

ПОИСК ВНЕЗЕМНЫХ ЦИВИЛИЗАЦИЙ

В сентябре этого года наш бывший соотечественник Юрий Мильнер предложил крупное финансирование поиска разумной жизни в иных звездных системах. Научное руководство проектом возглавил выдающийся английский физик Стивен Хоукинг. Аналогичная программа Search Extra Terrestrial Intelligence (SETI) существовала и ранее, но не принесла результатов (как и другие подобные национальные и международные проекты). Новая инициатива заставляет вернуться к вопросу о вероятности успеха этого исследования.

Парадокс Ферми в контексте текущей ситуации

М.В.Родкин,

доктор физико-математических наук

Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН
Москва

В 1950-х годах великий итальянский физик Энрико Ферми задался вопросом, который позже назовут парадоксом Ферми. Вселенная существовала миллиарды лет до образования Солнечной системы. Солнце представляет собой вполне обычную звезду, каких много. Планета Земля — менее рядовое явление, но нет оснований считать ее уникальной. В нашей Галактике должны существовать цивилизации старше нас на миллионы и даже миллиарды лет. По аналогии с земной цивилизацией можно ожидать, что и они будут активно заниматься исследованиями космического пространства и испускать радиоволны. Излучение обычного телепередатчика современными средствами можно увидеть примерно за 50 св. лет. Стандартный мощный радар обнаруживается примерно за 100 св. лет. Установку типа радиотелескопа в Аресибо, используемого для радиолокационных наблюдений объектов Солнечной системы, можно заметить из центра нашей Галактики (конечно, если удастся поймать узконаправленный луч). Гипотетические «астроинженерные» конструкции высокоразвитых цивилизаций (типа сферы Дайсона) мы можем уже сейчас идентифицировать даже в соседней галактике. Казалось бы, естественно заметить аномальное радиоизлучение от некоторых звезд, а также встретить чужие исследовательские зонды или космические корабли. Но ничего подобного не наблю-

дается и не найдено до сих пор. И Ферми спрашивает: «Так где же все они?»

В 1961 г. американский астроном Франк Дрэйк предложил свое знаменитое уравнение для оценки числа N цивилизаций в нашей Галактике, с которыми мы могли бы иметь радиосвязь. Одна из модификаций этого уравнения имеет вид:

$$N = R \cdot F_1 \cdot n \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot F_4 \cdot \Delta t,$$

где R — скорость появления новых звезд в нашей Галактике, F_1 — доля звезд с планетными системами, n — среднее число планет в звездной системе, на которых может развиваться жизнь, F_2 — доля планет, на которых жизнь развивается, F_3 — доля планет, где существует разумная жизнь, F_4 — доля цивилизаций, способных посылать и принимать радиосигналы, Δt — длительность жизни таких цивилизаций.

Астрономы оценивают: $R \approx 7$ в год, $n \approx 1-3$. Наличие у звезды планетной системы полагается типичным. Жизнь на Земле (в геологическом масштабе времени) возникла почти сразу же вслед за образованием планеты. Развитие разумной жизни, а затем и технологической цивилизации представляется (на опыте Земли) почти неизбежным следствием эволюции. Отсюда F_1, F_2, F_3, F_4 близки к единице, и мы получаем упрощенную запись формулы Дрэйка: $N \approx 10 \Delta t$.

Результат шокирующий; он означает, что средняя продолжительность существования цивилизаций весьма мала. Сначала предположили: оценки

неверны и планетные системы возникают только у очень незначительной доли звезд, а феномен жизни во Вселенной крайне редок. Однако вскоре эти объяснения пришлось отвергнуть. На данный момент открыты уже тысячи планет, и их число близко к тому, что предполагали оптимисты середины прошлого века.

Уникальность феномена жизни также, по-видимому, не подтверждается. Аминокислоты находят в космосе. А результаты последних исследований NASA предполагают наличие на Марсе воды и указывают на существование там в прошлом глубоких водоемов и водных потоков. Оптимисты полагают, что на Марсе должна была быть жизнь, и предварительные данные говорят о присутствии в прошлом на Красной планете характерных для живой природы геохимических циклов. Предположения о возможности жизни высказываются и в связи с другими планетными телами. Обсуждается, например, подледная жизнь на спутнике Юпитера — Европе.

Парадокс Ферми остается объяснить малой средней продолжительностью существования цивилизаций. В своей последней статье И.С.Шкловский — ранее известный энтузиаст программ поиска внеземного разума — с тоской пишет: «...разум есть одно из “изобретений” эволюционного процесса... но далеко не все “изобретения”... являются полезными. <...> Вспомним чудовищно гипертрофированные средства защиты и нападения (рога, панцири и пр.) у рептилий мезозоя. Или неправдоподобно развитые клыки саблезубого тигра... невольно напрашивается аналогия... не является ли самоубийственная деятельность человечества (чудовищное накопление ядерного оружия, уничтожение окружающей среды и др.) такой же гипертрофией развития, как рога и панцирь какого-нибудь трицератопса или клыки саблезубого тигра? <...> Не является ли... [самоуничтожение. — М.Р.] закономерным финалом эволюции разумных видов во Вселенной, что естественно объяснило бы ее молчание?»*

Причиной краткости существования цивилизаций может быть глобальный экологический кризис. В пользу такого решения проблемы свидетельствует длительный лавинообразный рост таких параметров, как численность и энергопотребление человечества, быстро нарастающие объемы потребляемых ресурсов и накапливающихся отходов. Безудержный рост не может не закончиться кризисом. Но такого увеличения в значительной степени уже и нет. Закон роста населения, потребления ресурсов и энергии в последние лет двадцать все более отклоняется от кризисного лавинообразного закона. И неизбежность экологического кризиса теперь совсем не очевидна.

Другое возможное объяснение ожидаемой гибели человечества — термоядерная война. Гибель цивилизации при этом может быть следствием комбинированного воздействия ядерного заражения и эффекта ядерной зимы. Поясним последний эффект (о нем много писали в 80-х годах, но затем словно забыли). Предполагается, что массовые вымирания биоты в истории Земли часто инициировались эффектами метеоритной или вулканической зимы. При падении больших метеоритов и при всплесках вулканической активности происходит выброс в атмосферу огромных масс пыли, которая экранирует планету от солнечных лучей, чем вызывает сильное похолодание. Оно продолжается, пока пыль не осядет. На памяти человечества уже известны несколько случаев, когда вслед за сильными вулканическими извержениями наблюдались «года без лета», довольно часто сопровождавшиеся голодом и народными волнениями. В истории России с такой «вулканической зимой» связывают Смуту.

Выброс огромных масс вещества в верхние слои атмосферы происходит и при ядерных взрывах. Но эффект оказывается сильнее. Цели ядерных ударов — города. В них сконцентрировано больше горючих материалов, чем в среднем в природных ландшафтах. Отсюда — сильнейшие пожары. Подобные огненные смерчи наблюдались во Второй мировой войне после массированных бомбардировок немецких городов и сброса атомных бомб на Японию. Есть впечатляющие свидетельства, как поток воздуха к центру пожара подхватывал пытавшихся спастись людей и бросал их в огонь.

Но важнее все же другое. Огненные смерчи выносят в верхние слои атмосферы огромные массы сажи. А тонкие пластинки пепла и сажи сильнее, чем обычная пыль, экранируют солнечные лучи и медленнее осаждаются. Почти всем приходилось наблюдать, с какой легкостью поднимаются вверх частички пепла от разведенного костра. Циркуляция атмосферы разносит сажу по всей планете, покрывая ее «черным саваном». Верхние частички сажи разогреваются в солнечных лучах и, нагревая воздух, поднимаются вверх. Осаждение сажи и вымывание ее дождями из атмосферы происходит медленно. Возникает эффект даже не ядерной зимы, а ядерной ночи. Под черным саваном сажи на планете может быть темно, как в безлунную ночь. Вызванное этим прекращение фотосинтеза могло бы стать причиной гибели существующей экосистемы Земли.

Расчеты сценариев ядерной зимы, проведенные в 80-х годах независимо в Вычислительном центре Академии наук СССР, в Корнельском университете США и в ряде других научных центров, показали хорошо согласующиеся результаты. По ним полное использование ядерных арсеналов человечества может привести к гибели даже океанических экосистем. В этом случае эволюция

* Шкловский И.С. Вселенная, жизнь, разум // Земля и Вселенная. 1985. №3. С.76—80.

жизни на планете будет отброшена назад на пару миллиардов лет.

Модель ядерной зимы, естественно, вызвала и критику, вплоть до утверждений, что это миф, раздутый с целью победы США в холодной войне. Критики реальности такого сценария полагают, что стороны пощадят крупные города, ограничившись только ударами по военным базам и позициям ракет. Также утверждается, что сажа не поднимется столь высоко и быстро оседет. Мне эти высказывания не кажутся достаточно обоснованными. Читатель может составить свое мнение, поисковав в Интернете «миф о ядерной зиме» или похожие ссылки. Но очевидно и то, что расчеты сценария ядерной зимы не безукоризненны. Не хватает точных исходных данных, которые могут быть получены только в натурном эксперименте, т.е. после термоядерной бомбардировки современного большого высокоэтажного города. Хочется надеяться, что такой эксперимент не состоится.

Возможно ли столь трагическое развитие событий? Ведь почти очевидно, что никто на планете не желает самоубийственного ядерного конфликта. Не исключено, однако, его развитие по «логике снежной лавины». Возможны и сценарии развития апокалипсиса «по ошибке». Так, только в США за период до 2005 г. известно более 20 инцидентов, которые могли привести к случайному или несанкционированному применению ядерного оружия. Не меньшее число подобных происшествий, по-видимому, имело место и в СССР. Один такой случай стал известен в годы перестройки. Подполковник в отставке С.Петров рассказал журналистам, что в 1983 г., будучи оперативным дежурным на командном пункте системы предупреждения войск ПВО о ракетном нападении, он на собственный страх и риск объявил ошибкой сообщение системы о запуске по территории СССР пяти межконтинентальных баллистических ракет «Минитмен» с 10 ядерными боеголовками каждая. Заметим, что, приняв такое решение, он не только нарушил инструкцию, но и фактически обманул высшее руководство страны, доложив ему об ошибке, о которой мог только предполагать, но не зная наверняка. Подполковника сначала собирались наградить, но вместо этого уволили из рядов Вооруженных сил, даже не призвав очередное звание.

Рост международной напряженности в связи с украинским кризисом повысил опасность мирового военного конфликта. В 2014 г. истребители НАТО поднимались на перехват российских самолетов втрое чаще, чем годом раньше. Британский аналитический центр European Leadership Network насчитал за первые восемь месяцев 2014 г. три случая, которые были на грани применения оружия. Итак, если до украинского кризиса в среднем в год возникало менее одного случая опасности конфликта, то год назад их было уже около пяти, а сейчас, видимо, еще больше.

Один случай, пять случаев — много это или мало? Опасно или не очень? Попробуем оценить (пусть и очень условно). В.Смил в своей известной монографии (2008)* на основании экспертных оценок принимает однопроцентную вероятность перерастания особо опасного инцидента в ядерный конфликт. Исходя из этого, оценим опасность «самоуничтожения по ошибке». При пяти случаях за год вероятность апокалипсиса за пять лет (вполне возможный срок продолжительности крымско-украинского конфликта) окажется близкой к 20%. Для сравнения — вероятность для москвича оказаться среди жертв взрывов в метро или среди заложников «Норд-Оста» составляла около 0.05%. При сохранении уровня напряженности в пять опасных инцидентов за год вероятность благополучного (без ядерной войны) завершения текущего столетия составит менее 1%. Такая оценка вероятности самоуничтожения человечества представляется вполне весомой заявкой на реализацию парадокса Ферми.

Приведем другие оценки вероятности развития разрушительных военных конфликтов. По данным доклада Всемирному экономическому форуму (приведены Б.Н.Порфирьевым 10 февраля 2015 г. на выступлении в Президиуме РАН), на 2015 г. вероятность гибели многих миллионов человек в военном конфликте составляет 3.6%. Это меньше нашей (5%) оценки, полученной по данным «военного» 2014 г., но существенно выше вероятности для предыдущего мирного периода времени. В упомянутой выше книге Смил пишет, что в следующие 50 лет вероятность возникновения большой войны близка к 1%. Заметим, однако, что столь оптимистичную оценку он получил для политической ситуации 1995—2010 гг. (при минимуме вооруженных конфликтов в мире и при полном отсутствии напряженности по линии ядерного противостояния Россия—НАТО).

Конечно, военное столкновение — это еще обязательно ядерный конфликт, а ядерный конфликт — обязательно полноценная ядерная зима. Но в свете парадокса Ферми (почти единогласное мнение специалистов, занимавшихся этой проблемой, сводится к тому, что средняя длительность существования технологических цивилизаций не превышает тысячи лет) и значительного числа происходящих в мире неожиданных тяжелых катастроф (которые до этого казались невозможными) реализация такого самоубийственного сценария не кажется надуманной.

P.S. Уже после принятия статьи к публикации появилась информация по итогам наблюдений с помощью космической обсерватории Kepler о весьма необычном излучении звезды KIC 8462852 из созвездия Лебедя, находящейся на

* Смил В. Глобальные катастрофы и тренды. Следующие 50 лет (русский перевод С.В. Зубкова). М., 2012.

расстоянии 1480 св. лет от Земли (толщина диска нашей Галактики — 1000 св. лет). Излучение временами резко ослабевало, что можно объяснить наличием вблизи звезды протяженных объектов для улавливания солнечной энергии, как это предполагается в модели сферы Дайсона. Готовится специальная программа исследования удивительного эффекта*.

Если гипотеза об его искусственной природе подтвердится, то это будет указывать как на не единственность феномена технологической цивилизации во Вселенной, так и на его крайнюю редкость. ■

* <http://lenta.ru/news/2015/10/14/strangestar>

Сто лет одиночества?

А. В. Бялко,

доктор физико-математических наук
журнал «Природа»
Москва

Формула Дрейка внушает много сомнений, отмеченных всеми учеными, обсуждавшими эти вопросы. Она не есть формула в обычном физическом смысле. Этот очерк также представляет собой не научную публикацию, а эссе, свободное обсуждение сопряженных вопросов. Такая форма позволяет использовать далекие аналогии и замену научных доказательств физической интуицией.

Единственная величина в формуле Дрейка, по размерности обратная времени, — скорость звездообразования. Какое отношение имеет она к вероятности зарождения жизни? В связи этих величин присутствует некоторая логика. К сожалению, она выходит за границу современных знаний по той причине, что мы не имеем ясных представлений о зарождении жизни, в частности о том, как возникает монокиральность аминокислот, образующих белковые молекулы. Бета-распад некоторых изотопов в составе молодых звезд и окружающих их планет, в принципе, имеет нужную асимметрию. Но никому пока не удалось показать, каким образом поляризованные электроны, возникающие при бета-распаде, могли бы инициировать синтез киральных молекул. К тому же само рождение звезд из облаков молекулярного водорода — процесс, теоретически далеко не ясный. Наблюдательно он сопровождается генерацией джетов (потоков холодного газа, исходящих из полюсов молодой звезды) и сильных магнитных полей, сжимающих эти джеты в тонкие струи.

Обратим внимание на необъясненные странности вращения Солнца. Во-первых, оно очень медленное — весь момент вращения Солнечной системы сосредоточен в планетах. Во-вторых, медленнее всего вращается газ вблизи солнечных

полюсов. На экваторе и в солнечных недрах угловая скорость выше. Такая ситуация могла сложиться, если бы молодое Солнце отдавало излишний момент вращения джетам, исходящим из его полюсов. К сожалению, вразумительной теории джетов у нас нет.

Эти рассуждения, конечно, носят гипотетический характер, но, даже если принять такой подход, логические пробелы все равно остаются. Ведь все звезды когда-то родились, а на ранних стадиях Галактики скорость звездообразования была минимум на пару порядков выше. Нам же потребовалось 4,5 млрд лет для достижения разумного состояния, что лишь в 3 раза меньше возраста Вселенной. Возможно, для оценки потенциального числа цивилизаций в Галактике более целесообразно подсчитать те звезды, которые похожи на Солнце и отличаются от него не более чем в три—пять раз по массе, радиусу и светимости. Это нетрудно сделать с помощью диаграммы Герцшпрунга—Рассела (рис.1), демонстрирующей зависимость светимости звезды от температуры ее поверхности. Точка Солнца лежит на главной последовательности диаграммы среди звезд не очень массивных и не очень старых. Если среди них отобрать расположенные в Галактике примерно на том же расстоянии от ее центра, что и Солнце, мы получим перечень возможных кандидатов для поиска внеземных цивилизаций. Примерно такой подход был принят и в проекте SETI, но успехом он не увенчался.

Утверждение, что коэффициенты формулы Дрейка F_c , F_d , описывающие вероятность эволюции от зарождения жизни до цивилизации, близки к единице, конечно, сильно преувеличено. С оговорками оно может оказаться верным только в пределе очень долгого времени эволюции. Приведу пример. Допустим, в подледном океане Европы существует бактериальная жизнь. Каков шанс

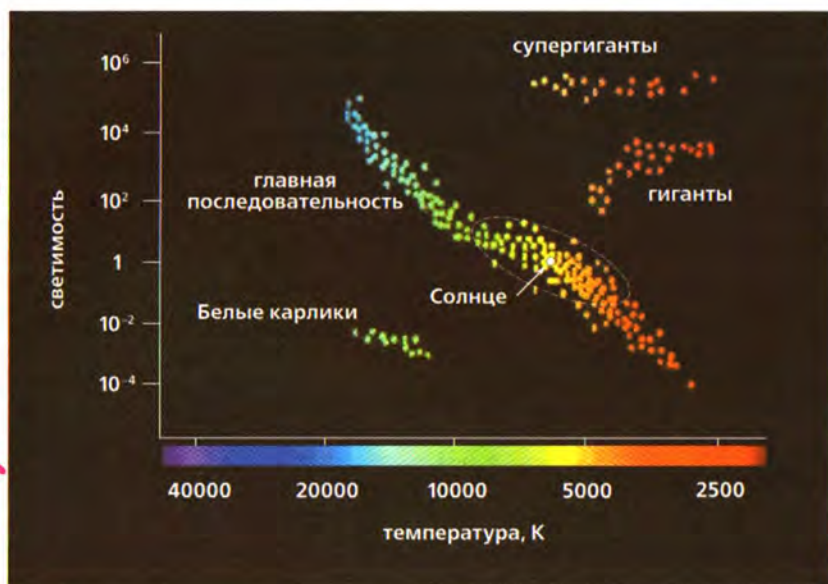


Рис.1. Диаграмма Герцшпрунга—Рассела. Светимость приведена в единицах светимости Солнца. Штриховой линией показана область звезд, где можно ожидать разумную жизнь.

ее выхода из-под льда, а тем более развития до разумного уровня? Он практически равен нулю. Ненулевой сценарий может выглядеть следующим образом. Европа сталкивается с другим телом сравнимой массы. Осколки переносят бактериальную жизнь, скажем, на Марс, и выпадает шанс для ее дальнейшего развития. Но для тел, подобных Европе, это сценарий не будущего (сейчас Солнечная система слишком устойчива), а лишь вероятного прошлого.

Однако не будем забывать о кометах. Представим себе, что большая комета (например, комета Галлея с массой 10^{15} кг), двигающаяся с относительной скоростью 40–60 км/с, сталкивается с Энциеладом ($6 \cdot 10^{19}$ кг) или с Европой ($5 \cdot 10^{22}$ кг). Моделирование такого столкновения, аналогичного сценарию рождения Луны при мегаимпакте, представляло бы значительный интерес. Качественно картина выглядит примерно так. Весь ледяной покров раскалывается, вода океана выплескивается. Частично она испаряется, но множество водяных брызг быстро замерзает. Океан снова покрывается льдом, не оставляя следов кратера. Ледяные осколки, не удерживаемые относительно слабой гравитацией, сформируют новые кольца Юпитера или Сатурна, но заметная часть подледного океана разлетится во внутреннюю часть Солнечной системы. Первые осколки выпадут на Марс и Землю всего через несколько десятков лет после такого столкновения.

При всех своих недостатках формула Дрейка уже полстолетия признается научной средой. Будем ее использовать за неимением лучшего и мы.

Обнаружение кандидатов в цивилизации по аномальному радиоизлучению — только первая стадия. Следующая состоит в том, чтобы установить с инопланетянами двустороннюю связь. Пока в проекте Мильнера—Хоукинга такая задача не ставится, но для обсуждения она не закрыта. После установления возможных кандидатов в цивилизации, которые овладели радиосвязью, можно будет посылать к ним сфокусированные сигналы, содержащие информацию о нашей цивилизации.

Но если мы собираемся обнаружить разумную внеземную жизнь, то и она может (или уже смогла!) обнаружить нас. Поставим обратную задачу. С какой вероятностью развита цивилизация некой звездной системы в нашей Галактике может обнаружить повышенный уровень

радиоизлучения Земли? В оценке вероятности установления связи между двумя цивилизациями должна присутствовать скорость света c . С момента открытия и освоения радиосвязи (1895—1897) прошло $t = 120$ лет. Фактически этот срок меньше, поскольку первые опыты по установлению дальней радиосвязи не выносили информацию в космос — длинные радиоволны отражались от ионосферы. Импульсы радиолокации времен Второй мировой волны уже достигали космоса, но они не несли информации. Только телевидение и связь с первыми спутниками начали посылать информационные радиосигналы. Они успели распространиться на расстояние около 70 св. лет: $ct = 2 \cdot 10^{18}$ м.

Плотность звезд в окрестности Солнца $n = 0.004$ (в единицах обратных световых лет в кубе). Таким образом, только потенциальные обитатели ближайших звезд ($N = 1400$) сегодня имеют шанс зафиксировать существование нашей цивилизации. Полное число звезд Галактики составляет примерно $2 \cdot 10^{11}$. Убавим его, учитывая, что значительную их часть экранирует от нас (а нас от них) межзвездная пыль. Тогда окажется, что на сегодня внеземная цивилизация Галактики могла обнаружить жизнь на Земле с вероятностью всего $\sim 10^{-8}$. Еще через 100 лет такая вероятность возрастет примерно на порядок, и только через 10^5 лет (что соответствует размеру Галактики в световых годах) она окажется около единицы.

А теперь сопоставим число внеземных цивилизаций по формуле Дрейка (пропорциональное ΔI) и число тех, которые сумеют обнаружить нас за время t . Эти времена физически разные: t — величина переменная, отсчитываемая с середины прошлого века, а ΔI (продолжительность существ-

вования внеземной цивилизации) — величина неизвестная, с большим разбросом возможных значений. Однако число цивилизаций в обеих формулах:

$$N \approx 10\Delta t \text{ и } N \approx n(ct)^1,$$

по сути одно и то же. Как видно из графика, эти зависимости пересекаются при $t \approx \Delta t \approx 50$ лет (рис.2) Всего! Этот удивительный ответ по меньшей мере говорит нам о том, что поиск иных цивилизаций начат своевременно.

Но можно ли по этим оценкам судить о вероятности двусторонней связи с иной цивилизацией? В оптике и акустике сплошных сред существует принцип взаимности (или обратимости) Гельмгольца—Стокса. Если не углубляться в математическое обоснование, суть этого принципа такова: луч, полученный приемником и отправленный назад, вернется к первичному источнику по той же траектории. Конечно, цивилизация, передающая, принимающая и дешифрующая информацию, гораздо сложнее, чем просто отражающий источник света. Применение принципа взаимности к вероятностям обнаружения — операция гипотетическая. Нужно доказать или, во всяком случае, оправдать наличие линейности среды, отсутствие в ней значительных магнитных полей, а главное, симметрии нашего и удаленного источника информации, о котором нам ничего не известно. Для наглядной демонстрации ситуации, при которой принцип взаимности не выполняется, вспомним знаменитую одесскую лестницу. Если смотреть на нее сверху, видишь одни площадки, а если снизу — только ступеньки. Причина одесского парадокса очевидна: позиции двух наблюдателей асимметричны. У нас тоже нет оснований полагать, что на какой-то планете в окрестности далекой звезды жизнь и техника развивалась примерно так же, как у нас, и в те же сроки.

Попробуем приравнять (по порядку) величины t и Δt в этих двух формулах. Оценка окажется поразительной. Она заставляет задуматься, что бы это могло означать? Вариантов существует довольно много. Прежде всего, не пренебрежем воз-

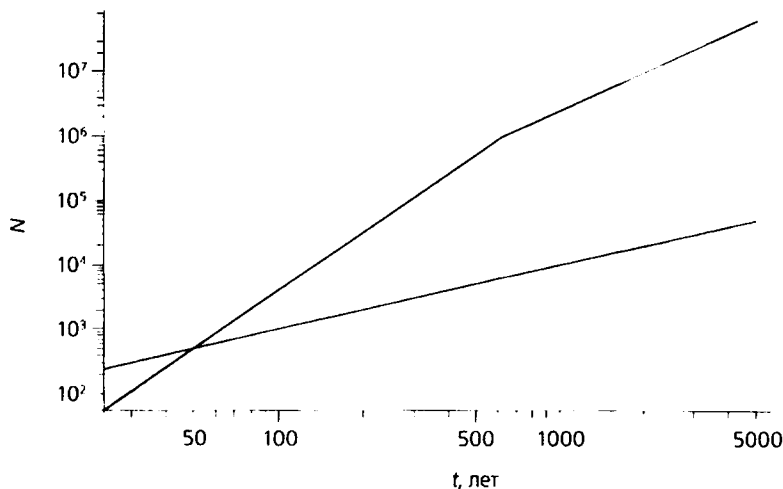


Рис.2. Возможные внеземные цивилизации в Галактике. Синяя линия с областью неопределенности — оценка Дрейка в зависимости от времен их существования. Красная линия — рост числа цивилизаций, которые смогут нас обнаружить. Ее излом связан с дисковой структурой Галактики.

можностью того, что принцип взаимности все-таки применим к вероятностям установления связи с иными цивилизациями. Но если он все же справедлив, то:

- есть серьезный шанс обнаружить внеземную цивилизацию и установить с ней связь уже в течение этого столетия;

- или в те же сроки наша цивилизация будет опознана иной, более развитой (маловероятный вариант — уже опознана, но мы этого не заметили);

- если принять, что 50 лет для срока существования относится и к нашей цивилизации, то придется серьезнее относиться к апокалиптическим выводам предыдущей статьи;

- наконец, самое простое (но думаю и самое вероятное) предположение состоит в том, что инопланетяне по каким-то причинам вообще не используют радиоизлучение, выходящее в космос. Причем это может происходить даже не из требований секретности планеты. Скажем, лет сто они излучали радиоволны во все стороны, а потом полностью перешли на оптико-волоконную или узконаправленную лазерную связь. Наша собственная эволюция, кстати, именно так и происходит.

Вероятность связи с внеземной цивилизацией в этом случае окажется близкой к нулю. ■