

Автор — Сергей Гордиенко,

*Почетный член Международного астрономического союза, член
Национального союза журналистов Украины, канд. техн. наук*

ПРОХИМА. БЛИЖАЙШАЯ ЗВЕЗДА И ЕЕ ПЛАНЕТЫ

Огромная пропасть космической пустоты в 40 триллионов километров отделяет нас от ближайшей экзопланеты, и какое же это исчезающе малое расстояние в масштабах Вселенной!

Много лет астрономы с надеждой наводили все более и более совершенные инструменты на ближайшую к Солнцу звезду, исследуя ее в различных спектральных диапазонах и надеясь обнаружить в ее окрестностях планетоподобный спутник. После длительных безрезультатных поисков было объявлено об отсутствии планет в системе, состоящей из трех гравитационно связанных компонентов α Центавра А, α Центавра В и Проксима Центавра (в нашу эпоху их взаимное положение таково, что ближайшей к нам является Проксима, удаленная от нас на 4,25 световых года). Но с каждым скачком в развитии наблюдательной техники настойчивые исследователи возобновляли свои поиски. В конце концов их упорство было вознаграждено.

ОТКРЫТИЕ

Первые две экзопланеты были открыты в 1992 г. у пульсара PSR B1257+12 (позже получившего собственное имя Лич), удаленного от нас на 2 300 световых лет. С тех пор, по состоянию на 1 февраля 2021 г., различными методами, с использованием все более совершенных инструментов открыто (и подтверждено) 4 414 экзопланет в окрестностях 3 257 звезд. Из этих звезд 722 имеют более одной планеты, из которых, в свою очередь, около 440 — более двух. Причем в этих системах может быть и большее количество членов планетного семейства, еще не открытых или не подтвержденных повторными наблюдениями. Например, система звезды TRAPPIST-1 состоит из семи подтвержденных планет, а звезду HD 10180 окружает шесть экзопланет и три пока не подтвержденных кандидата.

Но, несомненно, ученых очень интересовали наши ближайшие звездные соседи. И в первую очередь ближайшая к нам звезда — Проксима Центавра. Расстояние до нее «всего лишь» каких-то 4,2465 световых года, или 40 триллионов 17,5 миллиарда километров. В сравнении с другими планетными систе-

мами, находящимися на расстояниях десятков и сотен, а то и тысяч световых лет, такая близкая планета была бы прекрасной целью для исследований. И после долгих целенаправленных поисков она, наконец, была открыта!

Когда на мониторе компьютера Гийема Англада-Эскудэ¹ (Guillem Anglada-Escudé) вырисовалась кривая лучевой скорости, доказывающая существование планеты у Проксимы Центавра (Proxima Centauri b), ученый не был слишком удивлен — он давно уже ждал этого открытия. Для него оно стало не сурпризом, а, скорее, облегчением, каким только может стать успешное завершение многолетней работы. Однако для остального мира обнаружение потенциально обитаемого спутника ближайшей звезды оказалось настоящей сенсацией. С новой силой вспыхнули дискуссии о том, возможно ли существование жизни на планетах наших ближайших «звездных соседей» и сумеем ли мы распознать ее присутствие, а журнал Nature включил Гийема Англада-Эскудэ в число десяти людей, оказавших наибольшее влияние на развитие нашей цивилизации в 2016 г.

Открытие Proxima b сделано с использованием сверхточного инструмента для измерения лучевых скоростей. Были обнаружены коле-

¹ Гийем Англада-Эскудэ — сотрудник лондонского Университета королевы Марии, специалист по астрометрии и звездной спектроскопии.

бания спектра Проксимы с периодом 11,2 суток, вызываемые объектом с массой не менее 1,27 земной. Конечно, подобные открытия вызывают немало ожиданий и надежд, но необходимо отметить, что при наблюдениях такого рода мы получаем очень мало информации об экзопланете — фактически сейчас мы знаем только ее орбитальный период (уточненная продолжительность 11,186 суток), значение вызываемого ее гравитационным воздействием доплеровского сдвига линий в спектре звезды и максимально возможный эксцентриситет орбиты. Из этого мы можем вычислить ее среднее расстояние до центральной звезды и минимальную массу.

Кроме того, в марте 2020 г. было объявлено об открытии еще одной планеты — Proxima Centauri c. Эта супер-Земля или мини-Нептун примерно в 7 раз массивнее Земли, имеет радиус орбиты примерно 1,49 а. е. (223 млн км) и период обращения — 5,28 земных года. На таком расстоянии от звезды с равновесной температурой около 39 К она вряд ли пригодна для жизни. Впервые о планете сообщили итальянский астрофизик Марио Дамаско (Mario Damasso) и его коллеги в апреле 2019 г. Proxima c, скорее всего, имеет систему колец, подобную сатурнианской, с радиусом около 350–400 тыс. км.

В общем, ближайшая звезда — очень интересное место в окрестно-



Слева направо: Алексей Гордиенко, Гийем Англада-Эскудэ и автор статьи (Лондон, 11 февраля 2017 г.). Фото: Т. Гордиенко

стях нашего светила, богатое необычными космическими феноменами.

ЗОНА ОБИТАЕМОСТИ

Proxima b находится в зоне обитаемости² своей звезды и более других напоминает Землю — по размерам, температуре у поверхности и т. д. Эта планета заняла свое место в «клубе потенциально обитаемых планет», причем оказалась самой близкой к Солнечной системе.

Если рассматривать принятые границы зоны обитаемости для звезд различных спектральных классов и распределить все подтвержденные экзопланеты в координатах «температура звезды — поток энергии», становится очевидным, что Proxima b находится в области почти оптимальных условий. Однако нужно учитывать, что она обращается вокруг сравнительно холодного (порядка 3000 К) красного карлика, в 8 раз менее массивного, чем Солнце.

Что же можно сказать по каждой из этих позиций? Игнаси Ривас (Ignasi Ribas), научный сотрудник Института космических наук Каталонии в Бар-

селоне, в своем докладе³ на 51-м симпозиуме ESLAB (Нордвейк, Голландия) рассказал о результатах своих исследований. «Исходное количество воды мы определить не можем. Исходя из оценок ее содержания во влажных планетезималях («строительных блоках», из которых формируются планеты), при использовании существующих моделей планетообразования получается, что Proxima b должна быть более сухой, чем Земля. Но это верно лишь в том случае, если она сформировалась на той же орбите, где находится сейчас. Если же она возникла дальше от центральной звезды и позже мигрировала к центру системы — все будет выглядеть совершенно по-другому. Поэтому нет оснований думать, что эта планета лишена влаги, и уж тем более — что она была «безводной» изначально. К тому же вода могла попасть туда позже в процессе эволюции. На данный момент правильнее было бы констатировать широкий набор начальных условий».

Касательно приливного воздействия, анализ показал два наибо-

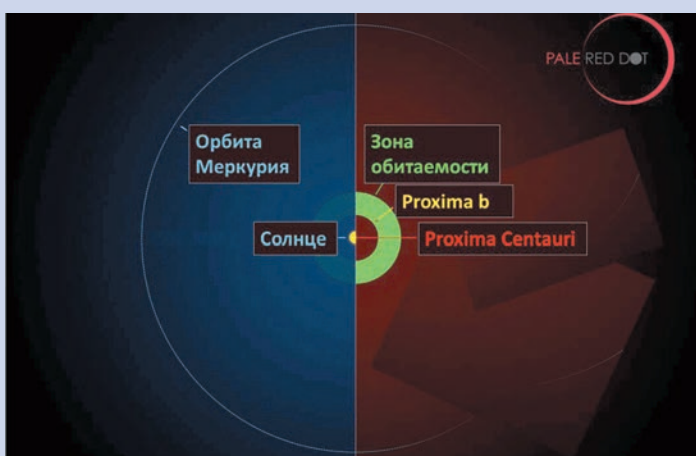


Игнаси Ривас во время доклада на 51-м симпозиуме ESLAB «Extreme Habitable Worlds» (Нордвейк, Голландия, 7 декабря 2017 г.). Фото автора

лее вероятных финальных варианта: в первом Proxima b вращается синхронно, т. е. постоянно обращена к своей звезде одной стороной, во втором — оказывается в резонансе 3 : 2 с орбитальным вращением, совершая три оборота вокруг оси на протяжении двух орбитальных периодов. Это, в свою очередь, зависит от вытянутости планеты (отличия ее формы от сферической) и эксцентриситета ее орбиты. Чем больше значения этих параметров — тем более вероятен «резонансный» сценарий.

² Зона обитаемости — область пространства, окружающая звезду, в пределах которой на поверхности планеты вода может находиться в жидком состоянии. В Солнечной системе Венера находится вне зоны, а Марс — за внешней границей зоны обитаемости.

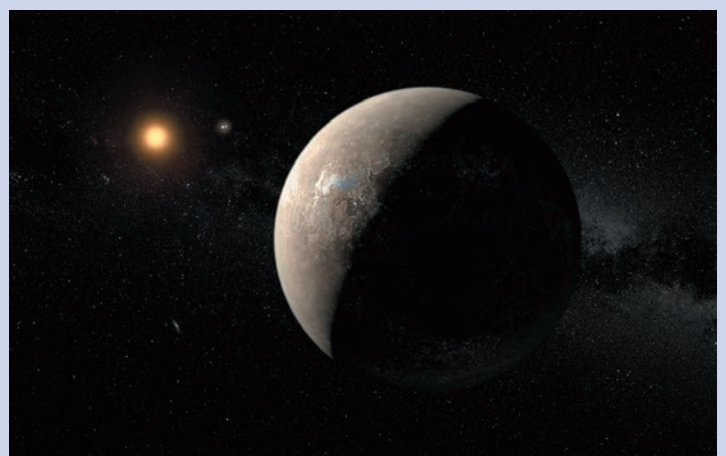
³ The habitability of Proxima Centauri b — Ignasi Ribas, Institut d'Estudis Espacials (IEEC-CSIC), Barcelona, España.



На диаграмме представлена орбита Proxima b в сравнении с орбитой Меркурия. Проксима Центавра меньше и холоднее нашего светила, а ее планета гораздо ближе к ней, чем Меркурий к Солнцу, и находится внутри зоны обитаемости своей звезды — необычайно маленькой, тусклой и холодной по сравнению с Солнцем:

- ✓ 15 % от радиального размера Солнца;
- ✓ 0,005 % визуальной яркости Солнца (большая часть света инфракрасная)
- ✓ 12 % массы Солнца;
- ✓ 0,17 % от общей светимости Солнца;

Такие параметры типичны для красных карликов, самых распространенных во Вселенной звезд. Источник: ESO/M. Kornmesser/G. Coleman



Планета Proxima b в представлении художника. Ее родительская звезда Проксима Центавра (слева вверху) является самым маленьким членом тройной звездной системы, которая также содержит α Центавра А и В (видны на иллюстрации между планетой и звездой), которые сравнимы по размерам и другим параметрам с Солнцем. Источник: M. Kornmesser / ESO. ESO/M. Kornmesser/G. Coleman

Интересно, что при нем солнечные сутки будут вдвое дольше планетного года.⁴

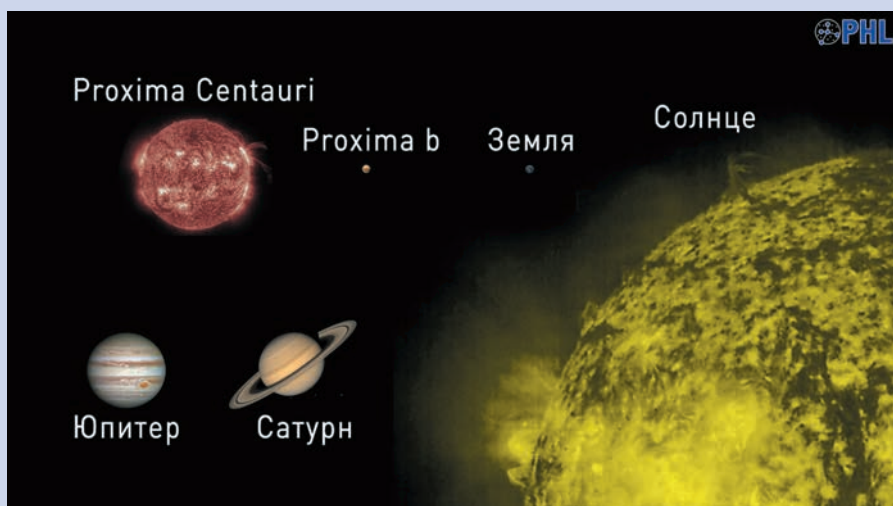
ЗЛОЙ КАРЛИК

Проксима Центавра — очень активная звезда, в относительных значениях существенно более активная, чем Солнце. Она всегда была такой, причем в прошлом ее активность по многим признакам могла быть даже выше. На расстоянии, равном среднему радиусу орбиты планеты Proxima b, на квадратный метр поверхности, перпендикулярной к направлению на звезду, падает 64 ± 3 % лучистой энергии, поступающей от нашего светила на такой же квадратный метр за границей земной атмосферы (так называемая солнечная постоянная). Основная часть этого излучения приходится на красную часть видимого спектра и прилегающий к ней ближний инфракрасный диапазон. Также Земля получает в 20 раз больше важного с точки зрения развития жизни низкоэнергетического ультрафиолетового излучения. Зато опасного высокоэнергетического ультрафиолета в районе орбиты Proxima b оказывается в несколько десятков раз больше! Но это еще не самое неприятное.

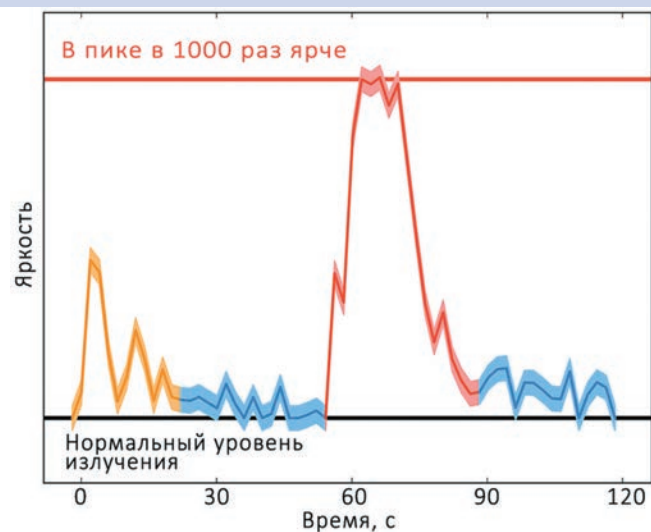
⁴ В Солнечной системе именно в таком резонансе с орбитальным движением вращается Меркурий — ближайшая к Солнцу планета.



Сравнение размеров Земли и Proxima b. Источник: PHL @ UPR Arcibo, NASA EPIC Team



Сравнение размеров звезды Proxima Centauri и ее планеты Proxima b с Солнцем и его планетами. Источник: PHL @ UPR Arcibo



Проксима Центавра во время вспышки и экзопланета Proxima b в представлении художника (слева). Согласно наблюдениям радиообсерватории ALMA 24 марта 2017 г., на протяжении двух минут мощность излучения, испускаемого Проксимой Центавра в микроволновом диапазоне, значительно превышала средний уровень (его возможные флуктуации на графике изображены голубой кривой), а в ходе самой мощной вспышки, показанной красным цветом, превзошла его более чем в тысячу раз. Предшествующий ей всплеск активности выделен оранжевым. Источники: Roberto Molar Candanosa / Carnegie Institution for Science, NASA/SDO, NASA/JPL ; Meredith MacGregor, Carnegie

Общая мощность излучения Проксимы Центавра может меняться в широких пределах, сильно воз­растая во время вспышек, случа­ющихся не так уж и редко. Замет­ные изменения связаны также с вращением звезды вокруг оси — как мы уже знаем, его период равен 86 суток — и с циклами ее актив­ности, основной из которых длится примерно семь земных лет. Опять же, в общем потоке излучения эти колебания не слишком заметны (до 15 % — при вспышках, порядка процента — в результате вращения и вариаций активности), но если взять отдельно дальний ультрафио­летовый диапазон, там они оказыва­ются весьма существенными.

Имея информацию о свойст­вах центральной звезды, Игнаси Ривас и его коллеги смогли оце­нить, насколько интенсивно ее пла­неты теряют атмосферу. Правда, тут необходимо знать еще один важный параметр — напряжен­ность планетного магнитного поля (а о нем мы пока ничего не знаем). В некоторых моделях этот пара­метр принимается равным зем­ному, в некоторых — немного меньше. Так или иначе, оценки плот­ности вещества звездного ветра на орбите Proxima b говорят о том, что она должна быть на 2-3 порядка больше, чем в окрестностях Земли, а давление этого ветра — примерно в 2 тысячи раз выше. При таких условиях, чтобы избежать больших потерь летучих веществ, это небес­ное тело должно иметь в сотни раз более мощное магнитное поле, чем наша планета, и даже тогда потери будут очень высокими.

Вот так обстоят дела в на­ше время... а в прошлом они были еще хуже. Мы уже знаем, что раньше Солнце было более активным, и Земля получала от него больше высокоэнерге­тического излучения. Но то же самое справедливо в отноше­нии Проксимы Центавра и ее спут­ника (если основываться на сов­ременных эволюционных моде­лях звезд главной последователь­ности). Если бы Proxima b на ран­них стадиях эволюции находи­лась в зоне обитаемости своего светила, она получала бы от него огромные количества энергии. Это общеизвестный факт для всех типов звезд. Причем планета была бы уже полностью сформирован­ной в то время, когда центральная

звезда еще продолжала сжиматься и разогреваться, т. е. она провела бы некоторое время — возможно, несколько миллионов лет — вне зоны обитаемости, которая тогда находилась дальше от звезды, и где вся ее вода находилась бы в газо­образном состоянии. В этих усло­виях потери летучих веществ оказались бы особенно велики. Как видите, историю планеты бли­жайшей звезды нельзя назвать счастливой...

Если попытаться оценить, как в прошлом менялся уровень высокоэнергетического излучения, который получала Proxima b, то выяс­нится, что он, вероятнее всего, также был выше современного. Об этих аспектах эволюции красных кар­ликов пока известно мало, но даже самые консервативные оценки гово­рят о превышении сегодняшнего уровня как минимум в 10 раз. Обще­же количество жесткого ультрафио­лета, полученного ближайшей эк­зопланетой за всю ее историю, ока­зывается в 8–25 раз большим, чем в случае Земли.

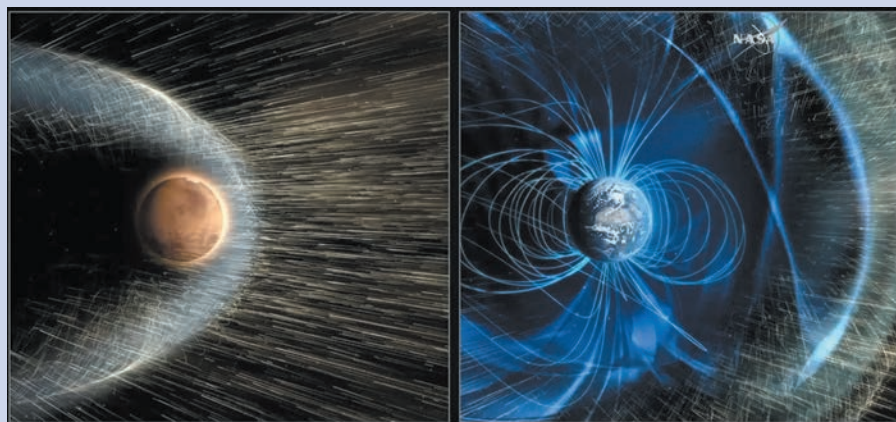
КЛИМАТ

Подводя итоги, Игнаси Ривас отме­тил, что космическое окружение Proxima b на ранних стадиях ее эво­люции было намного более враждеб­ным, чем у нашей планеты. Более того, из-за особенностей своей зве­зды она испытывала такие внеш­ние воздействия, которые никогда не имели места в случае Земли.

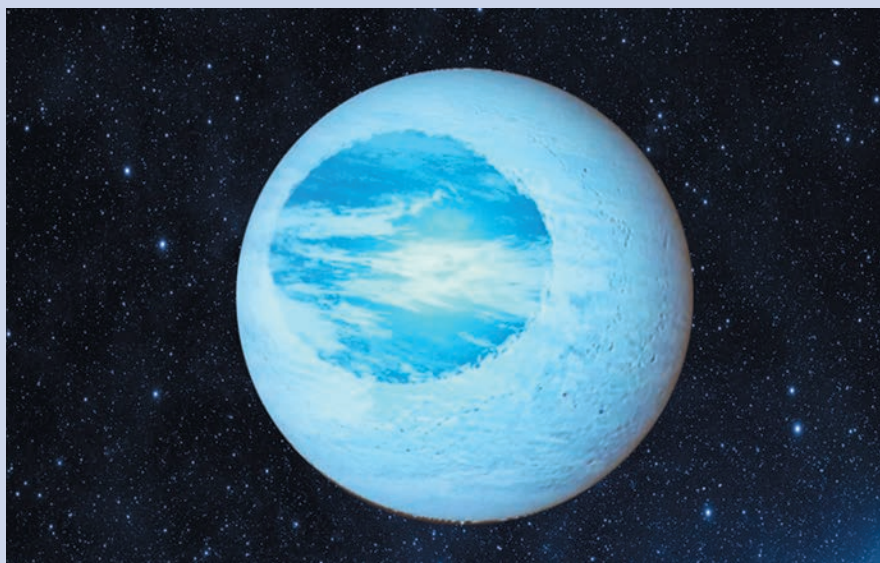
Например, она потеряла огромное количество летучих веществ (в пер­вую очередь — воды), по суммар­ному объему эквивалентное от поло­вины до двух объемов земных океа­нов. Однако поскольку мы не знаем, сколько воды там было изначально, то нельзя сделать вывод, что это тело в наши дни совершенно лишено влаги.

Расчеты, выполненные в рамках различных моделей с разными набо­рами начальных условий, показывают весьма значительные потери лету­чих веществ за время существования планеты — от 15 до 25 земных океа­нов. Однако после того, как она ока­залась в пределах зоны обитаемости, ее эволюция, как ни странно, не ста­новится более определенной (в ней по-прежнему фигурирует слишком много трудноучитываемых факто­ров), и нельзя сказать, продолжалась ли потеря воды теми же темпами. Во всяком случае, в Солнечной сис­теме есть примеры прогрессирую­щего «высыхания» уже в нашу эпоху. Когда молекулы воды покидают атмосферу под действием светового давления, часть из них расщепля­ется ультрафиолетовым излучением на кислород и водород. Последний преимущественно улетучивается, а первый — остается в газовой обо­лочке в виде так называемого «аби­огенного кислорода», не связанного с деятельностью живых организмов, что существенно усложняет пои­ски возможной жизни на ближайшей экзопланете.

В публикации профессора Уни­верситета Вашингтона Рори Бар-



На ранних этапах своей эволюции Марс имел магнитное поле, подобное земному, которое предохраняло его атмосферу от «сдувания» солнечным ветром. Возможно, это справедливо и в отношении экзопланеты Proxima b, однако она изначально находилась в более неблагоприятных условиях. Общий объем летучих веществ (в первую очередь воды), потерянный этой планетой за время ее существования, оценивается в 0,5–2 объема земных океанов. Источник: NASA



Если Proxima b расположена у внешней границы зоны обитаемости, вращается синхронно (т. е. постоянно повернута к своей звезде одной стороной) и полностью покрыта океаном, его поверхность, вероятнее всего, будет полностью покрыта льдом — кроме окрестностей точки, где центральная звезда постоянно видна в зените. Такой вид планеты получен в результате компьютерной симуляции

нца⁵ (Rory Barnes, University of Washington, Seattle) исследованы различные пути эволюции Proxima b, исходя из различных начальных параметров, разных количеств воды, водорода и т. д. Главный вывод исследователей — несмотря на то, что эта планета почти постоянно находилась в жестких условиях, она, тем не менее, при определенных исходных данных и эволюционных сценариях вполне может быть обитаемой в наше время, т. е. считаться перспективным кандида-

⁵ <https://palereddot.org/opportunities-and-obstacles-for-life-on-proxima-b/>.

том с точки зрения экзобиологии. Конечно, весьма вероятно, что все водоемы на ее поверхности давно уже исчезли, но нельзя исключать и того, что исходно воды там присутствовало очень много, а излучение звезды все же было не столь интенсивным, чтобы всю ее испарить.

Рассматривая вопрос о возможных современных климатических условиях на Proxima b, Игнаси Ривас подчеркнул, что существует немало моделей, допускающих наличие на ее поверхности жидкой воды. Параметры среды сильно зависят от атмосферного

давления и концентрации углекислого газа. Компьютерная симуляция для синхронного вращения дает «классическое» стабильное распределение приповерхностных температур с максимумом в точке, где центральная звезда постоянно видна в зените. Возможно даже, что вся планета будет покрыта льдом, исключая небольшой участок в окрестностях этой точки. В случае резонанса 3 : 2 мы имеем длинные сутки, однако все равно температурные максимумы должны смещаться вдоль экватора, а самые холодные участки окажутся на полюсах, где можно ожидать наличия полярных шапок.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ PROXIMA b

Игнаси Ривас с коллегами исследовали также и биологические аспекты Proxima b. Первым такое исследование предложил Рей Ричи (Ray Ritchie), взявшийся изучать возможность фотосинтеза на ее поверхности. Совместная работа ученых опубликована в International Journal of Astrobiology. В ней говорится о том, что эта планета — весьма неблагоприятное место для водного аноксигенного фотосинтеза земного типа, в основном из-за того, что значительная часть излучения Проксимы Центавра приходится на ближний инфракрасный диапазон, сильно поглощаемый водой. Когда вы погружаетесь в глубины океана, количество энергии, вызывающей процессы фотосинтеза, падает очень быстро, а на спутниках красных карликов уже на глубине нескольких метров ее почти не остается (в земных водоемах такой уровень излучения присутствует на глубинах 30–70 м, в зависимости от прозрачности воды). Но это не исключает того, что Proxima b является пристанищем какого-то особого типа биосферы — например, анаэробных бактерий или микроорганизмов, использующих для жизни уже упомянутый абиогенный кислород. Сам Рей Ричи назвал ее «довольно скучным и неприятным местом для жизни». Однако, возможно, если мы найдем способ увидеть эту планету непосредственно, нас, похоже, будет ожидать сюрприз.



Тусклый диск родительской звезды на более красном и темном закатном небосводе планеты Proxima b выглядит почти втрое большим, чем Солнце в небе Земли — примерно так, как изображено на этой иллюстрации. В качестве базового изображения использована фотография пляжа Пуэрто-Нуэво (Вега Баха, Пуэрто-Рико). На самом деле пейзаж ближайшей экзопланеты сильно отличается от земного. Вероятнее всего, там нет ни атмосферы, ни жидкой воды на поверхности. Источник: PHL @ UPR Arcibo