

Температура и давление фантастики

[Данная статья является запасной копией оригинала, размещённого мною на <https://geektimes.ru/post/297257/>.]

Предлагаемая вашему вниманию заметка рассказывает про пространство состояний материи. Которое, в некотором смысле, больше, чем пространство **расстояний** между объектами в космосе, и иногда так же трудно преодолевается.

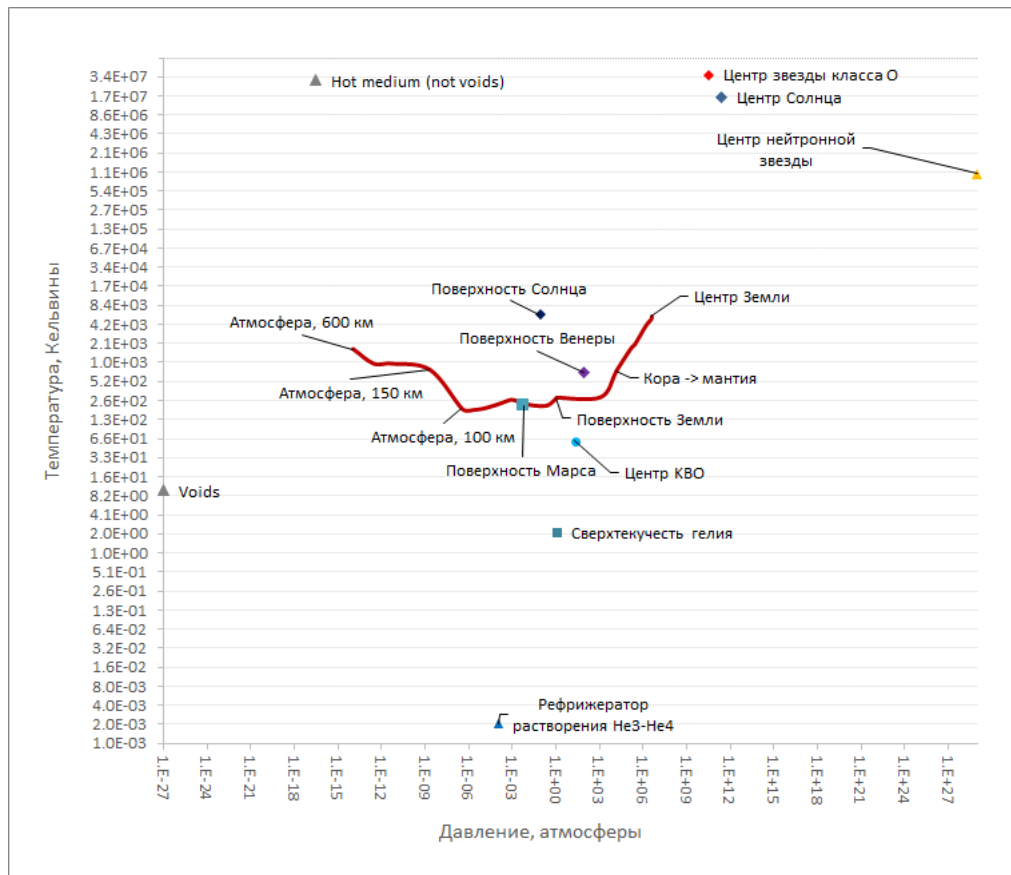
Я хочу показать, что явления природы могут быть сложными и нетривиальными даже в условиях, весьма далёких от земных. Что главное препятствие на пути к их изучению -- не космические расстояния, а неспособность нашего воображения и интуиции работать в малознакомых условиях. Что жизнь и разум, возможно, надо искать не только на поверхностях землеподобных планет, ибо они -- лишь крошечная доля разнообразия Вселенной.

И что для понимания этого разнообразия наверняка потребуется искусственный интеллект -- вероятно, в **большей** степени, чем ракеты и космонавтика.

Часть 1. pT-диаграмма

Взглянем на случайную точку во Вселенной. Чтобы разобраться, что в ней происходит, надо измерить десятки физических величин. Но первейшие из них -- это давление и температура. Они задают агрегатное состояние вещества, и, значит, определяют, какие физические и химические процессы будут в нём преобладать. А это определяет геологию, биологию, и много-много чего ещё. Изменив эти два параметра даже незначительно, можно получить среду, совсем непохожую на ту, с которой начинали. Давление и температура -- вот две важные координаты "фазового пространства". И на это пространство можно, по условиям в каждой точке, отобразить всю нашу Вселенную.

Всю, конечно, я рисовать не стал. Но пару примеров и более-менее изученные границы на диаграмму нанёс:



По температуре знакомое нам фазовое пространство простирается от 0.002 Кельвина в лабораторных рефрижераторах^[670] до 30 миллионов градусов в ядрах звёзд класса O и современных термоядерных плазмах. Верхняя граница, конечно, весьма условна. Так, в импульсных Z-пинчах температуру загоняют^[655] и за миллиард градусов.

По давлению расстояние между границами ещё больше: почти 60 порядков.

У левого края диаграммы лежат условия в холодных участках межгалактических пустот (так называемые voids): $\sim 10^{-27}$ атмосферы, ~ 10 градусов Кельвина^{[270][280]}. Плотность газа там -- единицы атомов водорода на кубометр. Может показаться, что понятие давления неприменимо к такой разреженной материи. Что это просто вакуум с парой затерявшихся в нём атомов. Но вспомним, что вакуумом называется среда с длиной пробега молекул меньшей, чем её (среды) размеры. Пробег водорода до столкновения с другим атомом в таких пустотах -- около 1 парсека. Однако размеры пустот -- десятки **мега**парсек. Очевидно, на таких масштабах водород в них приходится всё-таки считать сплошной средой, со своей

гидродинамикой, течением, звуковыми и ударными волнами. Просто всё это очень масштабно и, с человеческой точки зрения, безумно медленно.

Правую границу можно провести по условиям в центре нейтронной звезды. Оценка давления и температуры в нём даёт 10^{29} атмосфер и ~ 1 миллион Кельвинов. Неизвестно, какая материя этим условиям соответствует -- то ли это ещё нейтроны, то ли уже кварковая жидкость.

Внутри этого квадрата уместятся условия на поверхности Марса (0.00636 атм, 214 К), Венеры (92 атм, 736 К), Плутона (10^{-5} атм, 50 К), в центре Юпитера ($3.6 \cdot 10^7$ атм, 23 тысячи градусов) и Солнца ($2.3 \cdot 10^{11}$ атм и $1.6 \cdot 10^7$ К), в горячих и холодных участках межзвёздной среды ($5 \cdot 10^{-19}$ атм, $3 \cdot 10^6$ К и $1 \cdot 10^{-15}$ атм, 10 К).

Для удобства введём масштабную линейку. Логарифмическую, конечно. В долях полного перепада параметров на картинке. Если 100% диапазона температур составляет 10^{11} раз, то 1% этого соответствует разнице температур в $(10^{11})^{1/100} = 1.318$ раза. То есть, в масштабах Вселенной 1%-й шаг вверх от комнатной температуры в 293 К означает нагрев до $1.318 \cdot 293 = 386$ К, или 113 Цельсия. Как в хорошей бане.

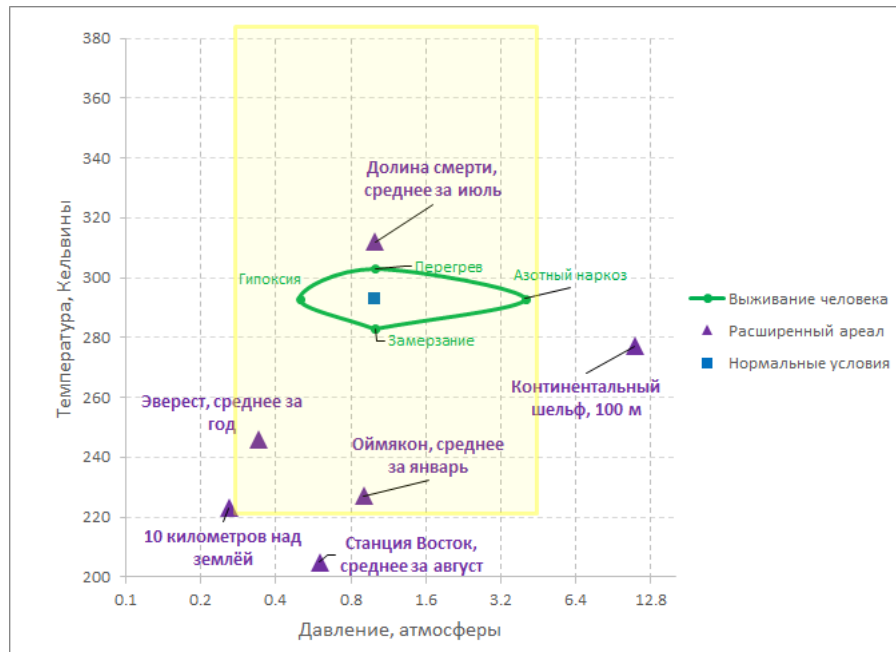
По давлению 1% "Вселенской" разницы означает отношение в $(10^{60})^{1/100} = 4.074$ раза. Как между уровнем моря и высотой в 10 километров.

Наконец, за центр отсчёта примем "нормальные" условия: давление в 1 атмосферу, температуру в 293 Кельвина, т.е. 20 Цельсия.

И посмотрим, что и как меняется при отходе от этого центра.

Радиус квадрата тумбочки

Без вспомогательных устройств человек выживает лишь в узком диапазоне температур и давлений^[10]. На картинке он приблизительно очерчен зелёным эллипсом, а жёлтым прямоугольником -- удаление в $\pm 1\%$.



Примерно ниже +10 С человек замерзает. Выше +30 перегревается. При давлении ниже 0.5 атм мало кто может жить и работать. Выше 4-х атмосфер наступает азотный наркоз, хорошо известный аквалангистам.

При этом современный ареал обитания человека на Земле гораздо шире. Но история его заселения -- это в первую очередь не километры территориальной экспансии, а освоение сред с новыми температурами и давлениями. Где за каждым шагом стоят серьёзные изобретения, воспринимаемые сегодня как обыденность.

Древнейшим из этих технологий десятки тысяч лет. Это умение изготавливать тёплую одежду, переносное жильё, и, конечно же, добывать огонь^[110]. Благодаря этой троице люди вышли за нижнюю границу зелёного кружка. И заселили большую часть Евразии и Америки, включая Крайний Север, Гренландию и Аляску, где морозы неделями уходят в десятки градусов ниже нуля.

Тропики с температурами выше +30 С обитаемы давно. Но без "насаждения" санитарии и гигиены среди населения, без канализации, водопровода и пусть примитивнейшего холодильника^[115] они и сегодня оставались бы весьма гиблыми местами. Добавьте в картину кондиционер -- и получите туристический Дубай посреди безрадостной пустыни.

Давления ниже 0.5 атмосферы были уверенно заняты только в 20-м веке, благодаря выходу на промышленный масштаб двух технологий: создания герметичных помещений и систем жизнеобеспечения. Вся межконтинентальная пассажирская авиация, и в значительной степени культурная связность нашего мира держатся на этом. Ведь в любой момент времени в воздухе на высотах 8-12 километров присутствуют полмиллиона^[120] пассажиров, перемещающихся между городами нашей планеты.

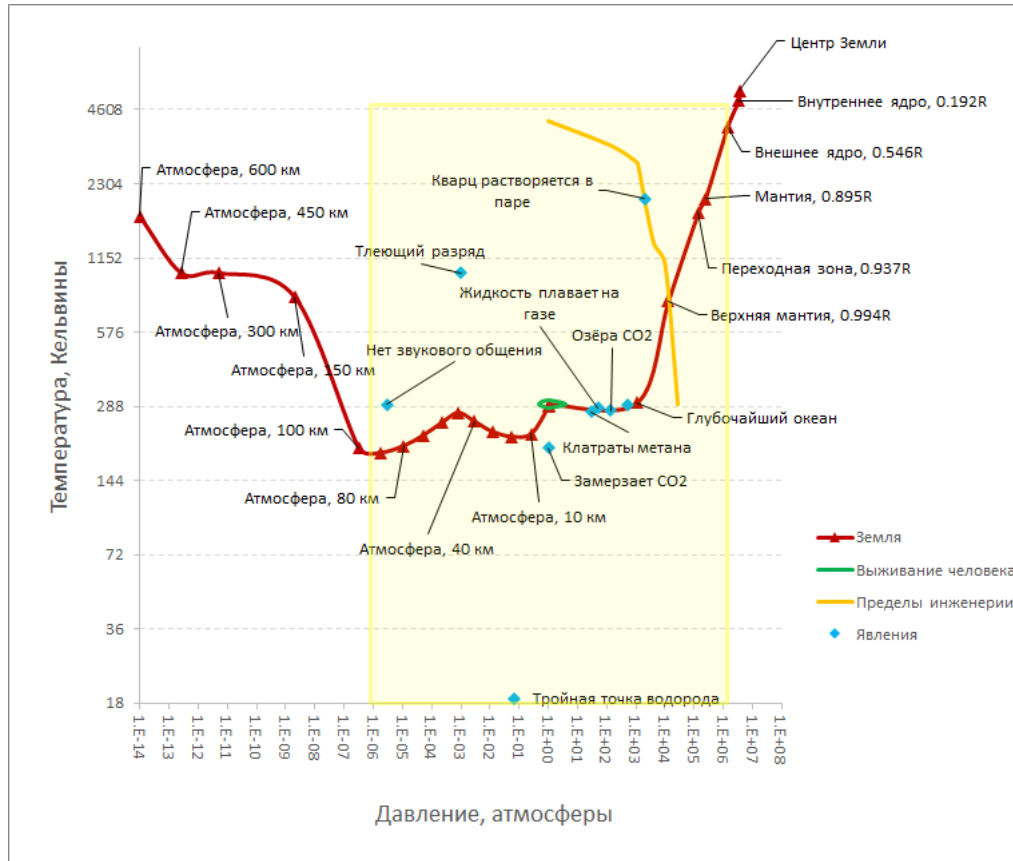
В освоении же высоких давлений человечество делает только первые шаги. Да, в опытах с барокамерами люди жили при 70-ти атмосферах^[130], а подводные лодки прячутся в океанах на глубинах до полукилометра^[140]. Но вряд ли это можно считать полноценным присутствием.

Отголоски этой экспансии, кстати, можно встретить в литературе^{[150],[170],[180],[190]} 19-го и 20-го века.

В отличие от человека, животные изобретений (почти) не делают. Поэтому даже на Земле организмы разделены несхожестью условий куда сильнее, чем расстоянием. Белый медведь в среднем проходит 3400 километров за год^[360], но никогда в жизни не встретит пустынного скорпиона. Глубоководную рыбу нельзя быстро поднять к поверхности, а в районе станции "Восток" до появления человека миллионы лет не было даже микробной жизни -- хотя ветром бактерии туда, несомненно, заносило.

Закончив с однопроцентной окрестностью, отступим чуток назад и взглянем на 10%-ю.

Земля с её океанами, недрами и стратосферой почти вмещается^{[15][580][590]} в 10%-й прямоугольник. Пригодные для человека условия предстают в этом масштабе крошечным пятнышком:



Справа и вверху от центра у нас обнаруживается предел механической инженерии, нанесённый оранжевой линией. Из известной нам твёрдой материи в принципе невозможно построить макроскопическое и непрерывно работающее устройство, которое выдерживало бы перепады давлений и температуры справа и сверху от этой кривой. Её опорные точки -- это:

- Комнатная температура, 27 тысяч атмосфер -- предел прочности^[680] мартенситно-стареющей стали [2800 Maraging steel]. Алмаз, правда, твёрже, но хрупок, и строить из него мосты и машины мы не умеем.
- При 800-1000 С предел прочности достигается, без сомнения, жаропрочными сплавами для лопаток турбин. Ибо каждый выигранный ими градус -- это повышение КПД двигателей авиации, а каждый паскаль прочности -- снижение веса и выигрыш в перевозимом грузе. Поэтому борьба за эти параметры идёт нешуточная. При 1050 Цельсия эти сплавы способны держать нагрузку до 4-х тысяч атмосфер^[690].
- При большем нагреве список конструкционных материалов редеет, быстро сходя до двух: вольфрама и графита. При 3273 К, согласно^[700], вольфрам ещё выдерживает около 140 атмосфер на растяжение.
- Карбид тантала TaC -- вероятно, одно из самых тугоплавких веществ. Оно способно оставаться твёрдым до ~3800 Цельсия. То есть, если нам будет Очень Надо сотворить нечто механическое, без охлаждения работающее при таких условиях, то это ещё как-то выполнимо. А вот при 4000 С -- уже всё. Не из чего.

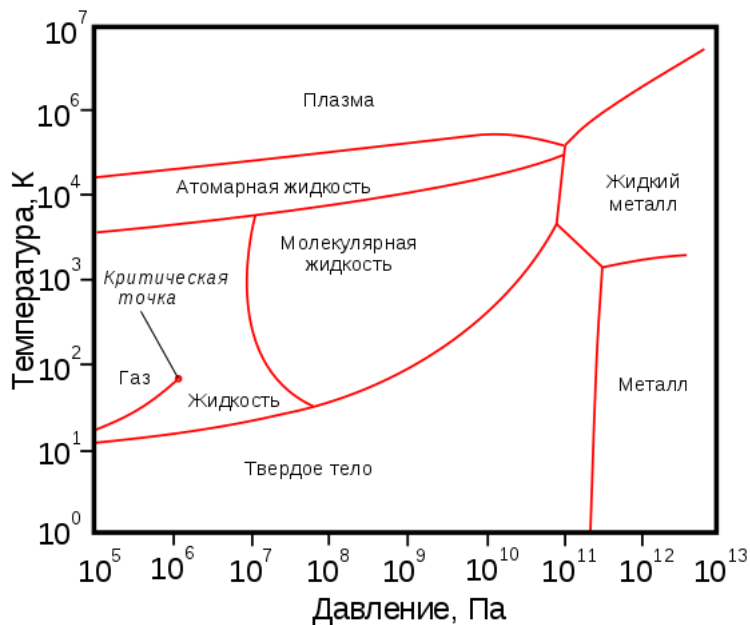
В радиусе 10% можно встретить немало занятого с повседневной точки зрения:

- При давлении в ~50 атмосфер и температуре ~10 С вы обнаружите, что жидкость может плавать на газе (а именно, сплав NaK на сжатом ксеноне^[30]).
- Если охладить среду до -80 градусов, то выдыхаемый углекислый газ замёрзнет, сани перестанут скользить по снегу, темпы большинства химических реакций замедлятся в тысячи раз, а растворителем для гипотетической жизни в таких условиях может оказаться... метиловый спирт.

- На 140-ка атмосферах углекислый газ образует озёра на дне наших океанов^[25], а чуть выше метан связывается с водой и оседает в виде твёрдых клатратов, похожих на лёд^[28].
- Все знают, что в воздухе звук распространяется, а в вакууме нет. Но что происходит, если "медленно тянуть вилку из розетки", плавно переходя от первого ко второму? С падением давления будет, во-первых, ухудшаться передача звука от динамиков в воздух. Во-вторых, поглощение в воздухе будет расти -- и тем сильнее, чем выше частота^[340],^[350]. Где-то при ~0.3-х Паскалях (≈условия на Тритоне) путь полузатухания ноты "ля" (440 Герц) сократится до одного метра. Звуковое оповещение через воздух в таких условиях станет практически невозможным, не говоря уже о голосовом общении.
- Каменистые минералы весьма неплохо растворяются в перегретом водяном паре. И это именно растворение, а не химическая реакция. Так, при 2000 К и 2000 атмосфер равновесное содержания кварца SiO_2 в паре составляет около 2.2% (согласно ^[710]); примерно таковы же растворимости оксида железа FeO и алюминия Al_2O_3 . На горячей планете с атмосферой из водяного пара все эти минералы будут переноситься ветром так же, как вода в наших условиях.
- При сильных перепадах давлений металлы начинают "плыть", переставая быть твёрдыми в инженерном смысле: алюминий при 400-500 атмосферах, сталь -- при 25 тысячах^[680], а базальт -- при 1-3 тыс атм^[90]. Такие давления в Земле создаются на глубинах 4-12 километров, чем, собственно, и определяется начало перехода от коры к мантии. Поэтому существенно глубже (и на километровых масштабах) горные породы иногда бывает проще описывать как вязкую жидкость, нежели как твёрдое вещество. Ещё глубже приходится забыть про идею "несжимаемости" твёрдых тел. Так, на 350 ГПа -- давлении в центре Земли -- медь будет сжата по объёму в 1.7 раза^[60], алюминий -- в 2.2, свинец^[70] -- в 2.4.
- Левее и ниже тройной точки гелия (2.177 К, 5043 Па) в мире исчезают жидкости. Всё вещество становится либо твёрдым, либо газообразным. Правда, на наш график эта точка всё же не влезла, но я нанёс водородную (18.84 К, 7040 Па). Жидкостей левее и ниже неё -- единицы.

[Автор статьи Евгений Бобух.]

Наконец, взглянем на фазовую диаграмму водорода^[100]:

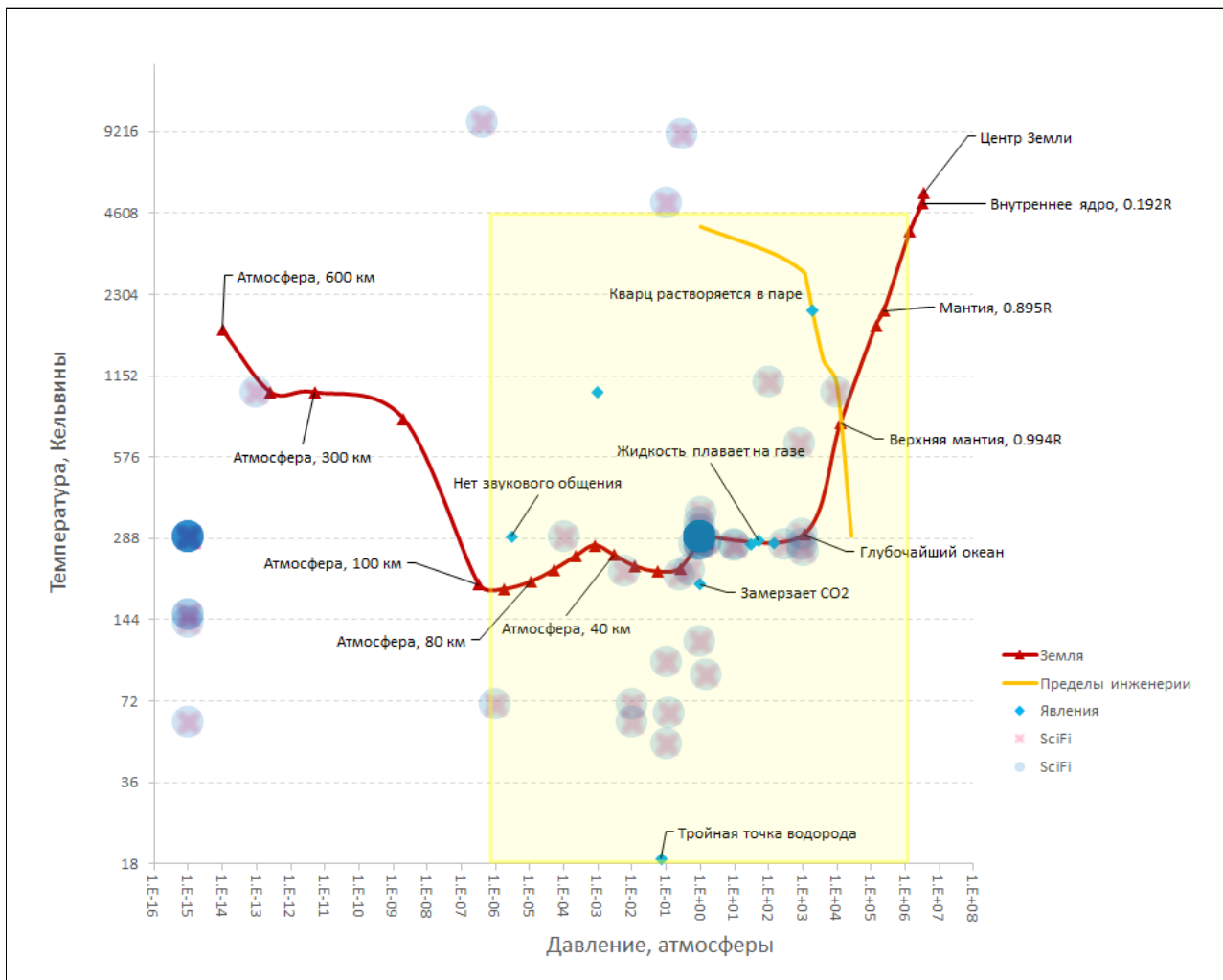


Одно из простейших веществ во Вселенной демонстрирует как минимум восемь разных состояний в зависимости от температуры и давления. Даже пространство, тупо наполненное одним лишь водородом -- это уже потенциально восемь очень разных миров! Что же тогда говорить о разнообразии состояний веществ более сложных?

А теперь о литературе и искусстве

Воспользовавшись рейтингами ^[380], ^[390], ^[400], я собрал в кучу несколько сотен названий западных, советских и российских фантастических произведений. Добавил к ним книги, прочитанные лично. Профильтровал, оставив только те, которые я внятно помню, где как минимум в одном эпизоде действие происходит вне Земли, и где можно хотя бы по порядку величины оценить температуру и давление в месте действия.

И нанёс их на рТ-диаграмму:



Её разглядывание позволяет сделать интересные наблюдения:

1. Жирное синее пятно вблизи центра -- это **53%** произведений, действие которых происходит при давлении в одну атмосферу и комнатной, с точностью до погоды, температуре. Саракш, Пирр, Дюна, Торманс, Леонида, Энция, Степянка, Арканар -- все эти инопланетные миры на самом деле изображают Землю и только Землю. Речь идёт о **космической фантастике**, напоминаю.
2. Почти сливаются с этой группой 11% книг, где авторы решились отступить от земных условий на долю процента. Скажем, "Страна Багровых Туч" Стругацких с температурой под 90 С и давлением ~ 1.1 атмосферы, "Фермер в небе" (A Farmer In the Sky) Хайнлайна (что-то вроде 0.5 атм и 220 К), или Азимов, дотошно вписавший давление в 1.05 атмосферы на Малышке в "Ловушке для простаков" (Sucker's Bait).
3. Ещё 11% сюжетов развиваются в "безвоздушном пространстве". Но это развитие никак не зависит от того, составляет ли окружающее давление 10^{-5} или 10^{-20} атмосферы (вот задачка, кстати: как отличить одно от другого при помощи "камней и палок"?). Поскольку ни для авторов, ни для повествования разницы никакой нет, всем этим произведениям я приписал одинаковое лунное давление в 10^{-15} атмосферы, и, где нет никаких отсылок к температуре -- её комнатное значение в 293 К.
4. Около 25% книг содержат эпизоды, где хотя бы один параметр существенно удаляется от земных и лунных. Это, например, Клиффорд Саймак, "Город" (Clifford Simak, City), глава про Юпитер; Борис Штерн, "Прорыв за край мира"; Стругацкие, "Путь на Амальтею"; Вернор Виндж, "Глубина в небе".
5. Книг, где значительная часть действия развивается **одновременно** далеко за пределами земных температур и давлений, и где это важно, единицы. Среди них можно назвать:
 - Хол Клемент, "У критической точки" (Hal Clement, Close to Critical)
 - Энди Вейр, "Марсианин" (Andy Weir, The Martian)
 - Георгий Гуревич, "Приглашение в зенит"
 - Александр Беляев, "Продавец воздуха"
 - Роберт Хайнлайн, "Имею скафандр -- готов путешествовать", главы про Плутон
 - Larry Niven and Jerry Pournelle, The Mote in God's Eye. Условия в звезде, где перехватывали корабли пришельцев, грубая оценка. Как видите, я даже такие мелкие эпизоды засчитывал.

Это единицы процентов от фантастики "космической", и доли процента от фантастики в целом. Произведения этой группы часто отличаются невысокими художественными достоинствами, чему, как мы увидим, есть вполне разумное объяснение.

б. Ни одно знакомое мне произведение не уходит дальше $\pm 25\%$ от нормальных условий.

На первый взгляд, даже 1% книг с необычными условиями -- не такая уж и плохая цифра. Но взгляните на вопрос шире. Предположим, некто обещает составить список достопримечательностей города. После долгих трудов подготавливает документ. В котором 64% посвящены особенностям квартиры автора, 11% -- крыши его дома, и лишь около 5% заметок начинаются со слов "а теперь заглянем на соседнюю улицу..." Это может быть замечательный список, он может быть великолепен и познавателен. Но очевидно, что из-за крайне неравномерного покрытия почти ничто интересное в городе в этот список не попало. Таково же, увы, и покрытие современной фантастики: множество точек вблизи "нормальных условий", единичные попадания за их пределами, и необъятные нетронутые пространства вдали от них.

Мне сейчас возразят, и возразят справедливо, что достоинства хорошей фантастики состоят не в описании физических явлений в недрах Бетельгейзе.

Это правда. Значительная заслуга упомянутых авторов -- прежде всего в исследовании поведения человека перед лицом невыносимого и непонятого. В создании великолепных историй. В предвидении технологий и анализе путей развития человечества. В выдумывании идей, странных и удивительных настолько, что нестандартность их уже является всеми признаваемой самооценностью. Мысленные эксперименты Лема, Дика, Стругацких и Брэдбери, пусть даже поставленные при давлении в одну атмосферу и сугубо комнатной температуре, давали нам для понимания человека и человечества иногда не меньше, чем исследования во вполне оборудованных лабораториях. И фантастика -- это не физика. Она не обязана писать о новых температурах и давлениях. В СССР, в 60-х, кстати, пытались как-то заставить. Ужас получился. У меня на полке сохранился один образчик. Настолько дикий, что его никак нельзя выбрасывать.

Всё это верно.

Но так же верно и то, что фантастика, та самая фантастика, что ещё каких-то 50 лет назад звала людей в космос, сегодня выпала из последнего вагона! Поезд физической реальности ушёл, а она, так этого и не заметив, продолжает о чём-то мечтать в одиночку на холодном перроне. И разрыв этот с каждым годом всё увеличивается.

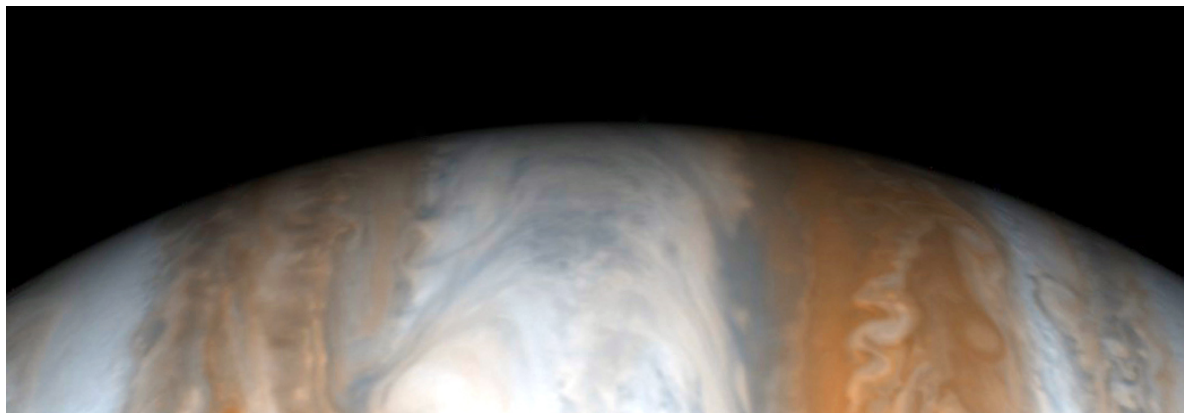
Похоже, у фантастики -- как и у инженерии, и у физиологии человека -- тоже есть свой "ареал обитания". Его можно нарисовать на рТ-диаграмме. И у него его границы.

Часть 2. Прогулка

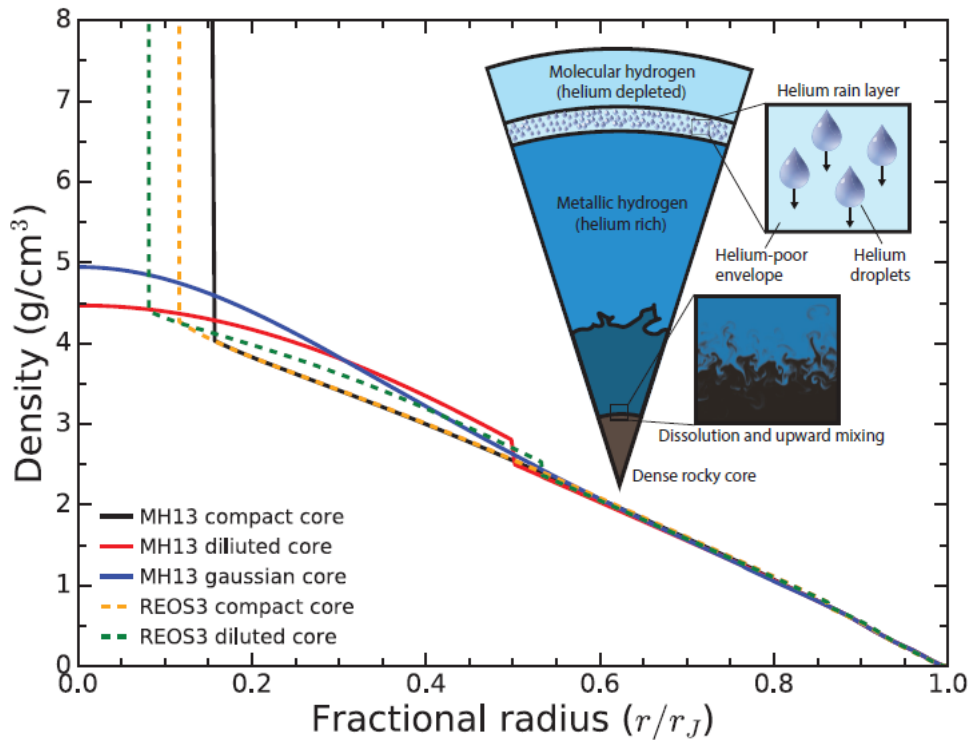
В этом разделе не будет большой глубины. А будет небольшая экскурсия по окраинам рТ-диаграммы, редко посещаемым даже популяризаторами науки. Зачем? Чтобы показать, что богатство миров и явлений, скорее всего, отнюдь не убывает при удалении от привычного нам "центра мира условий". И что, наверное, в тех местах может происходить что-то интересное и сюжетообразующее... при условии, что хоть один профессиональный писатель сможет качественно это помыслить. Но это -- отдельная тема для обсуждения в третьей части. Здесь же у нас будут просто далёкие миры. Не в парсеках далёкие, но оттого не менее труднодостижимые.

Юпитер

Вот так он выглядит снаружи:



А так, по современным представлениям^[490], изнутри:



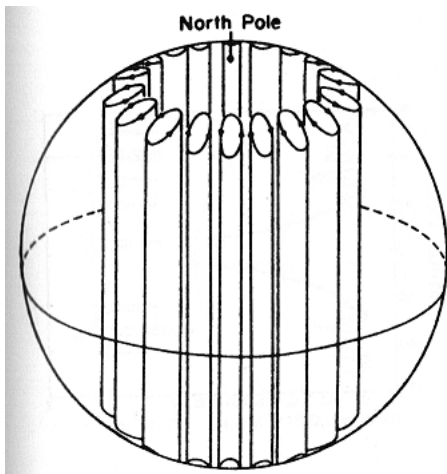
[Image Credit: Sean Wahl *et. al.*, [490]]

Разброс кривулук на картинке означает, что мы до сих пор не знаем, есть ли у Юпитера компактное ядро, или же оно растворено в сверхсжатом водороде. Поэтому я ограничусь менее серьёзными глубинами. Тысяч так примерно в 15 километров. Давление там составляет ~ 2 миллиона атмосфер, а температура -- 6-7 тысяч градусов. Водород (которого у Юпитере $\sim 90\%$) сжат там до плотности 200 кг/м^3 , частично превращён в металлический и по консистенции напоминает нечто среднее между бензином и ртутью -- если бы они могли друг в друге растворяться.

Но вот гелий в этой смеси растворяться не желает. А потому собирается в капли и сеется вниз таким гелиевым "дождём". В кавычках, ибо это похоже больше на оседание взболтанной смеси воды и масла. И "дождь" этот никуда не попадает, потому что ещё глубже растворимость гелия в водороде восстанавливается и капли, пропадав с десятков тысяч километров, бесследно растворяются. Всё это при 6000 градусов.

Где-то там или чуть выше зарождается магнитное поле Юпитера. Вообще-то, мы неотчётливо представляем себе принцип работы магнитного динамо, даже земного. Ясно лишь, что уже существующее магнитное поле как-то хитро "подгибает" конвективные потоки проводящего материала в планете, чтобы использовать их энергию и тем самоусиливаться. В этом оно схоже с земной жизнью, которая тоже "катается" на доступных к оседланию потоках энергии, будь то солнечный свет или истечение сероводорода из недр.

Не исключено, что зональные ветра Юпитера, в виде таких цилиндрических колонн, простираются как минимум до этих глубин.



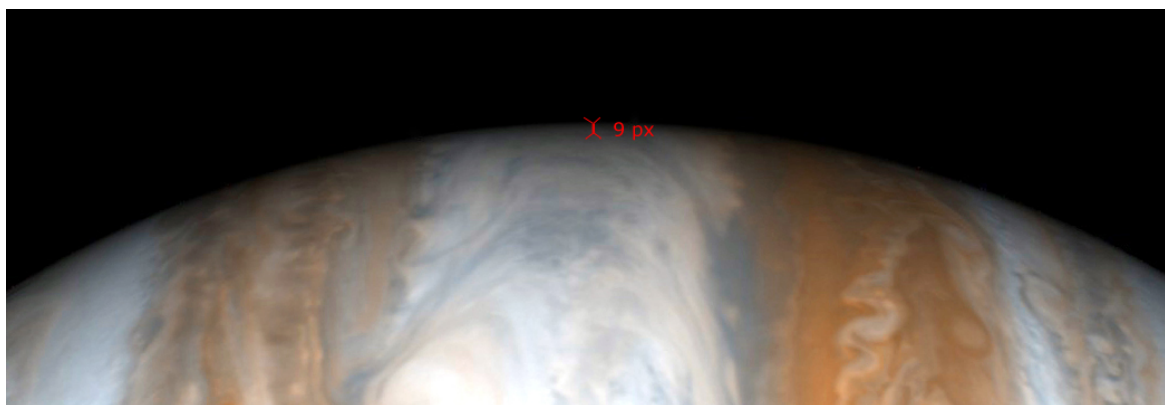
[Image credit [200]]

Предположим, мы хотим узнать про эти области побольше. Какие есть возможности?

Мысль первая: электромагнитные волны.

Увы, оптика и ближний инфракрас позволяют зондировать Юпитер лишь примерно до 4-х атмосфер глубины^[200] -- то есть, эдак километров на 40. На миллиметровых волнах можно "пробиться" до 100 атмосфер^[200], это километров 260. Juno,

"слушая" на волне 50 см, может кое-что с трудом разобрать до ~550-600 километров, где давление достигает 1000 атмосфер^[420], а температура -- 1300 Кельвинов. Но в масштабе картинке из заголовка это -- лишь девять пикселей:



Нам же нужно вдесятеро глубже -- примерно под обрез.

Может, послать спускаемый аппарат?

Galileo в 1995-м смог погрузиться на 160 километров, до 22-х атмосфер и 152-х градусов Цельсия. Два пиксела.

Предельные глубины будущих зондов Юпитера, ещё рассматриваемые всерьёз^[460] -- 200 атмосфер. Пять точек, или 330-340 километров.

Но если уж фантазировать с размахом, то можно придумать вот какую схему. Берём сферический батискаф из монокристаллического алмаза. Со стенками в пару метров толщиной. Армированными рением (не думаю, что это поможет, зато как звучит!) Покрываем чем-нибудь водородоустойчивым. Ставим на него атомный реактор для активного охлаждения. Набиваем приборами и сбрасываем на планету. Связь -- маленькими всплывающими зондами. Это, конечно, фантастика -- но фантастика ещё научная.

Алмаз, самое прочное на сжатие вещество, выдерживает^[410] разницу давлений порядка 100 ГПа, или миллиона атмосфер. С точностью до геометрии изготовления такой зонд сможет заглянуть в Юпитер километров так на 8-9 тысяч. Это уже близко к гелиевому дождю и магнитному динамо. Но даже это составляет лишь 1/8 радиуса планеты...

Что можно наблюдать в процессе такого погружения?

Сначала мы пробьём облака из аммиака NH_3 (0.7 атм), гидросульфида аммония NH_4SH (2 атм) и воды H_2O (7 атм).

Атмосферах на ста станет совсем темно.

На ~500-х километрах, при 500-х атмосферах и температуре 1064 К зонд пройдёт сквозь тонкую дымку облаков из... золота. По крайней мере, если верить работе^[440]. Так оно или нет, никто, конечно, не знает. Но золото довольно инертно и, для металла, относительно летуче, так что физике это не противоречит.

На тысяче атмосфер плотность газа достигнет $\sim 20 \text{ кг/м}^3$ -- и просто газом эту среду считать уже будет нельзя. Примерно там же может располагаться облачность из сульфида натрия Na_2S .

На 700 километрах, при 4800 атмосферах и 2000 Кельвина, снаружи проплывают^[440] облака из силиката магния MgSiO_3 . Правда, по виду за окошком это заметить сложно, и вообще вряд ли он кого-то впечатлит:



Потому что это попросту свечение нагретого до 2000 Кельвинов вещества. Мало чем отличающееся от жара стеклоплавильной печи. И глядит эта картинка вдаль ажно на несколько дециметров. Потому что примерно такова^[430] прозрачность материи в тех условиях. Что иллюстрирует: не только наша фатазия, но и наши способы восприятия беспомощны в условиях, слишком удалённых от "нормальных".

Но наши теории продолжают в них работать и предсказывать немало интересного.

На полумиллионе атмосфер (5600 километров, 5100 градусов) водород начинает диссоциировать, что можно считать началом его превращения в металлический. Ближайшая зрительная аналогия этого -- растворение натрия в жидком аммиаке^[830]. По мере роста концентрации свободных электронов раствор темнеет, теряет прозрачность и увеличивает электропроводность.

Глубже 2 миллионов атмосфер железо оказывается растворимым в металлическом водороде^[450], а с каменистыми минералами это происходит выше 5 миллионов атмосфер и 10 тысяч градусов^[450]. Что достигается на четверти "глубины Юпитера". Дальше его материя представляет собой, вероятно, такой сверхплотный, сверхразогретый, частично ионизированный "бульон" из металлического водорода с примесями прочих элементов.

Может ли там происходить что-то более интригующее, нежели равномерное перемешивание этого "бульона"? Вопрос этот многим не даёт покоя.

Так, согласно ^[730], глубокие недра Юпитера могут иметь многослойную структуру. Со скачками концентрации примесей между слоями. Ну вроде как у нас на Земле, когда холодный задымленный воздух собирается чётким "пирогом" смога над городом. Только на Юпитере эти скачки обусловлены разницей не температур, а химсоставов. Например, в нижнем слое растворено больше SiO₂ -- и это делает его достаточно тяжёлым, чтобы противостоять конвекции. Понятно, что на границах таких слоёв будут возникать резкие перепады как температур, так и химсоставов. Допустим, на очень большой глубине вещество АВ распадается на компоненты А + В. Выше они готовы соединиться обратно, но процесс этот медленный. Отсутствие конвекции не даёт им подняться и перемешаться с атмосферой. В итоге прямо под границей слоя может набраться избыток разделённых А и/или В. Далёкий аналог нашего нефтяного слоя. Если там же появится *нечто*, способное катализировать реакцию А + В -> АВ, то у него будет источник химической энергии, чтобы эволюционировать в *некто*. Конечно, для возникновения жизни этого очень мало -- но достаточно, чтобы не отвергать саму идею с разбегу.

Может ли эта гипотетическая жизнь как-то с нами связаться? Подъём наверх ей точно противопоказан. Привычная к давлению, сжимающим в разы даже камень, к среде, где железо -- газ и компонент раствора, в верхних слоях Юпитера она просто испарится и распадётся, как пена на ветру.

Электромагнитные волны, как мы уже установили, с таких глубин не проходят. Хотя бы из-за слоя металлического водорода.

Гравитация? Структуры плотности в недрах Юпитера мы неплохо улавливаем. Если они размером в десятки тысяч километров.

Магнитное поле? Магнитометры Juno "видят" до уровня металлического водорода, т.е. двух миллионов атмосфер. На них может быть надежда.

Модуляция потока нейтрино? Мы пока от целого Солнца эти частицы с трудом-то регистрируем.

И остаётся... звук. Обыкновенные звуковые волны. Которые, как показано в ^[500], способны проходить в Юпитере десятки тысяч километров, и которые мы научились-таки недавно детектировать. Правда, речь идёт лишь о частотах примерно в один **милли**Герц. На таких колебаниях передача читаемого вами текста займёт порядка 300 лет. Закодировав его морзянкой, мы гораздо быстрее сможем передать его по радио на соседнюю звезду. Иногда несходство условий может быть куда большим барьером, чем физические расстояния.

[Disclaimer. Дабы показать цельную картину, я смешал в этой заметке материалы работ ^[200, 420, 430, 440, 450, 470, 480, 490, 500, 730]. Основаны они зачастую на несовместимых моделях, данных, и предположениях о составе планеты и поведении вещества. Совсем уж радикальных противоречий между ними нет, но стоит помнить, что сведение их воедино -- это прикладное франкенштейноводство. Допустимое в обзорных целях, но и только.]

Луна

В школе учат, что атмосферы у Луны нет. Это не совсем верно. Какое-то подобие газовой оболочки у Луны всё-таки имеется. Правда, она порядков на 15 разреженнее нашей. Поэтому, если весь лунный "воздух" сжать до земных условий, то его хватит разве что на заполнение приличного спортзала, а увезти всю эту атмосферу можно на одном грузовике с прочной цистерной.

Тем не менее, в этой разреженной области на рТ-диаграмме происходит достаточно интересного, чтобы множество людей ежегодно публиковало кучу статей, съезжалось для их обсуждения, и даже запустило межпланетную станцию (LADEE) специально для исследования лунной атмосферы.

Одна такая работа^[720] по материалам с LADEE посвящена лунному аргону. Из него, в основном, тамошняя атмосфера и состоит. Только вот "состоит" и "атмосфера" нуждаются в уточнении. Потому что над одними участками Луны аргона почему-то в разы больше, чем над другими, а от времени суток его количество меняется вообще в десятки раз. По сути, это не "газовая оболочка", а эдакое облако, дышащее, меняющее размеры, кочующее, чувствительное к температуре, ионизации солнечным ветром, составу грунта, способное временно "прилипнуть" к его поверхности или перманентно оседать в "холодных ловушках" у полюсов. Теряемое в итоге в космос и подпитываемое распадом калия в лунной коре. Предполагаемый источник которого, возможно, ответственен за обнаруженный "аргоновый горб" над западными лунными морями.

[Автор статьи Евгений Бобух.]

В другой публикации^[540] исследуется лунный... атмосферный радон. Его там ловили буквально по атомам, но смогли построить карту распределения лунного полония на некотором участке:

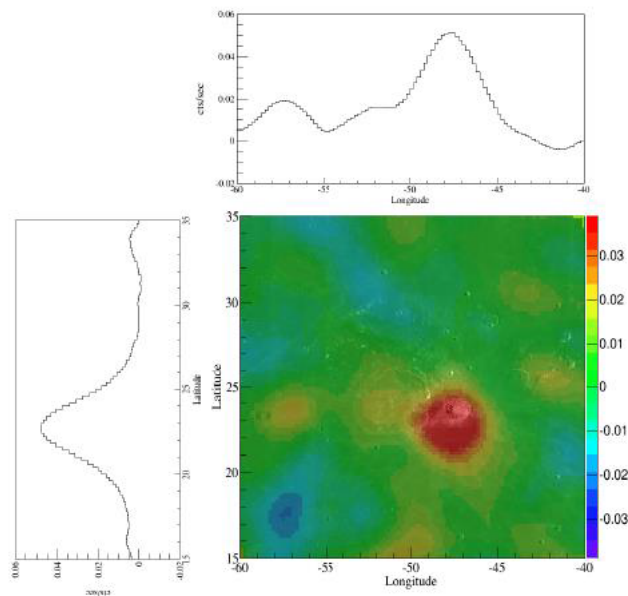
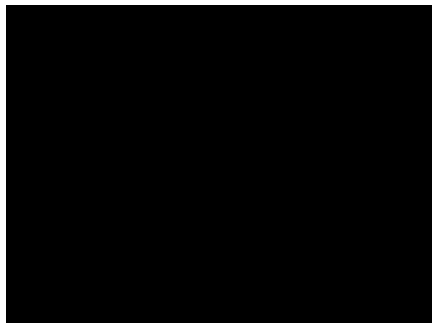


Figure 1. ^{210}Po alpha-particle intensity map of the Aristarchus region overlaid with the optical image.

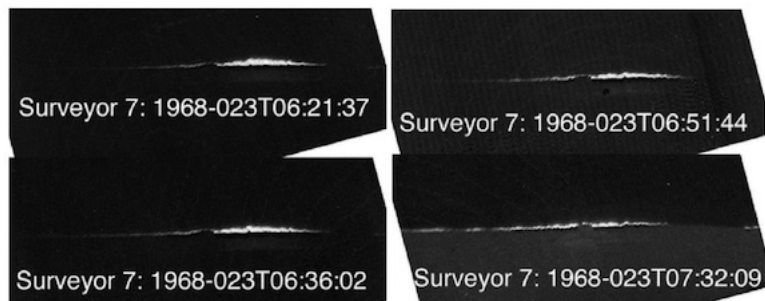
Отображён этот результат зрительно, но лучшей аналогией должно быть обоняние. Когда станция на орбите, виток за витком, именно что вынюхивала штучные атомы радона, и строила по ним картину мира. Человеческому же взгляду лунная атмосфера не предстаёт решительно ничем интересным:



Слишком разрежена, и всё, что в ней происходит -- все эти плазменные взаимодействия, сорбция частиц, движения по линиям локальных магнитных полей -- приходится рисовать схемками и формулами.

Хотя вру. Есть одна загадка полувековой уже давности со вполне визуальным представлением.

Ещё в 1968-м посадочная станция Сервейер-7 сфотографировала [\[550\]](#)[\[555\]](#) с поверхности Луны нечто, напоминающее... зарю:



[Image credit: NASA, [\[555\]](#)]

Американские астронавты в 1972-м с лунной орбиты тоже наблюдали [\[560\]](#) похожие феномены:

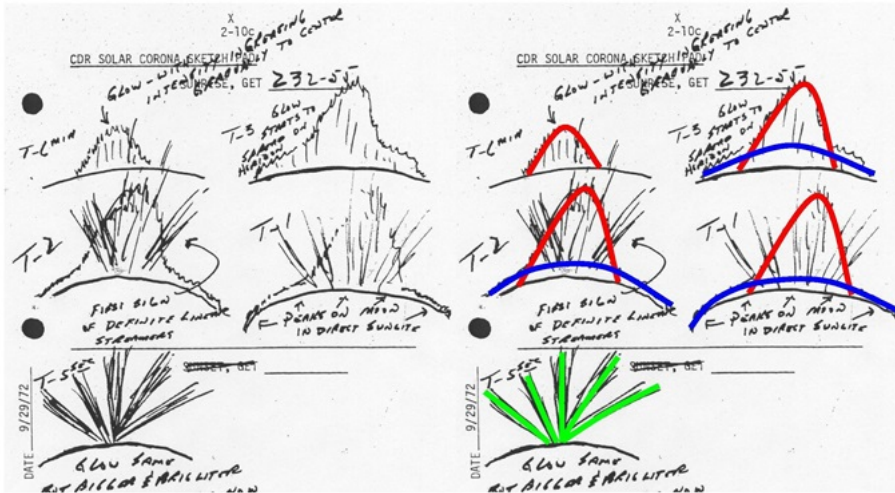
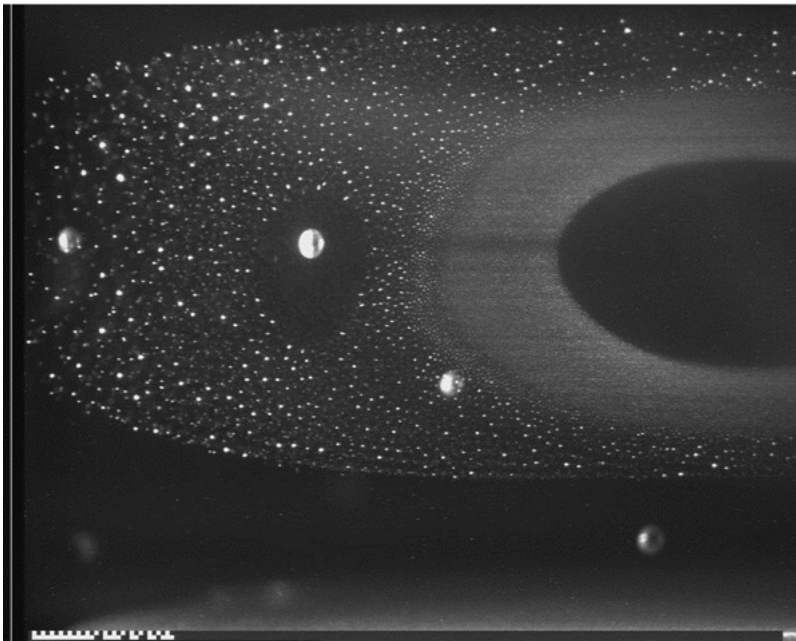


Fig. 2: Sketches of sunrise with “horizon glow” and “streamers” viewed from lunar orbit during Apollo 17. Highlighted are the sources of the scattered light: **Coronal and Zodiacal Light (CZL) – RED**; **Lunar Horizon Glow (LHG) due to exospheric dust – BLUE**; and possibly “crepuscular rays” formed by shadowing and scattered light – **GREEN**.

[Image credit: NASA, [560]]

Однако что там может светиться в лучах Солнца, если воздуха нет? Сегодня принято считать, что это... пыль. Микроскопические электрически заряженные частички, парящие буквально в метрах над поверхностью, создают "зарю" лунными "утрами".

Всё бы хорошо, да что их поднимает? Электрическое поле между участками затенёнными и открытыми солнечному ветру [740]? Микроскопические флуктуации электрического заряда [750]? Микропробои со "взрывом" частиц реголита [760]? Удары микрометеоритов [770] (хотя вряд ли -- это я уже от себя домысливаю). Почему некоторые современные исследования [780] этих лунных зорь в упор не видят? Взлетают ли эти частицы "фонтанами" по мере движения терминатора, парят ли равномерным слоем? Могут ли образовывать так называемый плазменный кристалл, структуру с нашей точки зрения весьма нестойкую -- но вполне упорядоченную?



[Плазменный кристалл в эксперименте на Международной Космической Станции. Image credit: phys.org, [790]]

Вопрос, однако. В значительной степени открытый.

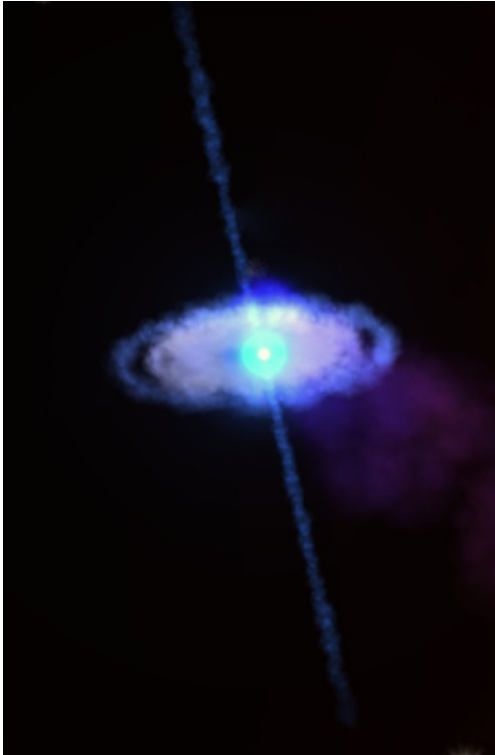
На повседневный взгляд, изучение этих разреженных материй не стоит усилий. Какие-то газы и примеси летают в почти полном вакууме в микрограммовых количествах на гектар. Дунь -- и всё исчезнет. Кстати, и исчезало. Каждая посадка "Аполлона" на Луну разбавляла лунную атмосферу выхлопными газами двигателя примерно вдвое.

Но настолько же непрочной и эфемерной может показаться наша земная материя с точки зрения (сугубо гипотетических) обитателей нейтронных звёзд. Означает ли это, что в нашей материи нет структуры, сложности и ничего достойного изучения?

Нейтронные звёзды

Вопросов про них у нас куда больше, чем ответов, так что почти всё в этом разделе -- лишь более-менее обоснованные гипотезы, почерпнутые, преимущественно, из обзора [40]. Хорошего, кстати, и на русском языке.

Итак, нейтронные звёзды, они же пульсары -- это объекты массой с Солнце, но размером с город (20-30 км), отчего сила тяжести на них достигает $\sim 10^{11}$ g. С температурами в миллионы градусов, давлениями и прочими параметрами, тоже вылетающими за края экрана. Я думаю, что выглядят они примерно так. Если смотреть через очень, очень тёмный светофильтр и не сгореть от радиации:



[Based on Image by NASA. Edited out background stars that won't be visible at such primary's brightness]

У нейтронных звёзд есть, во-первых, ядра, про которые мало что известно, кроме оценки давления в центре: $\sim 10^{29}$ атмосфер. Теоретики не знают даже толком, из чего состоит их материя. Но плотность её, вероятно, сильно превышает плотность даже атомного ядра ($2.8 \cdot 10^{14}$ г/см³). Кусочек такой материи размером с бактерию создаёт на своей поверхности ту же силу тяжести, что и Земля -- на своей.

Во-вторых, у нейтронных звёзд есть что-то вроде мантии и коры. Цитирую^[40]: "Вещество самых глубоких оболочек, примыкающих к ядру нейтронной звезды, представляет собой нейтронную жидкость, в которую погружены атомные ядра и электроны. Нейтроны и электроны в этих слоях сильно вырождены, а ядра являются нейтронно-избыточными -- число нейтронов в них может в несколько раз превышать число протонов, и лишь гигантское давление удерживает их от распада. Электростатическое взаимодействие ядер настолько сильно, что упорядочивает ядра в кристаллическую решётку, которая формирует твёрдую звёздную кору. Между корой и ядром звезды может находиться мантия (её существование, правда, предсказывается не всеми современными моделями плотной ядерной материи). Атомные ядра в ней принимают экзотические формы протяжённых цилиндров или плоскостей <...> Такое вещество ведёт себя подобно жидким кристаллам <...> Кора нейтронной звезды делится на внутреннюю и внешнюю. Внешняя кора отличается отсутствием свободных нейтронов. Граница пролегает при критической плотности <...>, выше которой начинается 'просачивание нейтронов' <...> из ядер. <...> С уменьшением концентрации ионов электростатическое взаимодействие между ними ослабевает, и в итоге вместо кристаллической решётки термодинамическую устойчивость приобретает кулоновская жидкость. Положение границы плавления, которую можно назвать дном океана нейтронной звезды, зависит от температуры и химического состава оболочки."

Химически же она состоит, скорее всего, из железа. Но, не забываяем, сжатого до плотности $10^5 - 10^9$ г/см³, по сравнению с которой наша сталь -- вакуум во флуоресцентной лампе!

Ещё у нейтронных звёзд бывают атмосферы. Из плазмы водорода, гелия, углерода и железа, под миллион градусов разогретой. Но толщиной лишь в единицы миллиметров. И в эти миллиметры втиснуты слои разного состава и плотности (Плоский мир! Право слово, вот про что роман бы написать! Но у кого хватит воображения?) Эти атмосферы обычно непрозрачны и светятся; как правило, именно их излучение мы видим, глядя на нейтронную звезду в телескоп.

Наконец, у нейтронных звёзд есть магнитное поле. Типичная напряжённость которого в $\sim 10^{12}$ раз превосходит земную. Давление такого поля составляет $\sim 10^{16}$ атмосфер. Этого достаточно, чтобы плющить атомы, заставляя их электронные оболочки вытягиваться повдоль поля. И вызывать к жизни химические связи, немыслимые на Земле:

"Сильное магнитное поле делает стабильной молекулу He_2 и её ионы He_2^+ , He_2^{2+} , и He_2^{3+} , которые не существуют вне магнитного поля." Хотя, "при плотностях, температурах и магнитных полях, характерных для нейтронных звёзд, содержание таких молекулярных ионов крайне мало..." Но, далее, на стр. 818: "Рудерман [512] предположил, что сильное магнитное поле может стабилизировать полимерные цепочки, вытянутые вдоль магнитных силовых линий, и что притяжение этих цепочек друг к другу из-за диполь-дипольного взаимодействия может вести к образованию конденсированного состояния. Последующие работы показали, что в полях $B \sim 10^{12} - 10^{13}$ Гс такие цепочки действительно формируются, но только из химических элементов легче кислорода, а их полимеризация в конденсированную фазу происходит либо в сверхсильном поле, либо при сравнительно низкой температуре...". Далее, "<...> Медин и Лай <...> в [359] рассчитали равновесную плотность насыщенного пара для атомов и полимерных цепочек гелия, углерода и железа над соответствующими конденсированными поверхностями <...>" и показали, что их существование совместимо с условиями вблизи поверхностей нейтронных звёзд. Похожие предположения, кстати, высказывались^[600] Донгом Лаи (Dong Lai) и в отношении химии атмосфер белых карликов.

То есть да, новая химия. "Полимеры гелия в сильном магнитном поле". А где полимеры, там можно представить хранение информации на молекулярном уровне. Только вот какой фантаст сможет это вообразить и качественно описать? Нет, ввести в действие "нейтроноидов" -- раз плюнуть. Но кто сможет сделать их убедительными? Кто сможет, начиная с физики, выстроить всю химию, биологию, общество, психологию и интригу? Кто, наконец, сумеет перешагнуть пропасть мировосприятия между существом, живущим в вырожденной нейтронной жидкости, и нами?

Правильно. Вот потому, наверное, нет и не будет таких произведений. Читайте Ландау, он куда более крышеровуц и убедителен.

Однако кое-что полезное из этого мысленного эксперимента извлечь всё-таки можно. А именно, ввести классификацию цивилизаций по устойчивости образующей их материи к межзвёздной среде.

1. Класс 1. Стабильные. Они прекрасно переживают условия межзвёздного путешествия. Воображаемый пример: какие-нибудь мыслящие камни.
2. Класс 2. Его носители вакуума не переносят. Но у них под руками есть материя, из которой можно изготовить космический корабль. Это мы. Металл, стекло и керамика устойчивы в космосе.
3. Класс 3. Запертые. И они, и вся их материя распадается вне привычных условий. Им даже скафандр сделать не из чего. Гипотетические жители недр Юпитера или нейтронных звёзд попадают в этот класс. Всё вещество, им доступное, вне колоссальных давлений просто перейдёт в другое агрегатное состояние.

Поэтому, если бы я был жителем нейтронной звезды, я бы всё-таки задумался о модуляции радиосигнала пульсара с целью коммуникации с себе подобными. Раз уж не летать, то никак нельзя такой мощный (пусть и узконаправленный) источник оставлять без использования. Ведь это же их единственный шанс преодолеть межзвёздные расстояния хотя бы информационно.

Через миллиард лет после конца света

Типичная каменная планета на 1-6% по весу состоит из кальция^[15]. Для определённости примем, что на 3%.

0.187% естественного кальция составляет^[510] изотоп Ca-48, обладающий слабой радиоактивностью. Период его полураспада громаден: $6 \cdot 10^{19}$ лет. Каждый распад выделяет энергию 4.27 MeV, из которых порядка 3 MeV приходится на позитроны^[520], и следовательно, переходит в тепло.

Исходя из этих данных вычисляем, что кубометр типичной каменной планеты выделяет $7 \cdot 10^{-16}$ Ватт тепла от кальциевого распада. В сравнении с потоком энергии от Солнца или урановой радиоактивности цифра, конечно, ничтожная.

Но ни Солнце, ни уран не вечны.

Представим: на дворе 1-е января $3 \cdot 10^{19}$ -го года нашей эры. Уран, торий, калий давным-давно распались и не существуют в природе. Неисчислимые эпохи назад догорели все звёзды. Реликтовое излучение охладилось до нанокельвинов. Неясно, правда, с какой скоростью остывают белые карлики; но во всяком случае уже к $\sim 10^{15}$ -му году они не горячее 5 К^[530] и разбросаны друг от друга дальше, чем современные галактики. Вселенная пуста, холодна, темна, безвидна.

Но планеты, разделённые друг от друга страшными расстояниями, планеты продолжают тихонечко греть и светить. За счёт продолжающегося распада кальция.

Легко подсчитать, что благодаря этому источнику энергии тело размером с Землю сможет поддерживать температуру поверхности на уровне ~ 0.4 К. Учтём, что при ~ 1 К теплопроводности каменных материалов падают до $10^{-2} - 10^{-3}$ Вт/ $m^2 \cdot K$ ^[520]. Что означает, как опять же нетрудно вычислить, что недра такой планеты могут быть разогреты до 1-5 градусов тепла!

Вы спросите -- ну что интересного может происходить на таком ~~тепле~~ холоде? Не знаю. Но знаю, что у этих явлений есть в запасе $\sim 10^{20}$ лет. Время, несопоставимое ни с чем знакомым, ведь у сегодняшней Вселенной и секунд-то столько не наберётся. Какие явления, слишком медленные, чтобы даже рассматривать их сегодня как процессы, станут доминировать на таких временных масштабах?

Ведь никто не отменял диффузию в твёрдом теле, в том числе квантовую, и диффузию с реакцией, способную создавать самоупорядоченные структуры^[510]. Если транспорт веществ земной микроскопической жизни основан на диффузии в жидкости, то можно ли вообразить то же самое в твёрдом теле, только в 10^{11} раз медленнее?

Никто не отменял переход металлов в сверхпроводимость, с последующей циркуляцией захваченных ими токов.

Наконец, никто не отменял гелий. Который при указанных температурах может сжиматься, переходить в сверхтекучее состояние, просачиваться сквозь поры и трещины в камнях, замерзать и вновь оттаивать, сжиматься и расширяться,

обеспечивая, таким образом, перенос вещества в масштабах планеты.

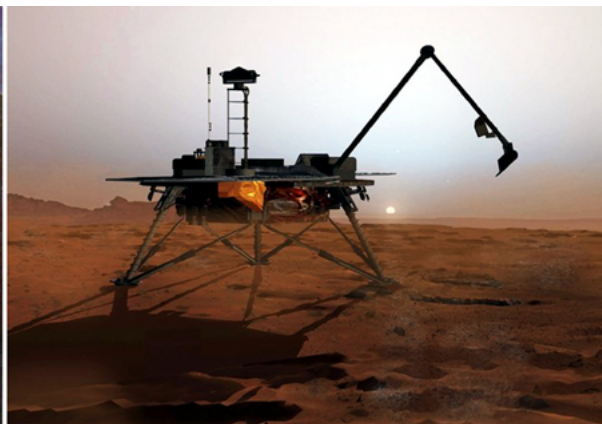
Вы спросите, откуда там гелий? Так из висмута! Земля эдак на одну миллиардную по массе состоит из него. А висмут целиком состоит из альфа-активного изотопа Bi-209 с периодом полураспада 1.9×10^{19} лет. А альфа-частицы -- это гелий. К 3×10^{19} -му году большая часть висмута распадётся, выделив около 10^{14} килограммов гелия, чего хватит на скромную атмосферу. Удержать же её при таких температурах не то что Земля, любая Церера сможет.

Моё человеческое воображение возбуждённо ворочается, чуя необычные возможности, открываемые такой прорвой незанятого времени... и пасует. Пасует и теряется, не нащупывая ни физической, ни бытовой интуиции на таких масштабах.

Закроем же этот занавес, оставив будущее будущему, и вернёмся к более повседневным вопросам.

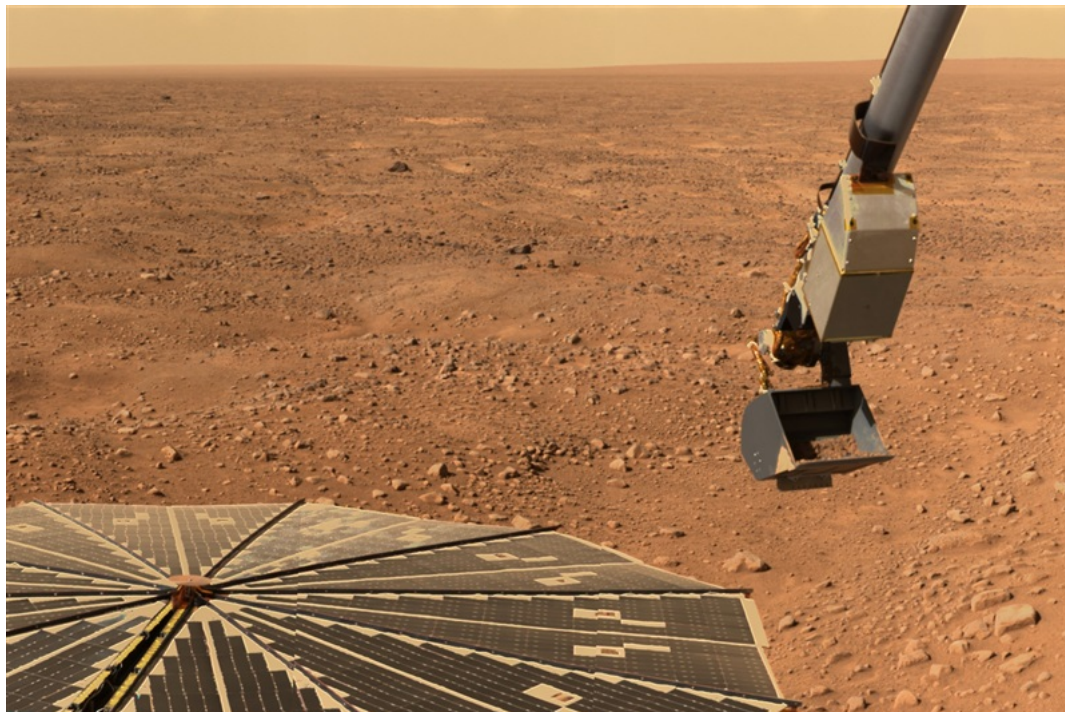
Часть 3. Попытка подведения итогов.

Я люблю сравнивать эти две картинки:



Слева -- "Пейзаж Марса в районе полярной шапки" кисти советского художника-фантаста Георгия Курнина. Предположительно 1960-х годов, достоверно не позже 1974-го. Справа -- работа то ли Xinhua/Reuters Photo, то ли NASA, выполненная в 2008-м году, незадолго до посадки станции Феникс на Марс. Изображающая, как ни странно, тоже полярные районы Марса.

Картину Курнина я очень люблю. Это талантливо выполненный, высокохудожественный пейзаж, на который можно смотреть часами. Как произведение искусства, он обладает великой ценностью. Но нулевой -- как источник информации о Марсе. Сегодня мы знаем, что Марс выглядит совсем не так. Автор правой картинки, без сомнения, оказался гораздо ближе к реальности, как свидетельствуют настоящие снимки Марса со станции Феникс:



[Image credit: NASA\NSSDCA]

Первый напрашивающийся вывод -- что космонавтика принесла разочарование. Мы ожидали богатых красот космоса, как у Курнина, а увидели скучную пустыню, как у Рейтерс.

Вывод неверный. Всё обстоит ровно наоборот.

Взглянем ещё на один пример.

Вот диснеевский (!) мультфильм от 1957-го (!) года про гипотетическую марсианскую жизнь [860]. Где, кстати, никто не боится открыто заявлять, что жизнь эволюционировала, но это уже совсем другая история:



Шикарно же нарисовано! С богатейшей фантазией, за четыре минуты перебивающей потуги иных сериалов. Но в начале ролика, в первые 30 секунд, авторы делают очень занятную оговорку. Привожу её полностью: "Хотя научные данные показывают, что Марс -- это холодный и заброшенный мир, многие учёные сегодня задумываются о том, каким бы он мог быть, **если бы условия там были слегка другими**. При чуть большем, чем ожидается, содержании воды и кислорода разнообразие жизни на Марсе может оказаться воистину ошеломляющим!"

Выделенное важно. Авторы не стали придумывать жизнь для настоящего Марса, который (как уже тогда подозревали) сух и пустынен. Они предпочли фантазировать про другую планету. Вероятно, не существующую в природе. Но куда более близкую нам в rT-пространстве.

Ибо человеческая фантазия, как мы уже видели, эффективна лишь в узком диапазоне температур и давлений, не слишком далёком от нормальных. Где материя нам привычна, а причинно-следственные связи очевидны.

Марс же не оказался беднее, чем мы ожидали до первых полётов к нему. Он оказался богаче. Однако это богатство требует специальных познаний. Выломившись за пределы "нормального" восприятия, оно оказалось слишком велико для нас. Все эти циркуляции атмосферы и микросейсмограммы грунта слишком скучны для большинства. Как справедливо указал [850] [Fenyx_dml](#), "Реально давления ниже 0,1 атмосферы ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА являются одним и тем же вакуумом. Температуры выше какого-то предела, допустим, плазма, являются так же неразличимыми. Это только для физиков, занимающихся проблемой управляемого синтеза есть разница между 1 миллионом и 100 миллионами градусов, всем остальным — одинаково."

Но это разнообразие объективно существует, хоть мы его и не видим!

Взгляните на научные работы. Хотя бы про тот же Марс. На одном только Архиве за один только прошлый год 45 статей, упоминающих "Марс" или "марсианский" в заголовке <http://arxiv.org:443/find/astro-ph/1/ti:+OR+Mars+Martian/0/1/0/past/0/1>. Всего же работ по этой планете, думаю, тысячи. И разнообразие явлений, событий, концепций и идей, подаренных нам неживым Марсом, не уступает нагенерённому фантастами с 1620-го года, если взглянуть под физическим углом.

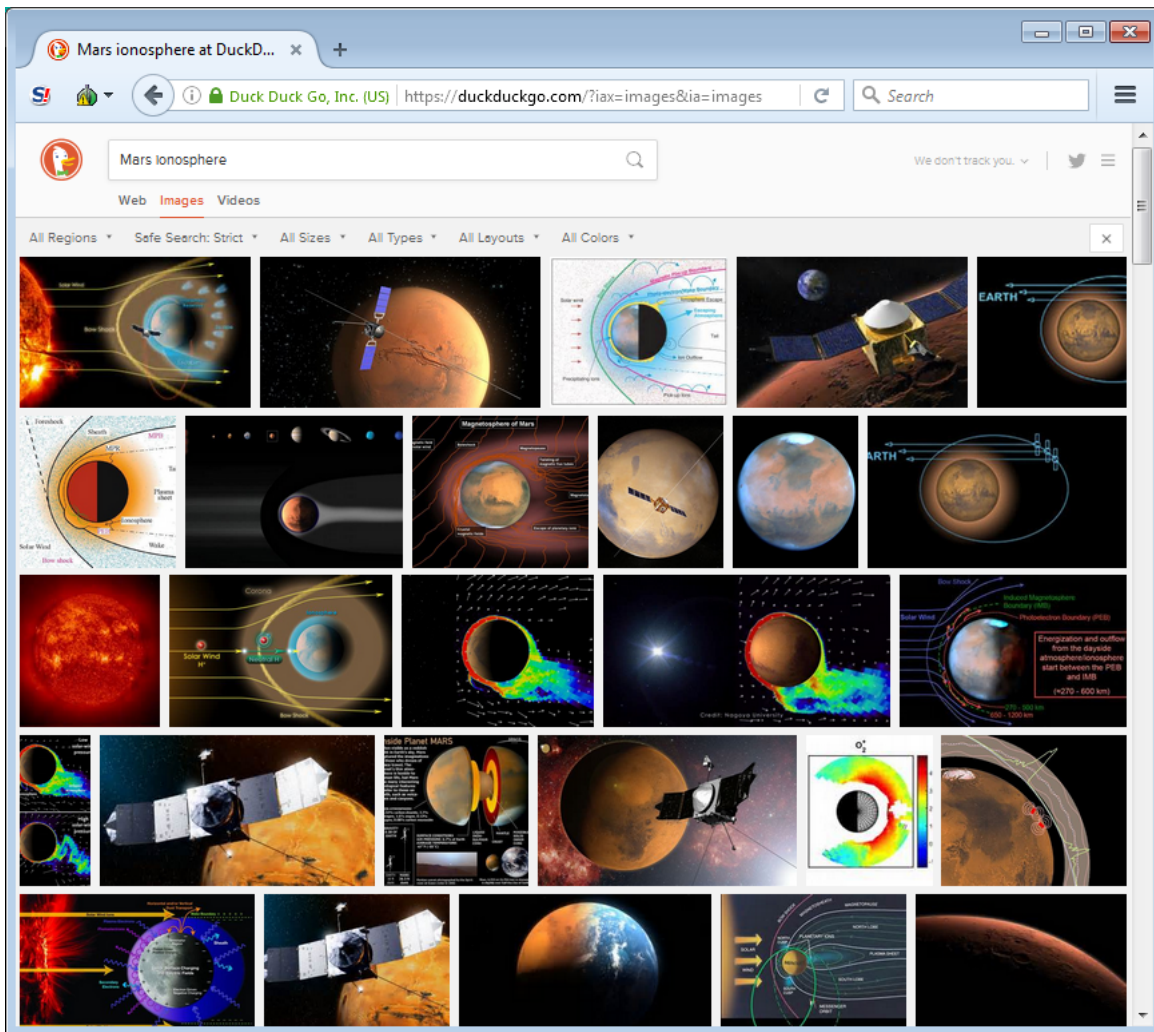
Люди изучают механизмы электризации и переноса пыли в разреженной марсианской атмосфере.

Люди изучают химию грунта Марса.

Они изучают минералогию, гляциологию и историю климата Марса.

Некоторые, натурально, специализируются по пустыням! Вот симпозиум, посвящённый исключительно и только планетарным дюнам [630] -- и он уже **пятый!**

Люди запускают межпланетные станции, чтобы изучать поведение примесей и плазмы в верхних слоях атмосферы Марса. Поищите картинки по словам "Mars ionosphere":



Ничего странного?

Здесь нет почти ни одной **фотографии**. Сплошь схемки и рисунки. Целая ветвь науки растёт на области, которую нельзя увидеть глазами, в силу эфемерности предмета её изучения.

Но чтобы понять это разнообразие, чтобы действительно ему удивиться, нужно шагнуть далеко за пределы "нормальных условий", привычных нам. Этому, естественно, способствует изучение точных наук. Каких-то лет шесть мучений – и Вы приобретаете способность видеть мир красочным и удивительным. До одури. До религиозного экстаза. Там, где другим требуются наркотики.

Но шесть лет -- это много. Раньше похожий эффект, хотя бы частично, можно было получить, почитывая приключенческую и фантастическую литературу.

Сегодня – нет. И не потому, что фантасты стали писать хуже. Отлично они пишут. Дело в другом. Просто Вселенная полна мест, где не работает не только тело, но и воображение человека. Где нет места сюжетам прекрасных картин^[640]^[642] художников-фантастов, потому что нет людей, нет прозрачности, нет света, нет знакомой нам материи и нет того, что можно увидеть иначе, чем приборами.

Спад интереса к космонавтике после 70-х случился не оттого, что доставленные картинки и результаты оказались **меньше** нашего воображения. Наоборот. Они оказались **больше**. Сильно больше. Выйдя далеко за пределы повседневного на рТ-диаграмме, они выпали из диапазона интуитивного восприятия, превратившись в абстракцию. Героичны, грустны и печальны попытки сотрудников НАСА и популяризаторов космонавтики донести в упрощённом виде все эти открытия до "общей публики". Доставка на парашютах мост не заменяет.

Выход есть?

Со времён Джордано Бруно мы подвисли на идее поиска обитаемых миров в космическом пространстве. Идее прекрасной, не спорю. Но не пора ли подумать о поиске обитаемых **сред**? Искать жизнь и разум не только на поверхностях земледобных планет, представляющих собой лишь 0.01% разнообразия условий Вселенной? Колонизировать не столько пространство, сколько новые состояния материи?

Но есть здесь одно препятствие.

Человеческое тело доставить на Марс можно. Но как доставить туда его душу? Как сделать, чтобы он не ждал, когда там "будут яблони цвести", а воспринимал именно Марс во всей его чуждой нам полноте?

Сегодня только горстка энтузиастов способна к этому. Людей, достаточно поднатаскавшихся в теме, чтобы, скажем, оценить прелесть работы ^[800] или ржать сквозь слёзы над ^[810]. Всё это -- связи нейронов в голове. Лишь существо, у которого

такие связи есть, может быть "марсианином", способным к адекватному восприятию однообразных (на наш взгляд) пейзажей чужой планеты.

Физики, химики, математики, программисты -- примеры подобных существ, обитающих в иных состояниях сознания, из которых видно нечто, доступное только им. С давних времён мы знали лишь один способ их создания: обучение людей, длительное и с высоким отсевом.

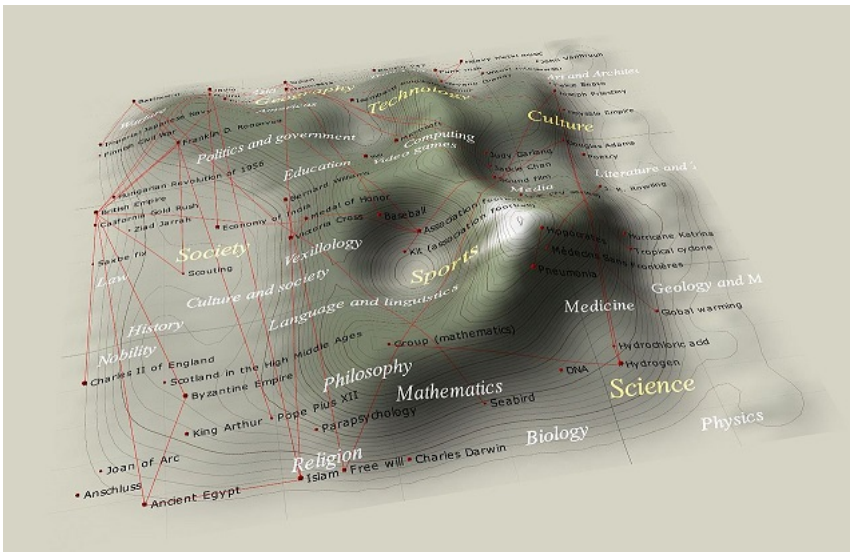
Но с некоторых пор мы научились кодировать элементы сознания в искусственных нейронных сетях. И не такие уж маленькие. Вот, к примеру^[820]: тренировка сети **картинками** химических соединений с целью научить её предсказывать их токсичность. Вполне рабочая материализация "химической интуиции" во внешнем носителе.

Искусственное сознание, чувствительное к тонким вариациям лунной экзосферы, наверняка возможно. Но от него будет требоваться ещё одно: способность донести своё восприятие до нас, причём на интуитивном уровне.

К счастью, исторические прецеденты преобразований информации, сохраняющих её интуитивное восприятие, имеются. Пусть рудиментарные, но демонстрирующие принципиальную возможность.

Самый древний -- художественный перевод. Маршак стремился^[160] "верно выразить мысль и чувство" оригинала, пусть даже в ущерб дословности, и именно его работы считаются эталоном.

Более приближенный к машинному обучению пример -- самоорганизующиеся карты^[825]. Они отображают объекты из многомерного пространства в двумерное так, чтобы по возможности сохранить близость между ними, и тем самым не разрушить интуитивное восприятие их взаимного расположения:



[Отображение многомерного пространства слов на двумерную карту. Image credit: Wikipedia^[825]]

Другой пример -- визуализация данных методом лиц Чернова^[840], при которой элементы многомерного пространства отображаются в черты лиц. Метод часто критикуют, у него много недостатков, но одного отнять нельзя: опираясь на нашу способность распознавать даже небольшие изменения в выражениях лиц, он позволяет быстро схватывать сходства и отличия между весьма многомерными объектами (кстати, у Питера Уоттса этот метод упоминается).

Поэтому, я думаю, будущее -- за искусственными "посредниками" для сред и ситуаций, выпадающих за границы нашей фантазии. За "проводниками воображения", интуиция которых хорошо работает именно в недрах Юпитера или пустынях Венеры, но которые способны переводить воспринимаемое в привычные нам образы. В конце концов, если разведчиком в ином мире могут быть "искусственные глаза", то почему им не может быть искусственное сознание?

В этом я вижу роль машинного обучения, способную разрешить конфликт за внимание между космонавтикой и развитием вычислительных систем. Кто первым преуспеет в этом, тот во многом определит направление экспансии человечества.

И кто знает, быть может, мы найдём нечто удивительное не за сотни парсек у другой звезды, а просто взглянув "усиленным" восприятием на нечто присутствующее рядом и хорошо нам, вроде бы, знакомое?

Приложение 1. Краткое содержание статьи.

- Температура и давление во многом задают состояние материи и картину физических, химических, биологических и прочих процессов. Измените их -- и получите другой мир. Даже на Земле организмы из разных точек на рТ-диаграмме разделены несхожестью условий куда больше, чем расстоянием.
- Расселение человека по Земле -- это в первую очередь не километры территориальной экспансии, а освоение сред обитания с новыми температурами и давлениями. И за этим процессом стоят нетривиальные изобретения.
- На рТ-диаграмме можно изобразить границы выживания человека. И человеческой инженерии. И человеческой фантазии, похоже, тоже.
- Большинство сюжетов космической фантастики развивается при "нормальных" условиях. Произведения с большими удалениями от этих условий крайне редки.

- Пространство состояний гораздо больше пространства расстояний. Со времён Джордано Бруно мы подвисли на идее поиска обитаемых миров в космическом пространстве. Идее прекрасной, не спорю. Но, может быть, стоит расширить наш взгляд, взглянуть на пространства иных состояний материи -- тем более, что многие из них к нам гораздо ближе, чем инозвёздные миры?
- Человечеству нужно колонизировать не только и не столько космос. Нам, в первую очередь, надо колонизировать новые состояния материи и сознания.
- Спад интереса к космонавтике после 70-х случился не оттого, что доставленные картинки и результаты оказались **меньше** нашего воображения. Наоборот. Они оказались **больше**. Сильно больше. Выйдя за далеко за пределы привычного на рТ-диаграмме, они выпали из диапазона интуитивного восприятия, превратившись в непонятное "чёрное" и "белое".
- Современная компьютерная графика вполне может нарисовать искусственный Марс, зрительно не уступающий настоящему. Но такое моделирование не создаёт новых научных работ и нового знания о Марсе! Оно эмулирует восприятие зрительное, слуховое -- но не способно насытить высокоспециализированные "органы чувств", доступные лишь специалистам. И не потому, что какие-то из этих измерений слишком сложно эмулировать, нет. А потому, что их слишком много. Их тысячи, и невозможно построить связную, согласованную между всеми ними картину Марса, не изучив сначала **весь** Марс. А для этого туда надо лететь и изучать, а не сидеть дома.
- Человеческое тело притащить на Марс дорого, но можно. Но как притащить туда его душу? Как сделать, чтобы человек воспринимал именно Марс, во всей его марсианской полноте, а не жаждал, что там будут "яблони цвести"?
- И вот здесь я вижу, как развитие вычислительных систем может не конкурировать с космонавтикой, а помогать ей. Ибо искусственная нейронная сеть -- это определённо сконфигурированный элемент сознания. Тренировка сети -- это материализация некоего рода "экспертной интуиции" во внешнем носителе. Так нельзя ли создать искусственное сознание "марсианина", способное не только воспринимать Марс во всей его полноте -- но и доносить это восприятие потом до нас? Если наши приборы летают на Марс, чтобы донести до нас его изображение, то почему не могут туда летать "элементы сознания" с целью адекватно передать восприятие Марса?

Приложение 2. Обращение к "медленным" площадкам.

В привычном мне режиме проработки материала невозможно писать по статье в день или даже в неделю. Максимум -- две-три в год. А идей много, и писать надо. Поэтому я ищу площадки для публикаций, специализирующиеся именно на "медленных", глубоко проработанных статьях. Заинтересовавшиеся, пишите.

Приложение 3. Опорная литература и ссылки.

10. С. Доул. "Планеты для людей", издательство "Наука", Москва, 1974. Перевод И. С. Щербиной-Самойловой. Книга основывается на весьма куцых данных, собранных до 1972-го года, но более внятного популярного введения в теорию обитаемости планет я до сих пор не видел.
15. Katharina Lodders and Bruce Fegley, Jr. The Planetary Scientist Companion. New York, Oxford, Oxford University Press, 1998.
20. Полимеры кремния и азота: <https://en.wikipedia.org/wiki/Polysilazane>
25. *Microbial community in a sediment-hosted CO2 lake of the southern Okinawa Trough hydrothermal system*, Fumio Inagaki, Marcel M. M. Kuypers, Urumu Tsunogai, Jun-ichiro Ishibashi, Ko-ichi Nakamura, Tina Treude, Satoru Ohkubo, Miwako Nakaseama, Kaul Gena, Hitoshi Chiba, Hisako Hirayama, Takuro Nunoura, Ken Takai, Bo B. Jørgensen, Koki Horikoshi, and Antje Boetius, <http://www.pnas.org/content/103/38/14164.full>
28. https://en.wikipedia.org/wiki/Gas_hydrate_stability_zone, http://www.geotimes.org/nov04/feature_climate.html
30. <https://www.youtube.com/watch?v=AsP4yMY-a6U>
40. А. Ю. Потехин. Атмосферы и излучающие поверхности нейтронных звёзд. Успехи физических наук, август 2014, том 184, №8, DOI: 10.3367/UFNr.0184.201408a.0793, стр 793-832. Очень советую прочитать хотя бы первые главы.
50. https://en.wikipedia.org/wiki/White_dwarf#Chemical_bonds -> The magnetic fields in a white dwarf may allow for the existence of a new type of chemical bond, perpendicular paramagnetic bonding, in addition to ionic and covalent bonds, resulting in what has been initially described as "magnetized matter" in research published in 2012.[95] -> <http://www.nature.com/news/stars-draw-atoms-closer-together-1.11045> -> Lange, K. K., Tellgren, E. I., Hoffmann, M. R. & Helgaker, T. Science 337, 327–331 (2012).
60. David A. Liberman, Self-consistent field model for condensed matter. Physical Review B, Volume 20, Number 12, 15 December 1979, p. 4988
70. Metals Physics at Ultrahigh Pressure: Aluminium, Copper, and Lead as Prototypes. W. J. Neilis, J. A. **Moriarty**, A. C. Mitchell, M. Ross, R. G. Dandrea, N. W. Ascroft, N. C. **Holmes**, and G. R. Gathers (список фамилий авторов отдельно доставляет, если кто вчитался повнимательнее.) Physical Review Letters, Volume 60, Number 14, 4 April 1988, p. 1414-1415.
90. Прочность базальта и прочих пород: <https://www.mountainproject.com/v/examples-of-general-rock-strength-by-area/108744605>
100. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Phase_diagram_of_hydrogen-ru.svg
110. Prehistory timeline: <https://en.wikipedia.org/wiki/Prehistory#Timeline> , https://en.wikipedia.org/wiki/Middle_Paleolithic
115. Предтечи холодильника: [https://en.wikipedia.org/wiki/Ice_house_\(building\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Ice_house_(building))
120. <https://www.quora.com/How-many-people-are-in-the-air-flying-at-any-given-time>

130. "Погружение" на 701 метр <http://gtuem.praesentiert-ihnen.de/tools/literaturdb/project2/pdf/Gardette%20B.%20-%20EUBS%201993%20-%20S.%2032.pdf>
140. https://en.wikipedia.org/wiki/Submarine_depth_ratings
150. Жюль Верн, "Путешествия и приключения капитана Гаттераса"
160. Про переводы Маршака, <http://s-marshak.ru/works/trans/predislovie01.htm>
170. Александр Насибов, "Возмездие", <https://www.litmir.me/br/?b=172952&p=43>
180. Жак Ив Кусто, "В мире безмолвия"
190. "Два перелёта", 1938 г, Воениздат, <https://www.livelib.ru/book/1001020761-dva-pereleta-valerij-chkalov-georgij-bajdukov-aleksandr-belyakov>
200. Patrick Irwin, Giant Planets of our Solar System, An Introduction, published by Springer in association with Praxis Publishing, Chichester, UK, 2006, ISBN 3-540-31317-6
210. Infrared absorption of dense helium and its importance in the atmospheres of cool white dwarfs, Piotr M. Kowalski, Astronomy & Astrophysics manuscript no. ms c ESO 2014, June 19, 2014,
220. George H.A. Cole, Michael M. Woolfson, Planetary Science (the Science of Planets Around Stars), IoP Publishing 2002
230. The polluted atmospheres of cool white dwarfs and the magnetic field connection, Adela Kawka and Stephane Vennes, Mon. Not. R. Astron. Soc. 000, 1–5 (2013) Printed 8 January 2014, <https://arxiv.org/abs/1401.1249?context=astro-ph.SR>
240. PHYSICAL PROPERTIES OF THE CURRENT CENSUS OF NORTHERN WHITE DWARFS WITHIN 40 pc OF THE SUN, M.-M. Limoges, P. Bergeron, and S. Lepine, <https://arxiv.org/abs/1505.02297>
250. Relation between Brown Dwarfs and Exoplanets, Lauren Melissa Flor Torres, Roger Coziol, Klauss-Peter Schröder, César A. Caretta and Dennis Jack, The 19th Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun, Edited by G. A. Feiden, <https://arxiv.org/abs/1607.07922>
260. https://en.wikipedia.org/wiki/Interstellar_medium#Interstellar_matter
270. Temperature structure of the intergalactic medium within seven nearby and bright clusters of galaxies observed with XMM-Newton, H. Bourdin and P. Mazzotta, A&A 479, 307–320 (2008), DOI: 10.1051/0004-6361:20065758, c ESO 2008, <https://www.aanda.org/articles/aa/pdf/2008/08/aa5758-06.pdf>, Figure 5 on page 11 (317 in total numeration).
280. <https://books.google.com/books?id=vE8YDQAAQBAJ&pg=PA31&ots=7BPL6phKAM&dq=intergalactic%20voids%20density%20temperature&pg=PA31#v=onepage&q=ir> after Dark I : Structures of the Sky by Charles Francis, Troubador Publishing Ltd, Jun 30, 2016 - Science 200 pages), pages 30-31
290. <https://books.google.com/books?id=aFHuBwAAQBAJ&pg=PA76&ots=9yBWOH23Of&dq=metal%20compression%20nuclear%20tests&pg=PA76#v=onepage&q=700&f=p77andp>, High-Pressure Shock Compression of Solids VII: Shock Waves and Extreme States of Matter, Vladimir E. Fortov L.V. Altshuler R.F. Trunin A.I. Funtikov March 9, 2013, Springer Science & Business Media
340. Физические величины. Справочник. Ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлиховой, Москва, Энергоатомиздат, 1991, стр 134, 136 (Акустика, Л. К. Зарембо)
350. <http://www.noisehelp.com/noise-level-chart.html>
360. <https://polarbearfacts.net/do-polar-bears-migrate/>
370. https://en.wikipedia.org/wiki/Mount_Everest + <https://www.topchinatravel.com/mount-everest/the-climate-of-mount-everest.htm>
380. Top 25 Science Fiction Books: <http://bestsciencefictionbooks.com/top-25-best-science-fiction-books.php>
390. Top 100 Sci-Fi Books: http://scifilists.sffjazz.com/lists_books_rank1.html
400. 100 лучших произведений советской фантастики: <http://tichy.livejournal.com/200082.html#/200082.html>
410. https://en.wikipedia.org/wiki/Material_properties_of_diamond
420. Juno microwave radiometer: http://www.irmmw-thz2014.org/sites/default/files/F2_D-39.1_Janssen.pdf (Juno at Jupiter: The Juno Microwave Radiometer (MWR), Michael A. Janssen, Shannon T. Brown, John E. Oswald, and Amarit Kitiyakara, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, CA, 91108 USA)
430. The Interior of Jupiter, https://authors.library.caltech.edu/39188/1/Stevenson_2004p35.pdf, Tristan Guillot, David J. Stevenson, William B. Hubbard, Didier Saumon
440. <http://solarsystem.wustl.edu/wp-content/uploads/reprints/1994/No49%20Fegley&Lodders%201994%20Icarus.pdf>, Chemical Models of the Deep Atmospheres of Jupiter and Saturn, Bruce Fegley, Jr., and Katharina Lodders, ICARUS 110, 117-154 (1994). Да, работе скоро четверть века и новых данных с тех пор километр. Но авторы -- умные и известные люди и вряд ли совсем уж грубо ошибались, так что хотя бы в качестве иллюстративного материала эта работа должна быть вполне пригодна. К тому же, мне почему-то не попадалось более свежих исследований на эту тему...
450. Giant Planets, Tristan Guillot, Daniel Gautier, Treatise on Geophysics, 2nd Edition 00 (2014) 1–42, <https://arxiv.org/abs/1405.3752>
460. Overview of Mission Architecture Options for Jupiter Deep Entry Probes, Presented by Dr. Tibor S. Balint at the Outer Planets Advisory Group Meeting, Boulderado Hotel in Boulder, Colorado, June 910, 2005, https://www.lpi.usra.edu/opag/meetings/jun2005/presentations/JDEP_OPAG_presentation.pdf

470. Structures of the Planets Jupiter and Saturn, A Kerley Technical Services Research Report, Gerald I. Kerley, December 2004. Несколько примитивная и устаревшая модель, но даёт оценку параметров в центре ядра Юпитера и соотношения давление-плотность и давление-радиус. Пусть не совсем точно, но для увязки данных полезно.
480. A Preliminary Jupiter Model, W. B. Hubbard, and B. Militzer, <https://arxiv.org/pdf/1602.05143.pdf>
490. Comparing Jupiter interior structure models to Juno gravity measurements and the role of a dilute core, S. M. Wahl, W. B. Hubbard, B. Militzer, T. Guillot, Y. Miguel, N. Movshovitz, Y. Kaspi, R. Helled, D. Reese, E. Galanti, S. Levin, J.E. Connerney, S.J. Bolton. Confidential manuscript submitted to Geophysical Research Letters, Jul 2017, <https://arxiv.org/abs/1707.01997>
500. Seismology of Giant Planets, Chapter 14 of the book Extraterrestrial Seismology - Cambridge University Press (2015), Submitted on Arxiv on November 6th, 2014, Patrick Gaulme, Benoît Mosser, François-Xavier Schmider, Tristan Guillot, <https://arxiv.org/abs/1411.1740?context=astro-ph.EP>.
510. Reaction-diffusion: https://en.wikipedia.org/wiki/Reaction%E2%80%93diffusion_system
520. A low temperature thermal conductivity database, Adam L. Woodcraft, and Adam Gray, http://reference.lowtemp.org/Woodcraft_LTD13_materials.pdf
530. https://en.wikipedia.org/wiki/Black_dwarf#Formation
540. RADON GAS EMANATION ON THE LUNAR SURFACE OBSERVED BY KAGUYA/ARD. K. Kinoshita, K. Kojima, M. Itoh, T. Takashima, T. Mitani, K. Yoshida, S. Okuno, and J. Nishimura, LPSC 2016, <https://www.hou.usra.edu/meetings/lpsc2016/pdf/3070.pdf>
550. Surveyor Observations of Lunar Horizon-Glow*, J. J. Rennilson and D. R. Criswell, 13 August 1973. The Moon 10 (1974) 121-142. (c) Kluwer Academic Publishers, <http://articles.adsabs.harvard.edu/full/1974Moon...10..121R>
555. <https://www.nasa.gov/topics/solarsystem/features/leaping-lunar-dust.html>
560. Зарисовка лунных "зорь" астронавтами: <https://www.nasa.gov/ames/ladee-project-scientist-update/>
570. https://en.wikipedia.org/wiki/Mean_free_path
580. <https://en.wikipedia.org/wiki/Thermosphere>
590. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/JA074i001p00267/full> Midlatitude neutral thermosphere density and temperature measurements, David T. Pelz and George P. Newton, 1 January 1969, DOI: 10.1029/JA074i001p00267
600. Dong Lai, про магнитную химию в белых карликах: <http://www.nature.com/news/stars-draw-atoms-closer-together-1.11045>
610. <https://en.wikipedia.org/wiki/Calcium-48>
620. Measurement of the double-beta decay half-life and search for the neutrinoless double-beta decay of ^{48}Ca with the NEMO-3 detector. R. Arnold, C. Augier, A.M. Bakalyarov, J.D. Baker, A.S. Barabash, A. Basharina-Freshville, S. Blondel, S. Blot, M. Bongrand, V. Brudanin, J. Busto, A.J. Caffrey, S. Calvez, M. Cascella, C. Cerna, J.P. Cesar, A. Chapon, E. Chauveau, A. Chopra, D. Duchesneau, D. Durand, V. Egorov, G. Eurin, J.J. Evans, L. Fajt, D. Filosofov, R. Flack, X. Garrido, H. Gomez, B. Guillon, P. Guzowski, R. Hodak, A. Huber, P. Hubert, C. Hugon, S. Jullian, A. Klimenko, O. Kochetov, S.I. Konovalov, V. Kovalenko, D. Lalanne, K. Lang, V.I. Lebedev, Y. Lemi ere, T. Le Noblet, Z. Liptak, X. R. Liu, P. Loaiza, G. Lutter, F. Mamedov, C. Marquet, F. Mauger, B. Morgan, J. Mott, I. Nemchenok, M. Nomachi, F. Nova, F. Nowacki, H. Ohsumi, R.B. Pahlka, F. Perrot, F. Piquemal, P. Povinec, P. Pridal, Y.A. Ramachers, A. Remoto, J.L. Reyss, B. Richards, C.L. Riddle, E. Rukhadze, N.I. Rukhadze, R. Saakyan, R. Salazar, X. Sarazin, Yu. Shitov, L. Simard, F. Simkovic, A. Smetana, K. Smolek, A. Smolnikov, S. Soldner-Rembold, B. Soule, I. Stekl, J. Suhonen, C.S. Sutton, G. Szklarz, J. Thomas, V. Timkin, S. Torre, V.I. Tretyak, V.I. Tretyak, V.I. Umatov, I. Vanushin, C. Vilela, V. Vorobel, D. Waters, S.V. Zhukov, and A. Zukauskas, arXiv:1604.01710v3 [hep-ex] 16 Jun 2016, <https://arxiv.org/abs/1604.01710>
630. Конференция по планетарным дюнам: <https://www.hou.usra.edu/meetings/dunes2017/background/>
640. Красивые картины художников-фантастов: https://vk.com/wall-129239428_1710
642. Красивые картины художников-фантастов: https://vk.com/wall-129239428_1728
650. Characteristics of Main Sequence Stars, <http://personal.psu.edu/rbc3/A534/lec18.pdf> (автор не указан, но вещи, там изложенные, общеизвестны; работа использована из-за удобного графика на стр. 7). Даёт температуру в центре звезды массой 50 масс Солнца как $3.7 \cdot 10^7$ К. Она же даёт радиус такой звезды как $\sim 8 R_s$. Простая планетарная оценка давления в центре по порядку величины тогда даёт $3 \cdot 10^9$ атмосфер. Но известно, что концентрация массы к центру у звёзд жутко неоднородна, а потому такая оценка не годится. [15] и [450] оценивают давление в центре Солнца в $(2.3-2.5) \cdot 10^{11}$ атмосфер, т.е. на два порядка выше. Далее вспомним, что из соображений размерности это давление обратно пропорционально радиусу. Если это принять, то давление в центре звезды массой в 50 масс Солнца должно составлять что-то вроде $3 \cdot 10^{10}$ атмосфер.
655. Современные параметры Z-пинчей: https://en.wikipedia.org/wiki/Z_Pulsed_Power_Facility
660. Icy Bodies of the Solar System, By International Astronomical Union. Symposium, Julio A. Fernandez et. al, https://books.google.com/books?id=DzCPuYgb-AC&pg=PA124&ots=oVSoug7eB_&dq=KBO%20cooling%20time&pg=PA124#v=onepage&q=KBO%20cooling%20time&f=false, p 123-124
670. Dilution refrigerator -- это [рефрижератор растворения](#) по-русски. Который действительно достигает температур в 2 милликельвина на практике.
680. Мартенситно-стареющая сталь и прочие прочности: https://en.wikipedia.org/wiki/Ultimate_tensile_strength
690. Nickel-Based Superalloys for Advanced Turbine Engines: Chemistry, Microstructure, and Properties. Tresa M. Pollock, Sammy Tin. JOURNAL OF PROPULSION AND POWER, Vol. 22, No. 2, March–April 2006 <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?>

[doi=10.1.1.462.8486&rep=rep1&type=pdf](https://doi.org/10.1.1.462.8486&rep=rep1&type=pdf)

700. MECHANICAL, OXIDATION, AND THERMAL PROPERTY DATA FOR SEVEN REFRACTORY METALS AND THEIR ALLOYS, by T. E. TIETZ, J. W. WILSON, 1961, <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/266824.pdf> (Fig 2.6 and 2.7)

710. Solubility of Rock in Steam Atmospheres of Planets, Submitted to Astrophysical Journal: 29 January 2016. Bruce Fegley, Jr., Nathan S. Jacobson, K.B. Williams, J.M.C. Plane, L. Schaefer, and Katharina Lodders, <https://arxiv.org/abs/1602.00658>

720. Evidence for a Rapid Turnover of Argon in the Lunar Exosphere. Jacob A. Kegerreis, Vincent R. Eke, Richard J. Massey, Simon K. Beaumont, Rick C. Elphic, Luis F. Teodoro. arXiv:1612.02414v1 [astro-ph.EP] 7 Dec 2016, <https://arxiv.org/abs/1612.02414>

730. The Evolution and Internal Structure of Jupiter and Saturn with Compositional Gradients, A. Vazan, R. Helled, M. Podolak, A. Kovetz, <https://arxiv.org/abs/1606.01558>

740. Lunar eclipse induces disturbance in the lunar exosphere, Anil Raghav, Ankush Bhaskar, Virendra Yadav, Nitinkumar Bijewar, Chintamani Pai, Vaibhav Rawoot, <https://arxiv.org/abs/1401.6559>

750. DUST LEVITATION ABOVE THE LUNAR SURFACE: ROLE OF CHARGE FLUCTUATIONS. E.V. Rosenfeld, A.V. Zakharov, <https://arxiv.org/abs/1706.09664>

760. HOW DIELECTRIC BREAKDOWN MAY WEATHER THE LUNAR REGOLITH AND CONTRIBUTE TO THE LUNAR EXOSPHERE. A. P. Jordan, T. J. Stubbs, J. K. Wilson, P. O. Hayne, N. A. Schwadron, H.E. Spence, N. R. Izenberg, <https://www.hou.usra.edu/meetings/lpsc2017/pdf/2332.pdf>

770. PROPERTIES OF THE LUNAR EXOSPHERE DURING THE PERSEID 2009 METEOR SHOWER, Berezhnoy A.A, Churyumov K.I, Kleshchenok V.V, Kozlova E.A, Mangano V, Pakhomov Y.V, Ponomarenko V.O, Shevchenko V.V, Velikodsky Yu.I, <https://arxiv.org/abs/1404.2075>

780. SEARCHING FOR LUNAR HORIZON GLOW WITH THE LUNAR ORBITER LASER ALTIMETER. M. K. Barker, E. Mazarico, D. E. Smith, X. Sun, M. T. Zuber, T. P. McClanahan, G. A. Neumann, M. H. Torrence, <https://www.hou.usra.edu/meetings/lpsc2016/pdf/1985.pdf>

790. <https://phys.org/news/2013-11-plasma-crystal.html>

800. A Bump in the Night : Wind Statistics point to Viking 2 Sol 80 Seismometer Event as a real Marsquake, R. D. Lorenz, Y. Nakamura and J. Murphy, <https://www.hou.usra.edu/meetings/lpsc2016/pdf/1566.pdf>

810. FIRST DETECTION OF NON-CHLORINATED ORGANIC MOLECULES INDIGENOUS TO A MARTIAN SAMPLE. C. Freissinet, D. P. Glavin, A. Buch, C. Szopa, R. E. Summons, J. L. Eigenbrode, P. D. Archer Jr, W. B. Brinckerhoff, A. E. Brunner, M. Cabane, H. B. Franz, S. Kashyap, C. A. Malespin, M. Martin, M. Millan, K. Miller, R. Navarro-González, B. D. Prats, A. Steele, S. Teinturier, P. R. Mahaffy and the SAM and MSL science teams, <https://www.hou.usra.edu/meetings/lpsc2016/pdf/2568.pdf>

820. A Deep Learning Computational Chemistry "AI", Garrett Goh, Pacific Northwest National Laboratory, <https://www.slideshare.net/SessionsEvents/garrett-goh-scientist-pacific-northwest-national-lab>

825. Самоорганизующиеся карты https://en.wikipedia.org/wiki/Self-organizing_map (русская версия)

830. Растворение натрия в жидком аммиаке, видео: <https://www.youtube.com/watch?v=JefumJFatsw>

840. Лица Чернова:

https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D1%86%D0%B0_%D0%A7%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%

850. Комментарий [Fenyx_dml](https://geektimes.ru/post/297257/#comment_10550763): https://geektimes.ru/post/297257/#comment_10550763

860. Диснеевский мультфильм про Марс: <https://www.youtube.com/watch?v=mQ-T5VEueW0>

===

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=b1KSIJ>] === **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:** ranvPv13zqmUsQPgazwKkWCEaYecYxN7z === **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.

===