

Свет не нужен для этой фазы.



Упражнение 8: Получение кислорода путем фотосинтеза



Используйте две прозрачные стеклянные банки и поместите сине-красную целлофановую бумагу на дно банки.



Упражнение 8: Получение кислорода путем фотосинтеза



С помощью дырокола нарежьте диски из однородных листов (например, шпината, не повреждая капилляры). Положите 10 дисков в каждую банку.



Упражнение 8: Получение кислорода путем фотосинтеза



Приготовьте раствор бикарбоната натрия из расчета 25 г / 1 л воды. Поместите 20 мл в каждую бутылку.

Пропитайте листовые диски раствором бикарбоната. Поместите диски в одноразовый шприц на 10 мл и вытягивайте раствор бикарбоната, пока диски не будут взвешены в растворе.



Упражнение 8: Получение кислорода путем фотосинтеза

Удалите как можно больше воздуха, оставив только взвешенные диски в бикарбонате.

Запечатйте конец шприца пальцем и вытаскивайте поршень, пытаясь создать вакуум, чтобы во внутренних пространствах растительной ткани воздух заменялся раствором бикарбоната, который будет доступным источником углерода, близкий к фотосинтетическим структурам листа.



Упражнение 8: Получение кислорода путем фотосинтеза

Поместите листовые диски в каждую банку. Покройте каждую баночку красной и синей целлофановой бумагой.

Поместите отдельную лампочку (не менее 70 Вт) на каждую банку (с бумагой, покрывающей ее). Оба светильника должны быть на одинаковом расстоянии.

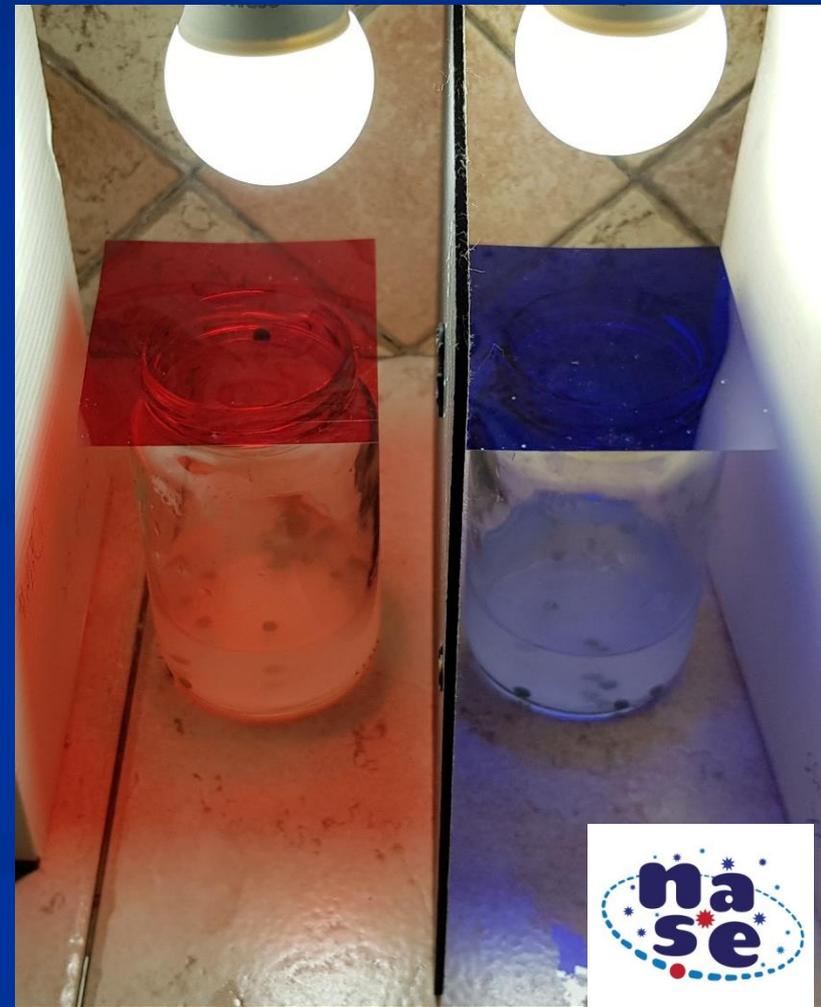
Лучше использовать светодиодную лампу, потому что другие излучают энергию в виде тепла.



Упражнение 8: Получение кислорода путем фотосинтеза

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

Это косвенная мера скорости фотосинтеза.



Упражнение 8: Получение кислорода путем фотосинтеза

Подождите около 5 минут, и диски начнут подниматься (в зависимости от мощности лампы и расстояния).



Упражнение 8: Получение кислорода путем фотосинтеза

Диски начинают плавать, поскольку они выделяют кислород в форме пузырьков, которые помогают подниматься на поверхность.

Время потребуется разное, в зависимости от цвета света: для синего света процесс пойдет быстрее (это высокоэнергетическая составляющая электромагнитного излучения, он наиболее эффективен в этом процессе).



Упражнение 9: Возможности жизни в экстремальных условиях

Дрожжи (грибки) превращают сахар (глюкозу) в этиловый спирт или этанол и диоксид углерода.

Ферментация – анаэробный процесс, являющийся основой для получения энергии у микроорганизмов. Это процесс с низкой энергоэффективностью, но дыхание намного эффективнее с эволюционной точки зрения.



Упражнение 9: Возможности жизни в экстремальных условиях

Если наблюдается присутствие углекислого газа, то мы узнаем, что ферментация была, и, следовательно, есть возможность жизни.

Во всех случаях нашего эксперимента мы начинаем с образца, в котором присутствует вода.



Упражнение 9: Возможности жизни в экстремальных условиях

Нам понадобятся:

1 столовая ложка **дрожжей** (для выпечки хлеба). **Это живой микроорганизм, который легко получить.**

1 стакан теплой воды (чуть больше половины стакана температуры 22°-27°С).

1 столовая ложка сахара, которую будут потреблять микроорганизмы.

Будем использовать ту же процедуру в контрольном эксперименте и других экспериментах, разработанных в экстремальных условиях.



Упражнение 9: Возможности жизни в экстремальных условиях

Контрольный эксперимент:

В стакане теплой воды
растворите дрожжи и сахар.
Полученную смесь быстро
поместите
в воздухонепроницаемый
пластиковый пакет, удалите весь
воздух внутри и закройте его.

Важно, чтобы внутри
не осталось воздуха.



Упражнение 9: Возможности жизни в экстремальных условиях

Контрольный эксперимент:

Через 15-20 минут вы увидите пузырьки углекислого газа в набухшем пакете.

Наличие пузырьков углекислого газа показывает, что микроорганизмы живы.



Упражнение 9: Возможности жизни в экстремальных условиях

Опыт на «щелочной планете»

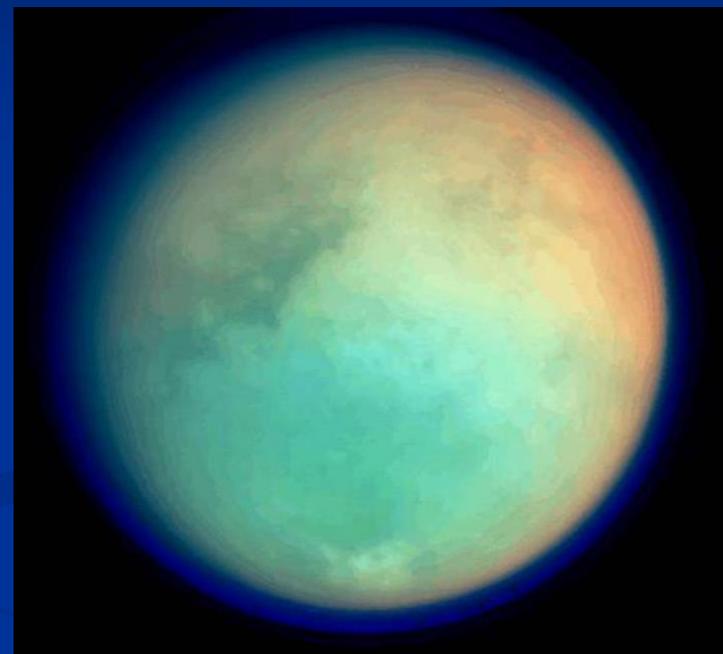
(например, Нептун или Титан, где присутствует аммиак):

Повторите эксперимент с бикарбонатом натрия или аммиаком

Значения Ph (щелочная среда):

Бикарбонат натрия или пищевая сода: Ph 8,4

Бытовой аммиак: Ph 11



Титан, фото NASA



Если есть пузырьки –
есть жизнь.

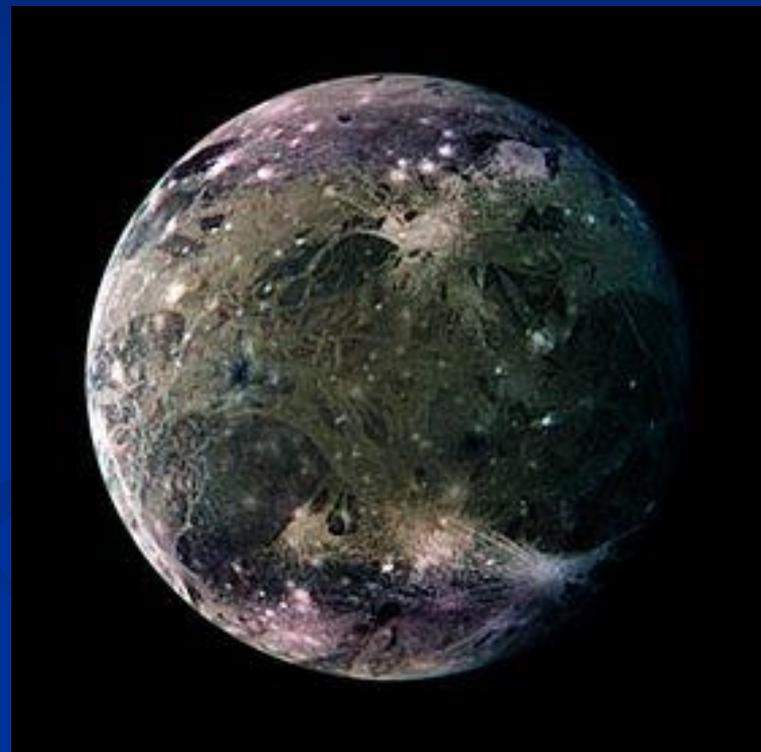


Упражнение 9: Возможности жизни в экстремальных условиях

Опыт на «соленой планете»

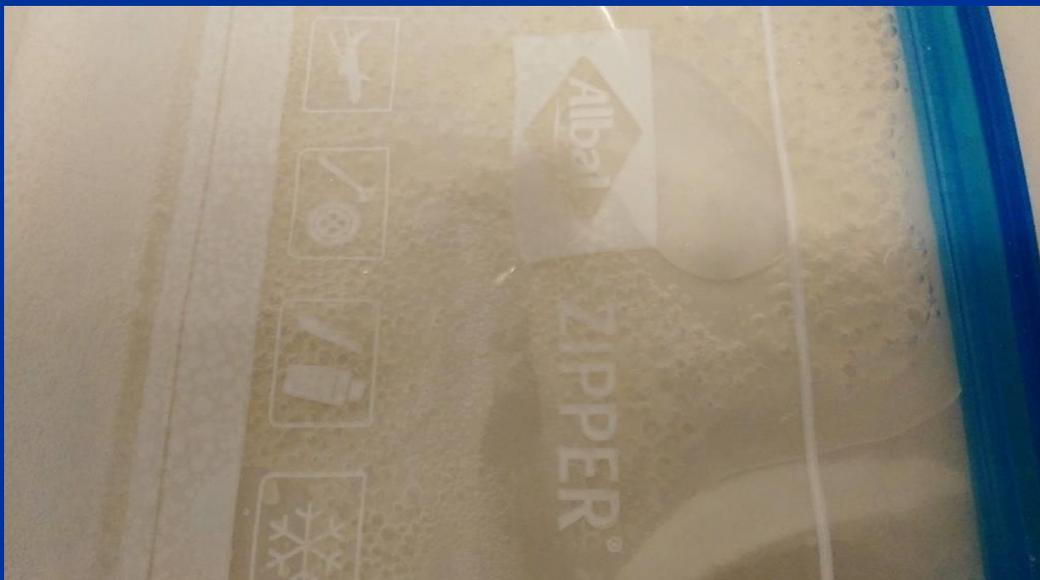
(например, Марс или Ганимед, где
возможно вода с высокой
концентрацией соли):

Повторите эксперимент, растворяя хлорид
натрия (поваренную соль) в воде.



Ганимед, фото NASA

Если есть пузырьки –
есть жизнь.



Упражнение 9: Возможности жизни в экстремальных условиях

Опыт на «кислотной планете»

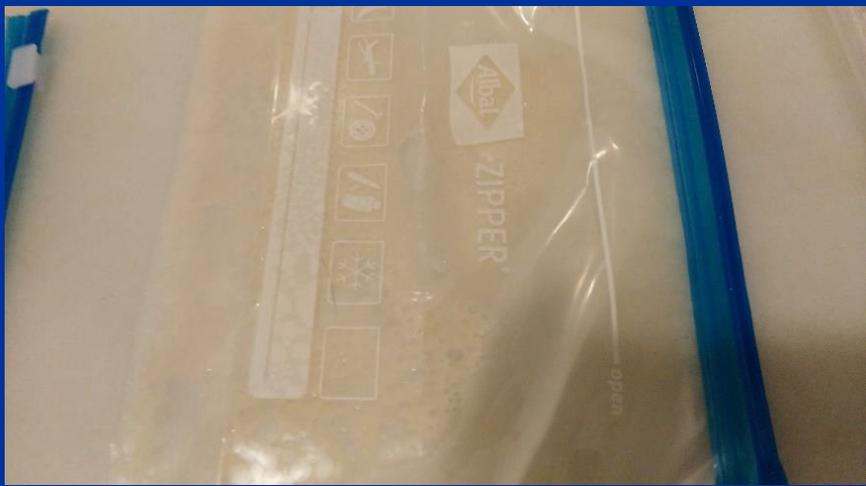
(например, Венера с дождями из серной кислоты):

повторите процесс растворения уксуса, лимона или любой другой кислоты, имеющейся в воде.

Значение Ph (кислая среда):

Уксус: Ph 2.9

Лимонный сок: Ph 2.30



Венера, фото NASA

Если есть пузырьки —
есть жизнь.



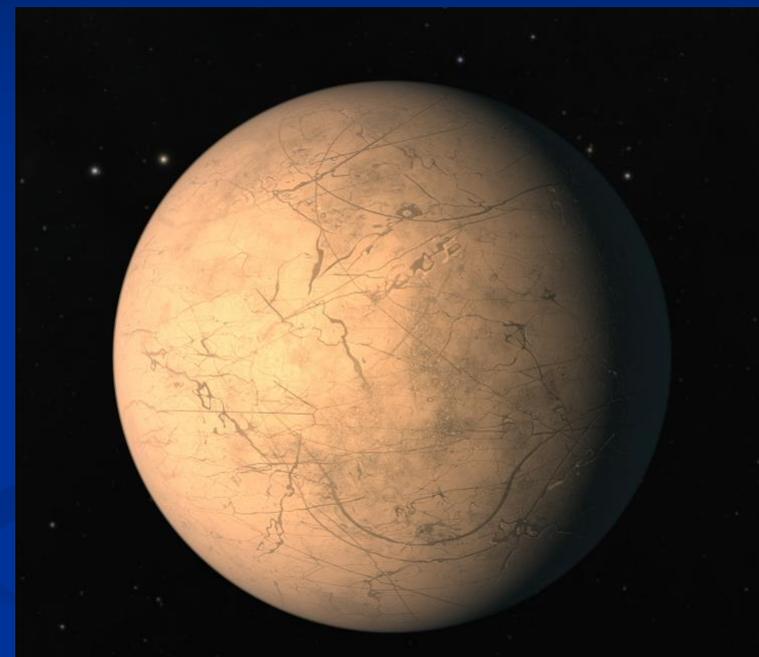
Упражнение 9: Возможности жизни в экстремальных условиях

Опыт на «ледяной планете»

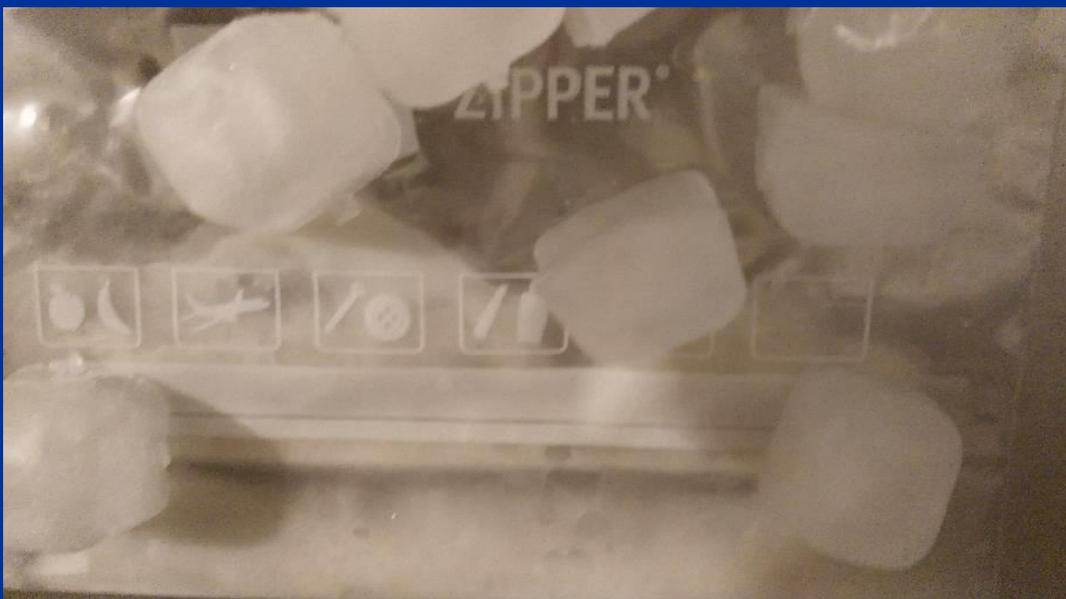
(например, Европа или Trappist-1h):

Поместите пакет в контейнер со льдом
или используйте морозильник.

Посмотрите, есть ли активность.



Trappist-1h, художественное
изображение



Если пузырьков нет
— жизни тоже нет.

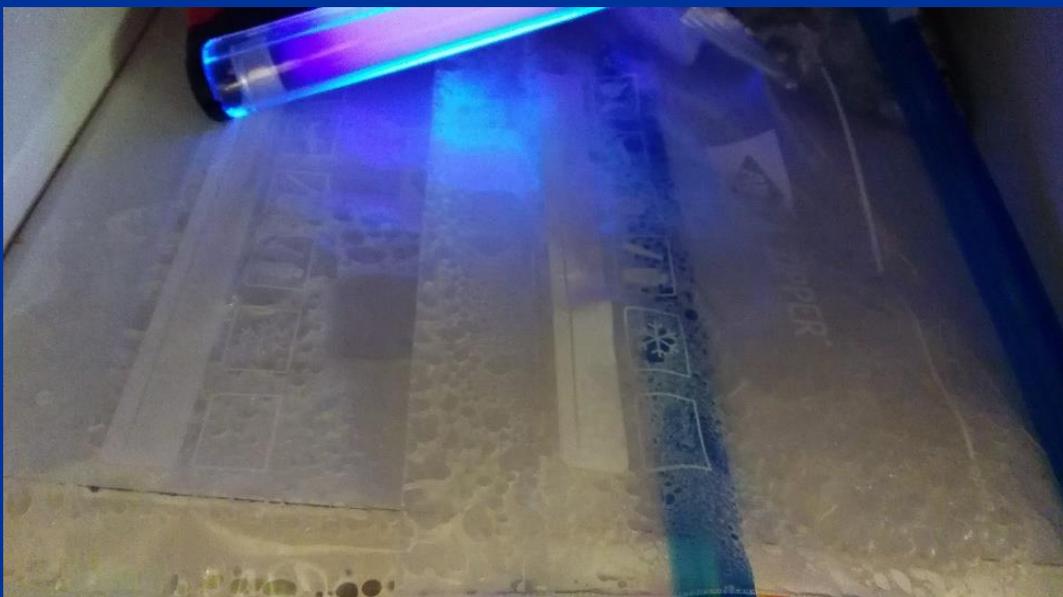


Упражнение 9: Возможности жизни в экстремальных условиях

Опыт на «планете с высоким
уровнем УФ»

(например, Марс):

Выполните эксперимент под
ультрафиолетовым светом.



Marte, Credit iStock

Если пузырьков нет
— жизни тоже нет.



Упражнение 10: Поиск второй Земли

Земля – единственная известная планета, на которой есть жизнь.

Давайте поищем экзопланету с похожими условиями.

Но какие параметры важны при поиске?

- Радиус и масса экзопланеты
- Зона обитаемости
- Масса родительской звезды



Радиус и масса экзопланеты

Радиус и масса планеты должны учитываться для оценки плотности.

Опираясь на критерии Kepler Mission:

- ❑ Планеты земного типа должны иметь размер не более 2 радиусов Земли: $R < 2R_z$
- ❑ 10 земных масс считаются верхним пределом для супер-Земель: $M < 10M_z$

Зона обитаемости

Звезды главной последовательности имеют прямую корреляцию между яркостью и температурой поверхности.

Чем выше температура поверхности, тем ярче звезда и тем дальше находится зона обитаемости.

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



Масса родительской звезды

Эволюция и жизнь звезды зависит от ее массы.

Энергия, которую звезда может получить в результате синтеза водорода, пропорциональна ее массе.

Время пребывания на главной последовательности получается путем деления этой энергии на светимость звезды.

Используя параметры Солнца, жизнь звезды на главной последовательности рассчитывается как:

$$t^*/t_s = (M^*/M_s)/(L^*/L_s)$$

Масса родительской звезды

Для главной последовательности светимость пропорциональна массе в соответствии с $L \propto M^{3.5}$

$$t^*/t_s = (M^*/M_s) / (M^{*3.5}/M_s^{3.5}) = (M^*/M_s)^{-2.5}$$

$$t^*/t_s = (M_s/M^*)^{2.5}$$

Жизнь Солнца $t_s = 10^{10}$ лет, продолжительность жизни звезды:

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

Рассчитаем верхний предел для массы звезды так, чтобы **время пребывания на главной последовательности составляло не менее 3 миллиардов лет** (чтобы дать время для развития жизни)

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

$$M^* = (10^{-10} \times 3\,000\,000\,000)^{-0.4} M_s$$

$$M^* \leq 1.6 M_s$$

В поисках второй Земли

Имя экзопланеты	Масса в Земных массах	Радиус в Земных радиусах	Расстояние до звезды в АЕ	Масса звезды в массах Солнца	Спектральный тип 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
Kepler-452 b	неизвестно	1.59	1.05	1.04	G2V
Kepler-78 b	1.69	1.20	0.01	0.81	G
Luyten b	2.19	неизвестно	0.09	0.29	M3.5V
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
Kepler-138c	1.97	1.20	0.09	0.57	M1V
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

В поисках второй Земли

Имя экзопланеты	Масса в земных массах	Радиус в земных радиусах	Расстояние до звезды в а.е.	Масса звезды в массах Солнца	Спектральный тип 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
Kepler-452 b	неизвестно	1.59	1.05	1.04	G2V
Kepler-78 b	1.69	1.20	0.01	0.81	G
Luyten b	2.19	неизвестно	0.09	0.29	M3.5V
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
Kepler-138c	1.97	1.20	0.09	0.57	M1V
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

Теперь мы знаем

- Понятие зоны обитаемости.
- Основные понятия астробиологии.
- Как можно генерировать кислород и получать углекислый газ.
- Как найти вторую Землю.



Спасибо за внимание!

