

[Get a PDF](#)

Поиск жизни за пределами Солнечной Системы: экзопланеты, биосигнатуры, инструменты

Евгений Бобух

О чём речь?

В марте 2014-го года я посетил арizonский город Tuscon и проходившую там конференцию [Search for Life Beyond the Solar System: Exoplanets, Biosignatures & Instruments](#).

Занесло меня туда из чистого любопытства, но я нисколько не пожалел. Было очень здорово встретить людей, ищущих планеты и жизнь у других звёзд, и услышать подробности непосредственно от создателей новых инструментов и новой науки. Настолько, что я решил поделиться. Разумеется, все полсотни докладов здесь не пересказать. Но штук пять наиболее на мой взгляд любопытных я отобрал. Пусть с запозданием в пару месяцев, но лучше так, чем совсем никогда.

Официальное отречение: я не специалист. Да, у меня физическое образование. Да, я читаю книжки по этой теме и понимаю её терминологию. Да, я постарался по возможности адекватно донести суть докладов. Но я всё-таки не работаю в этой области и вполне мог что-то упустить. Если моё описание покажется Вам местами чрезмерно сенсационным или, наоборот, туманным, лучше обратиться за разъяснениями непосредственно к авторам. Их контакты указаны в ссылках.

Содержание

[Progress Toward Reliable Planet Occurrence Rates with Kepler](#)

[Characterizing atmospheres of transiting planets from the ground](#)

[Biosignatures & circular spectropolarimetry](#) (три доклада)

[Finding planets transiting the brightest stars with MASCARA](#)

[Synthetic Biology and the Search for Extraterrestrial Life](#)

Progress Toward Reliable Planet Occurrence Rates with Kepler

Natalie Batalha (NASA Ames Research Center)

[Abstract \(Тезис\)](#)

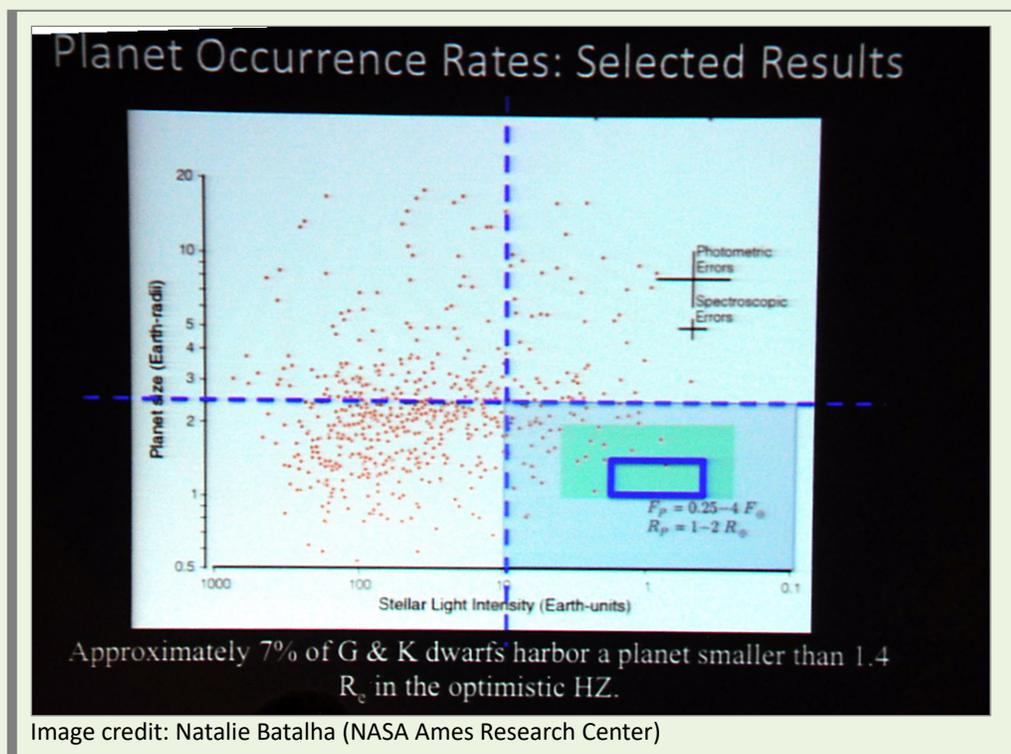
[В начало](#)

В принципе, суть работы раскрывается одной лишь приведённой ниже картинкой. Но имеет смысл объяснить некоторые подробности.

По состоянию на апрель 2014 года людьми открыто более 1780 планет у других звёзд. Но методы, для этого используемые, несовершенны. Они гораздо лучше "чувствуют" планеты либо огромные, с Нептун и тяжелее, либо очень близкие к своему солнцу. Куда более близкие, чем Меркурий -- к нашему. С бытовой точки зрения на таких планетах царит "адский ад": облака из калия, натрия и силикатов, и раскалённые до многих тысяч градусов атмосферы зачастую вообще без всякой твёрдой поверхности. Жизнь, в привычном нам понимании, в таких мирах невозможна.

Для поисков жизни (и, теоретически, колонизации) гораздо интереснее планеты другие. Полегче, примерно земной массы. И расположенные подальше от своего светила. Так, чтобы температура на

них держалась в районе комфортных 300 градусов Кельвина. В принципе, такие планеты мы уже обнаруживаем. Но с трудом, гораздо хуже и куда реже, чем "горячие Нептуны". Ибо наши методы, как уже сказано, несовершенны. Малочувствительны к таким планетам.



Картинка резюмирует эту ситуацию. Красные точки на ней -- планеты у звезд классов G и K, известные на март 2014 года по результатам работы [телескопа "Кеплер"](#). По оси X отложена освещенность на этих планетах по сравнению с земной, а по вертикали радиусы этих планет в земных радиусах. Видно, что основная популяция кучкуется в районе освещенностей порядка 100 наших и радиусов в 1.5 - 3 земных. Это соответствует тамшним температурам в районе эдак тысячи градусов Кельвина, а массам в 4-50 земных. Такие небесные тела, скорее

всего, куда более похожи на Нептун, нежели на Землю. Только гораздо горячее, впридачу.

Нам же интересна область, очерченная синеньким прямоугольником справа внизу. Именно в нём планеты, предположительно, должны быть более-менее похожими на Землю, и, соответственно, хотя бы потенциально обитаемыми. Но, увы, он почти пуст! А пуст он, вероятнее всего, потому, что наши методы просто плохо "видят" планеты в этой зоне.

Вопрос: так нельзя ли, в принципе зная **всё** про наши методы детектирования, оценить их КПД в синем квадратике, затем взять частоту уже наблюдавшихся планет поблизости от него и, проэкстраполировав и поделив её на этот КПД, оценить, сколько же **на самом деле** имеется в космосе планет в указанном квадрате свойств?

Именно это со всей аккуратностью в работе и было проделано. И получен довольно оптимистичный вывод о том, что у 7% звезд классов G и K должны быть планеты землеподобного размера и с правильным температурным режимом!

Сразу уточним пару вещей:

1. "Землеподобным" в данной работе полагался размер от 1.0 до 1.4 земных радиусов. Строго говоря, планеты и несколько меньших размеров тоже могут быть потенциально обитаемыми, но туда автор не заглядывала, как я понял, опасаясь слишком далёкой ненадёжной экстраполяции.
2. "Нормальная" освещенность -- это примерно от 40% до 200% нашей. То есть эквивалент области от Марса до Венеры в Солнечной Системе. Несколько оптимистично, но в пределах разумного.
3. Звезды класса M не рассматривались. На самом деле их в нашей Галактике большинство (76% против 12% для K и 7% для G). У них тоже бывают планеты. Но имеются большие разногласия по поводу того, могут ли планеты таких звезд в принципе быть обитаемыми, даже если они находятся в комфортной температурной зоне.

И тем не менее, даже если быть пессимистом и считать потенциально пригодными для жизни планеты **только** у звезд классов G и K, результат очень радует. Он означает, что с вероятностью в

1.3% у любой звезды, в которую Вы (предпочтительно не глядя) ткнёте пальцем, найдутся планеты, на которых, по нынешним представлениям, имеет смысл искать жизнь!

Это, конечно, далеко не единственная работа по данной теме. Их много. Но, что интересно, за прошедшее десятилетие результаты этих работ потихоньку начинают сходиться к более-менее одинаковой цифре в районе 5-10% (если включить класс M). То есть, именно столько звёзд обладают потенциально землеподобными планетами.

Это, в принципе, закрывает неопределённость почти философского масштаба, существовавшую чуть ли не со времён Джордано Бруно. Четыреста лет было непонятно: как часто встречаются "хорошие" планеты у других звёзд? Одна на триллион? Одна на тысячу? Десять на одну? Сегодня мы, наконец, знаем ответ: их где-то 7%. Плюс-минус пару раз. То есть, множественные миры существуют. Их много. И на многих из них вполне серьёзно имеет смысл искать жизнь.

Очень неплохой результат.

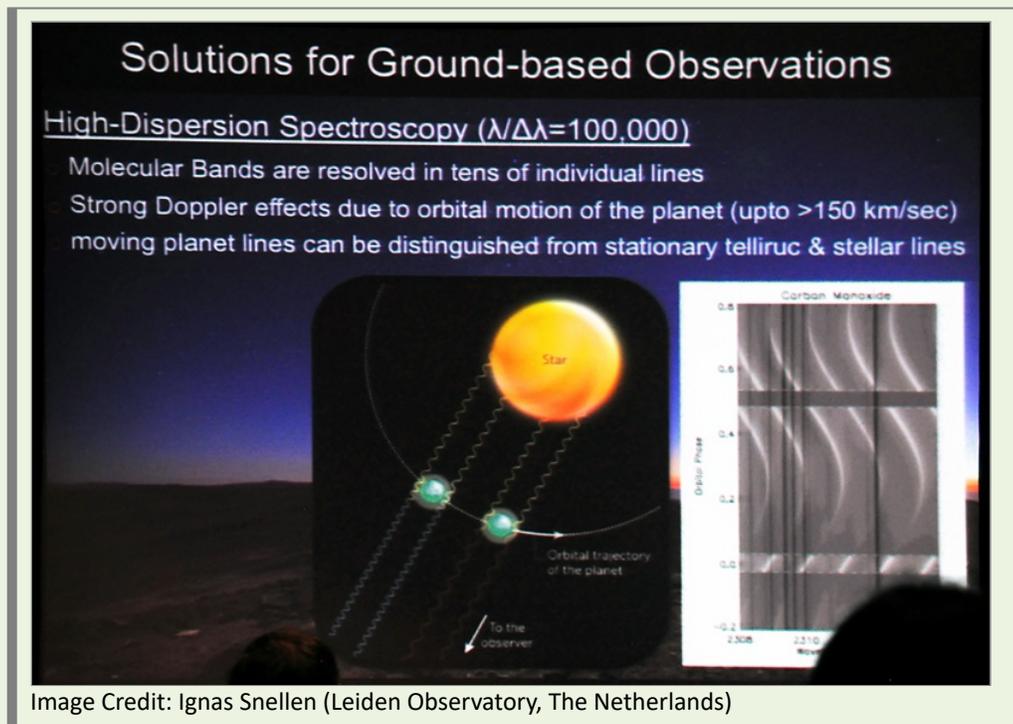
Characterizing atmospheres of transiting planets from the ground

Ignas Snellen (Leiden Observatory, The Netherlands)

[Abstract \(Тезис\)](#)

[В начало](#)

Весьма любопытная работа, описывающая, если я всё правильно понял, принципиально новый метод обнаружения планет у других звёзд.



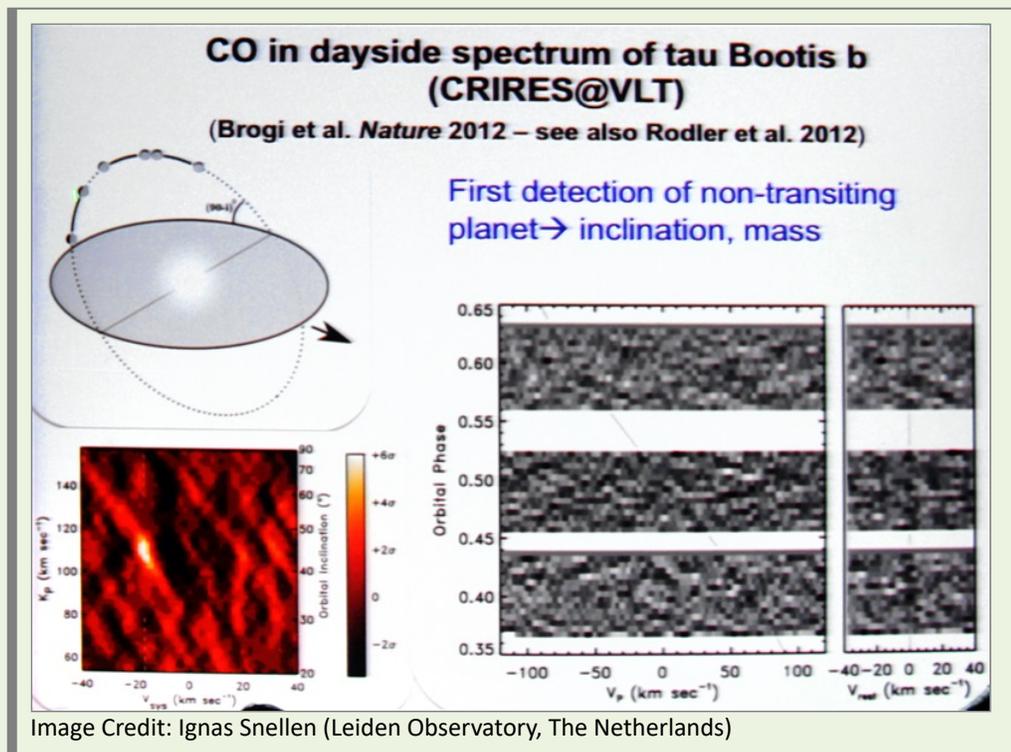
Как известно, большинство экзопланет сегодня обнаруживают по их воздействию на излучение своей звезды. Они либо "качают" своим притяжением звезду вперёд-назад, вызывая доплеровское смещение её спектральных линий. Либо проходят перед диском звезды, частично её затмевая (т.н. транзитный метод). На долю всех прочих способов приходится пока лишь несколько процентов открытий.

Поэтому появление новых методов вызывает закономерный интерес. Особенно если эти методы не требуют

транзитов и связанной с ними редкой удачной геометрии. А именно такой метод и был представлен в докладе.

На бумаге всё выглядит чрезвычайно просто. С Земли мы можем наблюдать спектр звезды -- и планеты возле неё -- с высочайшим разрешением. Если у планеты есть атмосфера, то в этом спектре будут присутствовать и линии молекулярного поглощения составляющих её газов. А поскольку планета движется вокруг своей звезды, эти линии будут периодически "плавать" по частоте за счёт доплеровского смещения. Аналогово "вычитая" из них статические спектры звезды и земной атмосферы, можно получить эдакую синусоиду на графике "время - спектр", как на картинке слева. Затем, тщательнейше промеряя период, глубину, разброс и форму этого "плавания", из него можно вытащить не только сам факт наличия планеты, но и её орбитальный

период, наклон орбиты, массу, параметры осевого вращения, и даже рисунки ветров и изотопный состав атмосферы. В теории метод должен хорошо работать на европейском [Экстремально Большом Телескопе](#) после завершения его постройки в 2022-м году.



На практике, конечно, задача невероятно сложна. Искомый сигнал очень слаб. Его нужно отделить от спектра звезды. Я даже не буду делать вид, что уловил все инженерные подробности способа, которым это достигается. Факт тот, однако, что метод работает. В другой работе (Brogi. *et al.*, см вторую картинку) авторы вполне успешно "потренировались" на горячем Юпитере tau Bootis b, выбрав в качестве цели линию поглощения угарного газа в районе 4 мкм. И смогли обнаружить планету!

Очевидно, этот метод тоже "предпочитает" крупные планеты с короткими периодами. Однако он не требует транзитов, позволяет заниматься длительным накоплением сигнала, и в случае успеха сразу даёт множество параметров новооткрытой планеты.

Biosignatures from circular spectropolarimetry: key science for ELTs?

K. G. Strassmeier, T. A. Carroll & M. Mallonn (Leibniz-Institute for Astrophysics Potsdam (AIP), Germany)

Towards Polarimetric Exoplanet Imaging with ELTs

Christoph U. Keller (Leiden Observatory), Visa Korkiakoski (Leiden Observatory), Michiel Rodenhuis (Leiden Observatory), Frans Snik (Leiden Observatory)

Remotely sensing homochirality, a powerful generic biosignature

William B. Sparks (Space Telescope Science Institute), James H. Hough (University of Hertfordshire, UK), Ludmilla Kolokolova (University of Maryland, College Park), Thomas Germer (National Institute of Standards and Technology), Frank Robb (University of Maryland, School of Medicine)

Laboratory insights into the detection of surface biosignatures by remote-sensing techniques

Olivier Poch¹, Antoine Pommerol², Bernhard Jost², Isabel Roditi³, Joachim Frey⁴, and Nicolas Thomas² (1 Center for Space and Habitability, University of Bern, 2 Physikalisches Institut, University of Bern, 3 Institut für Zellbiologie, University of Bern, 4 Institut für Veterinär-Bakteriologie, University of Bern)

[Abstracts \(Тезисы\).](#)[В начало](#)

На конференции было представлено целых четыре работы по спектрополяриметрическим исследованиям планет. Я расскажу главным образом про первую, но с привлечением некоторых материалов из остальных трёх, ибо их темы, методы и выводы в значительной степени пересекаются.

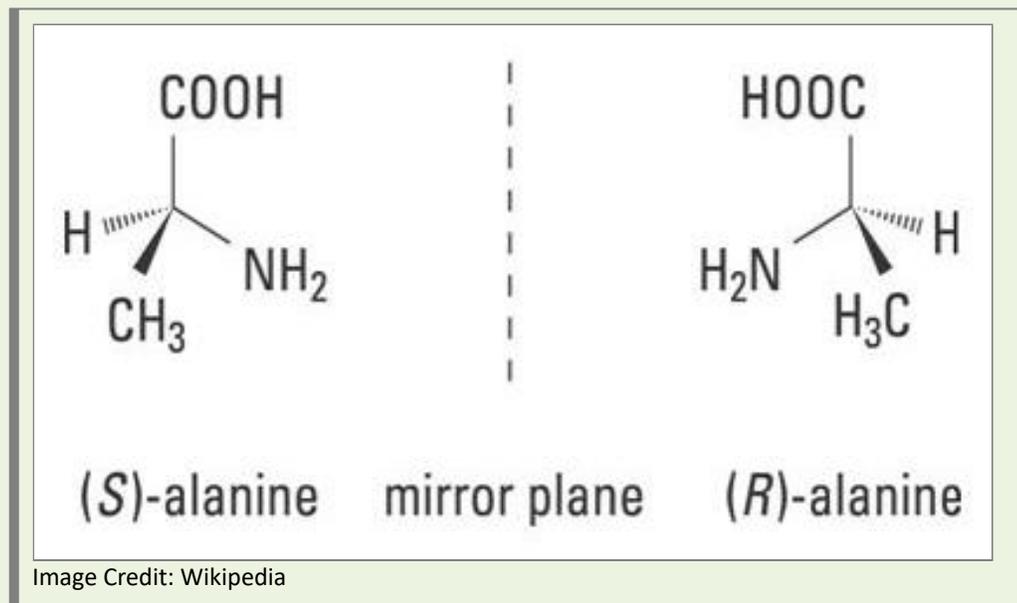
Итак, нам хочется знать, есть ли жизнь на какой-нибудь далёкой-далёкой планете **N**. К звёздам летать мы пока не умеем. Значит, надо воспользоваться той информацией, которая прилетает к нам с **N** сама. А это, на сегодня, лишь электромагнитное излучение. Главным образом свет видимый и инфракрасный. Значит, работать надо спектральными методами.

В принципе ничто не мешает, сняв высококачественный спектр из атмосферы планеты, искать в нём линии поглощения хлорофилла или аминокислот. Но есть на этом пути две фундаментальнейшие трудности.

Первая -- а что именно искать? Где гарантия, что "тамошняя" жизнь использует именно наш хлорофилл и наши аминокислоты? Вдруг её основным метаболитом является глицерин, а мы глюкозу ищем? А ведь только известных нам органических соединений -- миллионы. Поди угадай.

Вторая проблема ещё серьёзнее. Пусть мы даже угадали и действительно выявили в тамошнем спектре знакомую аминокислоту. Вопрос: а с чего мы взяли, что она биологического происхождения, а не возникла, например, в результате тамошнего экзотического вулканизма или смогообразования?

Проблемы серьёзные. И вот тут нам на помощь приходит спектрополяриметрия и, извините за неблагозвучность русского термина, [хиральность](#) многих органических молекул.



Суть явления проста. Как известно, многие молекулы можно "собрать" из составляющих их атомов разными способами. Так, что общий состав будет одинаковым, но молекулы по форме всё-таки разными. Это называется изомерией. Частный её случай -- так называемая зеркальная изомерия. Это когда один вариант молекулы является точным зеркальным отражением другого. Это может быть не совсем очевидно, но зеркальные изомеры --

это **разные** молекулы, точно так же, как правая и левая рука -- это **разные** объекты. Поэтому зеркальные изомеры обладают, в общем случае, **разными** химическими, физическими, и иногда даже вкусовыми свойствами. Чаще, правда, разница заметна лишь в специальных экспериментах.

Почти все молекулы, из которых состоит и которыми пользуется наша жизнь, обладают зеркальными изомерами. Включая всем знакомую обыкновенную сахарозу.

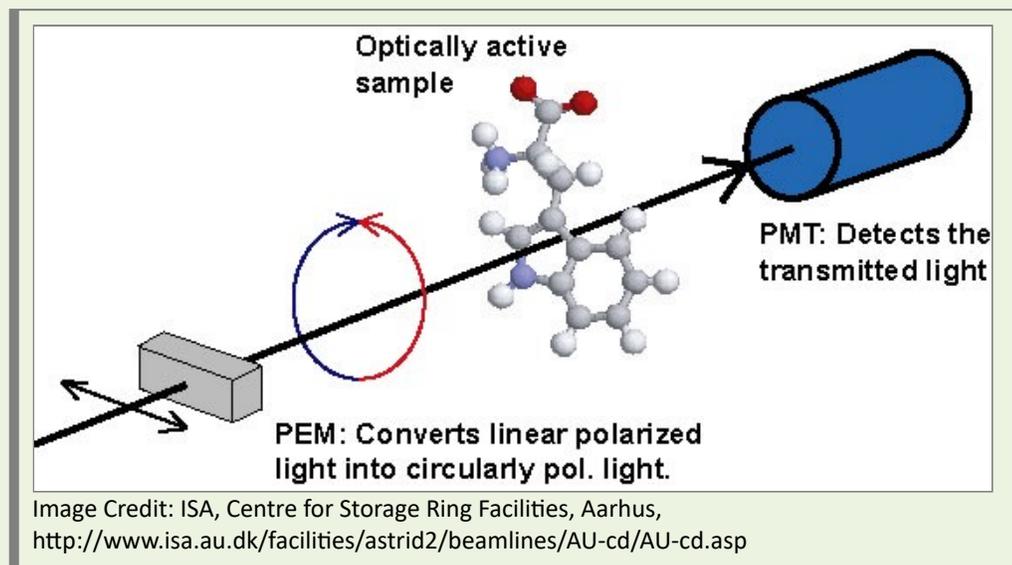
Если эти молекулы синтезировать небиологическим путём в пробирке или луже, то и "правые", и "левые" изомеры обычно возникают с равной вероятностью и получается смесь 50 на 50. Иное дело жизнь. Она **строго** предпочитает какой-либо один изомер. Так, почти все наши аминокислоты -- это L-изомеры (условно, "левые"), а сахара, наоборот, D (условно, "правые").

Как так получилось? Скорее всего, самая первая клетка случайно синтезировала ту или иную разновидность, её потомки успешно повторили это действие, потом ещё и ещё, так и вышло, что "правая" или "левая" форма молекулы стала унаследованным "стандартом" нашей жизни. Не потому, что она чем-то лучше. Просто "здесь так принято". Софтверные стандарты тоже возникают зачастую похожим, отнюдь не самым рациональным, образом.

[Хотя вот [здесь](#) приведён просто потрясающий список механизмов, создающих или усиливающих хиральность небиологическим путём. Кто знает, может, не было никакой войны стандартов, а действовал именно один из них?]

Конечно, нет никакой гарантии, что жизнь у другой звезды будет использовать те же молекулы, что и наша, да ещё с той же зеркальностью. Но почти наверняка **какое-то** предпочтение в этом вопросе у неё будет. Тамошние аминокислоты, или что их там заменяет, тоже должны быть предпочтительно или только "левыми", или только "правыми".

И вот здесь мы вспоминаем про оптическую активность!



Оказывается, зеркально асимметричные молекулы обладают одним в высшей степени важным свойством. Если в раствор такой молекулы впустить линейно поляризованный свет, то на выходе он окажется [поляризованным](#) эллиптически или даже по кругу! В частности, этим свойством обладает и привычный нам столовый сахар. У раствора "правых" его молекул свет будет закручен вправо, у

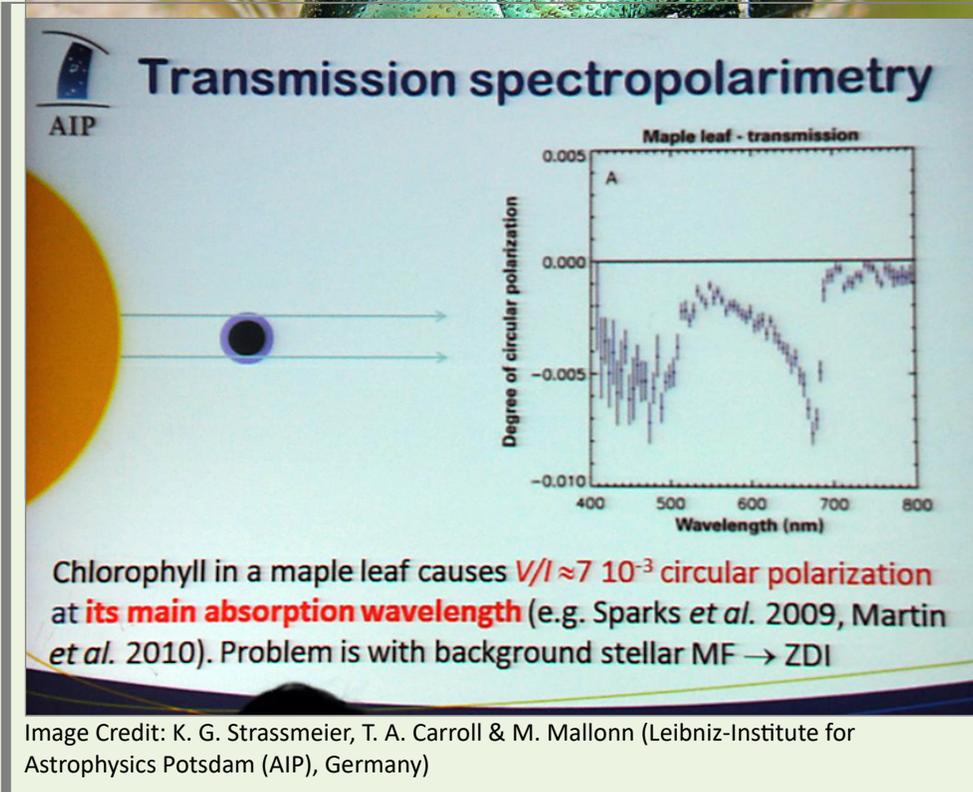
"левых" -- влево. Если смешать, но не поровну, то закрутка ослабеет, но останется. В ту сторону, которой отвечает большинство молекул. И лишь в одном случае её не будет вовсе: когда и "правых", и "левых" молекул -- поровну. Что характерно для абиогенных процессов.

Кроме того, зеркально-ассимметричные молекулы "закручивают" свет ещё и при отражении. Так, всем известный жук-бронзовка [отражает свет преимущественно в лево-закрученном состоянии](#):

Image Credit: Wikipedia

Способность приносить в свет круговую поляризацию в той или иной степени присуща почти всей живой материи на нашей планете. Так, [вот здесь](#) пишут, что "уровни круговой поляризации света, рассеянного микроорганизмами, находятся в диапазоне $p_c \approx 10^{-3}$ -- 10^{-4} , листьями -- $p_c \approx 2 \cdot 10^{-3}$, в то время как для оксида железа они порядка экспериментального шума $p_c \approx 4 \cdot 10^{-5}$, где p_c -- степень круговой поляризации, меняющаяся от 0 до 1".

Итак, вырисовывается схема эксперимента по поиску внеземной жизни:



Планета **N** проходит между нами и своей звездой. Неполаризованный солнечный свет, рассеиваясь атмосферой, становится частично линейно поляризованным. Эта линейная компонента, проходя через тамошнюю "листву", "бактерии" в волнах, рассеиваясь на панцирях тамошних "жуков", приобретает небольшую круговую поляризацию.

На Земле мы её ловим. Выделяем только закрученную компоненту и только, например, правую. Всё остальное отсекаем. И регистрируем спектр пойманного света.

Делаем это достаточно долго. Неделями, если надо. Пока не наберётся нужное количество фотонов.

Потом повторяем то же самое, но уже со светом, закрученным влево. Тоже долго-долго копируем информацию, пока не получится качественный спектр.

А потом мы эти спектры сравниваем.

И если оказывается, что вблизи линий поглощения чего-бы-там-ни-было (ЧБТНБ) наблюдается существенная разница между "правым" и "левым" спектром, то радостно заявляем: ага! Это ЧБТНБ -- скорее всего, сложное органическое вещество с чётким преобладанием какой-то одной хиральности. То есть, можно вполне всерьёз задуматься о его биологическом происхождении!

Разумеется, этот путь не без трудностей. В принципе, "закручивать" свет умеют и некоторые минералы, и даже газы в присутствии сильного магнитного поля. Но эти эффекты можно пытаться отсекаать другими способами.

Image Credit: Christoph U. Keller (Leiden Observatory), Visa Korkiakoski (Leiden Observatory), Michiel Rodenhuis (Leiden Observatory), Frans Snik (Leiden Observatory)

Вполне может вогнать в пессимизм и величина искомого сигнала. По прогнозам, даже линейно поляризованный свет вряд ли будет составлять более 10^{-9} от общего светового потока,

при этом диаметр звезд эритроцита к размерам Земли, то доля этой компоненты вообще скорее всего будет составлять что-то порядка 10^{-9} от излучения звезды. **Сегодняшние** приборы к регистрации такого низкого контраста неспособны. Но авторы уверяют, что с этой работой на пределе возможностей сможет справиться европейский [Экстремально Большой Телескоп](#) (ELT), который обещают запустить в строй в 2022-м году.

Contrast: 10^{-9}

Can we observe circular polarization on exoplanets? We need a big (space?) telescope

Polarization degree:
0.01 – 0.001 vegetation, forests
0.001 - 0.0001 cyanobacteria
=> Photon budget range $10^4 - 10^8$

Table gives rough example required telescope diameter for integration time 4 weeks (no background, zodi etc – just the photons)

T = 4 weeks 20 nm bandwidth	25 mag	30 mag
10^4 photons	16 cm	1.6-m
10^6 photons	1.6-m	16-m
10^8 photons	16-m	162-m

Not (totally) crazy!
Exquisite S/N for biosignature gases, characterization, diurnal variations etc
Parallel cosmology

Оценки показывают, что телескоп космического базирования диаметром метров 16 также может решать эту задачу. Проблема в том, что **сегодня** подобного телескопа нет ни у кого ни на орбите, ни в планах. Так что ELT остаётся одной из наших главных надежд на обнаружение внеземной жизни, а разница между "правым" и "левым" спектрами пока выглядит, пожалуй, наиболее универсальным спектральным признаком жизни во Вселенной.

Images Credit: William B. Sparks (Space Telescope Science Institute), James H. Hough (University of Hertfordshire, UK), Ludmilla Kolokolova (University of Maryland, College Park), Thomas Germer (National Institute of Standards and Technology), Frank Robb (University of Maryland, School of Medicine)

Finding planets transiting the brightest stars with MASCARA

J.F.P. Spronck (Leiden University), A.-L. Lesage (Leiden University), R. Stuik (Leiden University), F. Bettonvil (ASTRON), I.A.G. Snellen (Leiden University)

[Abstract \(Тезис\)](#)

[В начало](#)

Image Credit: J.F.P. Spronck (Leiden University), A.-L. Lesage (Leiden University), R. Stuik (Leiden University), F. Bettonvil (ASTRON), I.A.G. Snellen (Leiden University)

Постерный доклад, весьма меня заинтересовавший. Тем более, что один из авторов оказался рядом и любезно ответил на все вопросы.

Итак, сегодня большинство планет у других звёзд открывают с помощью громадных и очень дорогих устройств, эдаких монстров телескопостроения. Однако техника не стоит на месте, и в данном

Finding planets transiting the brightest stars with MASCARA

Julien F.P. Spronck ⁽¹⁾, Anna-Léa Lesage ⁽¹⁾, Remko Stuik ⁽¹⁾, Felix Bettonvil ^(1,2), Don Pollacce ⁽³⁾ and Ignas A.G. Snellen ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Leiden Observatory, Leiden University, Leiden, The Netherlands

⁽²⁾ NGVA Optical-IR Instrumentation Group at ASTRON, Dwingeloo, The Netherlands

⁽³⁾ Department of Physics, University of Warwick, Coventry, United Kingdom

Полдюжины станций, раскиданных по всему миру, покрывают всё небо.

MASCARA, the Multi-site All-sky CAmera, is an instrument concept that will consist of several stations distributed across the globe, with each station containing a few low-cost wide-angle cameras to monitor the near-entire sky at each location. Its purpose is to find exoplanets transiting the brightest stars.

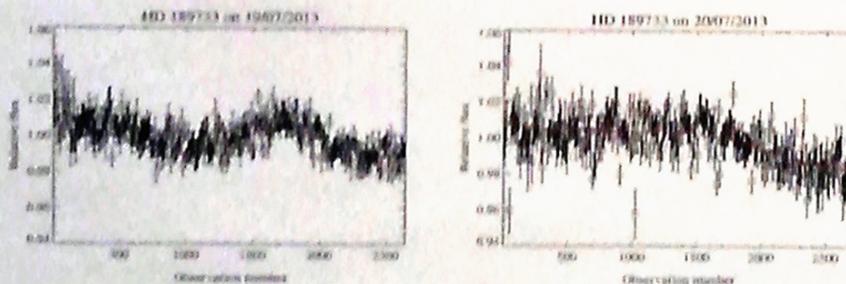
Requirements per station

- Full sky coverage down to airmass 2
- Magnitude range: V = 4-8

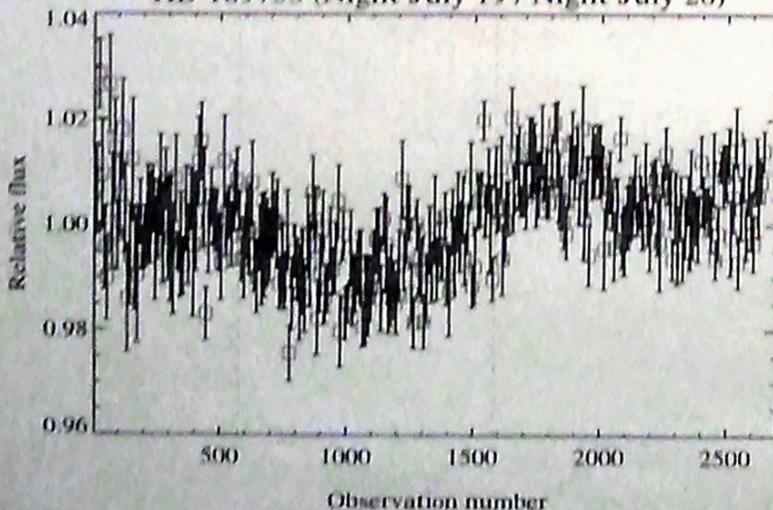


Preliminary analysis of single-camera test data:

Transit of HD 189733b (V=7.66)



HD 189733 (Night July 19 / Night July 20)



=> Detection of a single transit event with SNR = 20

Image Credit: J.F.P. Spronck (Leiden University), A.-L. Lesage (Leiden University), R. Stuik (Leiden University), F. Bettonvil (ASTRON), I.A.G. Snellen (Leiden University)

Image Credit: J.F.P. Spronck (Leiden University), A.-L. Lesage (Leiden University), R. Stuik (Leiden University), F. Bettonvil (ASTRON), I.A.G. Snellen (Leiden University)

CARA собрана в основном из приборов Atik 11000 оборудованы в герметизированный бокс, внутри -- мониторить небо от зенита до горизонта. Стоимость станции -- около \$100,000 за станцию.

Утверждается, что прибор достигает фотометрической чувствительности в 1% за час наблюдений для звезд 8-й величины. В подтверждение приводятся результаты тестового наблюдения транзита HD 18733b (звездная величина 7.66).

Таким образом, поиск внесолнечных планет становится уже доступен не только профессионалам, но и любителям.

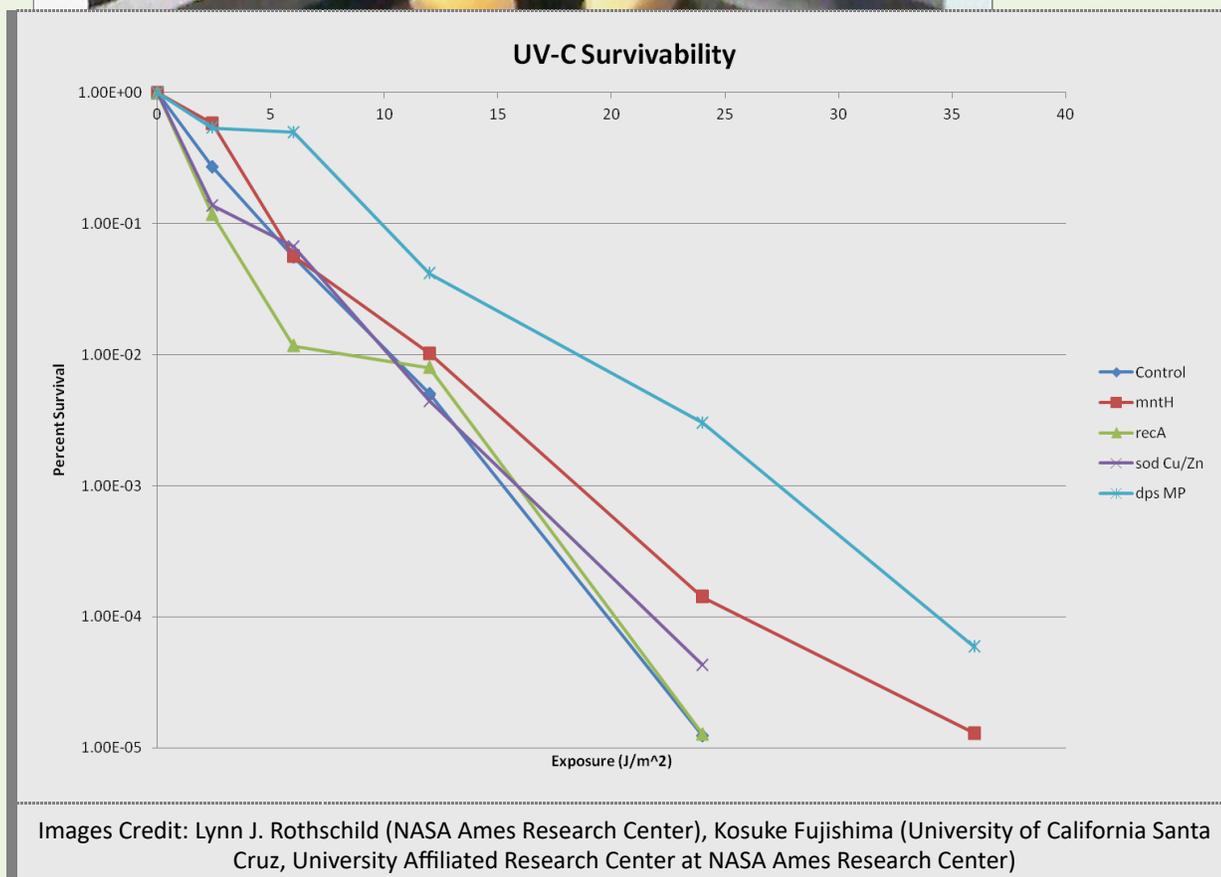
Synthetic Biology and the Search for Extraterrestrial Life

Lynn J. Rothschild (NASA Ames Research Center), Kosuke Fujishima (University of California Santa Cruz, University Affiliated Research Center at NASA Ames Research Center)



[Abstract \(Тезис\)](#)

[В начало](#)



Вот вы когда-нибудь слышали про

[синтетическую биологию](#)? Я, к своему изумлению, возникновение этой дисциплины проморгал. А между тем ей уже больше десятка лет, и люди там работают над вещами до крайности интересными.

Синтетическая биология занимается конструированием искусственных организмов. Обычно на уровне ДНК. Берут живую бактерию, "вписывают" ей в ДНК новые, иногда вообще в природе не существующие гены, и смотрят, что получится. Как правило, с практической целью, например, ради выведения новых полезных штаммов. Но иногда и ради чистой науки, как в данной работе, где авторы попытались расширить пределы условий, обычно полагаемых пригодными для жизни.

Для существ на Земле диапазон этих условий довольно узок. Так, большинству теплокровных нужна температура в пределах 0 - 40 C, а атмосферное давление -- между 0.5 и 2-мя атмосферами. Чем проще существа, тем менее комфортную обстановку они переносят. Многие бактерии прекрасно переживают временное высыхание, замораживание, отсутствие кислорода. А некоторые виды, известные под объединяющим названием [экстремофилов](#), живут в средах, с нашей точки зрения вообще убийственных. Так, штамм [Methanopyrus](#) с удовольствием размножается при температуре в 122 градуса Цельсия, организм под названием [Thermococcus gammatolerans](#) переносит радиацию (в расчёте на единицу веса) в тысячи раз выше смертельной для человека, а [криптоэндоциты](#) вообще живут в камнях. Внутри.

Возникает закономерный вопрос: а где предел? Что на самом деле является средой, ещё пригодной для жизни хоть каких-то существ? Может, эти границы гораздо шире, чем принято считать? Вопрос отнюдь не праздный. Ведь чем шире диапазон пригодности для жизни в пространстве возможных параметров среды, тем больше шансов эту жизнь во Вселенной где-нибудь найти.

Именно эти пределы в работе и исследуются. Взяв обычную кишечную палочку, авторы подсаживали ей гены различных экстремофилов с целью вывести так называемую "адскую клетку" ([Hell Cell](#)), устойчивую к высыханию, радиации, холоду, и щелочной среде. Небезуспешно. Полученные искусственные организмы в 5-10 раз лучше переносят ультрафиолетовое облучение и на полтора порядка -- высыхание. Да, по сравнению с естественными экстремофилами эти результаты всё ещё скромны. Но ведь это только начало. Кто знает, как далеко удастся зайти?

Будоражающий воображение потенциал синтетической биологии демонстрируется другим проектом той же команды, получившим название "[Жизнь на Венере](#)". Да, именно так. Люди задались вопросом: а могут ли одноклеточные существа жить и размножаться в аэрозолях, и, в частности, в венерианских облаках, где температура и давление вполне соответствуют земным? Расчёты показывают, что характерное время "зависания" бактерий в венерианских облаках может составлять более сотни суток. Сейчас команда разрабатывает методы детектирования бактерий в аэрозолях, с надеждой когда-либо опробовать их на венерианской облачности.

[Занятно, что, если эта работа будет успешной, то моя безумная идея о потенциальной обитаемости Нептуна станет... ну, несколько менее безумной. Впрочем, пока "науке об этом... ничего не известно", так что придётся запастись терпением.]

Разное

Все картинки с поездки в Аризону (увы, без подписей): <http://tung-sten.no-ip.com/PublicArchive/Trips/2014/Arizona/Images.htm>

Вопросы? Комментарии? В ЖЖ: <http://eugenebo.livejournal.com/192485.html>

===

Text Author(s): Eugene Bobukh === Web is volatile. Files are permanent. **Get a copy:** [[PDF](#)] [[Zipped HTML](#)] === **Full list of texts:** <http://tung-sten.no-ip.com/Shelf/All.htm> === **All texts as a Zip archive:** <http://tung-sten.no-ip.com/Shelf/All.zip> [mirror: <https://1drv.ms/u/s!AhyC4Qz62r5BhO9Xopn1yxWMSxtaOQ?e=b1KSiI>] === **Contact the author:** h o t m a i l (switch name and domain) e u g e n e b o (dot) c o m === **Support the author:** 1. **PayPal** to the address above; 2. **BTC:** 1DAptzi8J5qCaM45DueYXmAuiyGPG3pLbT; 3. **ETH:** 0xbDf6F8969674D05cb46ec75397a4F3B8581d8491; 4. **LTC:** LKtdnrau7Eb8wbRERasvJst6qGvTDPbHcN; 5. **XRP:** ranvPv13zqmUsQPgazwKkWCEaYecjYxN7z === **Visit other outlets:** Telegram channel <http://t.me/eugeneboList>, my site www.bobukh.com, Habr <https://habr.com/ru/users/eugenebo/posts/>, Medium <https://eugenebo.medium.com/>, Wordpress <http://eugenebo.wordpress.com/>, LinkedIn <https://www.linkedin.com/in/eugenebo>, ЖЖ <https://eugenebo.livejournal.com>, Facebook <https://www.facebook.com/EugeneBo>, SteemIt <https://steemit.com/@eugenebo>, MSDN Blog https://docs.microsoft.com/en-us/archive/blogs/eugene_bobukh/ === **License:** Creative Commons BY-NC (no commercial use, retain this footer and attribute the author; otherwise, use as you want); === **RSA Public Key Token:** 33eda1770f509534. === **Contact info** relevant as of 7/15/2022.

===