

**ТРУДЫ ИНСТИТУТА
ПРИКЛАДНОЙ АСТРОНОМИИ РАН
Выпуск 22**

2011





ISSN 2224-7440

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ АСТРОНОМИИ

Издается с 1997 года

ТРУДЫ
ИНСТИТУТА ПРИКЛАДНОЙ
АСТРОНОМИИ РАН

Выпуск 22



Санкт-Петербург
Издательство
«Наука»
2011

УДК 517.9+530.145; 539.121.7; 539.12; 524.1
ББК 22.30, 22.382
Т 77

Труды ИПА РАН. Вып. 22. – СПб.: Наука, 2011. – 128 с.
ISBN 978-5-02-038182-7

Специальный выпуск сборника «Труды Института прикладной астрономии РАН» содержит материалы 3-й Международной конференции «Поиск внеземных цивилизаций (SETI-2011)», проходившей с 27 по 30 июня 2011 г. в Санкт-Петербурге в Институте прикладной астрономии РАН и организованной совместно с Международной академией астронавтики (Париж, Франция). Целью конференции являлось подведение итогов и определение наиболее перспективных направлений исследований по проблеме поиска возможных проявлений и следов деятельности внеземной разумной жизни. Поиск признаков активности внеземных цивилизаций в оптическом диапазоне ведется с 90-х годов XX в. Эти попытки обнаружить внеземные сигналы называют «пассивным SETI». В последние годы активно развивается новое направление SETI, называемое «активным SETI», или «METI» (передача сообщений к внеземной цивилизации). Статьи, представленные в сборнике, охватывают следующие разделы: «Пассивный SETI»: настоящее и будущее, технологические и социальные проблемы; «Активный SETI»: новые предложения и их техническое решение; радиоастрономия и SETI; экзопланеты и обнаружение биологических признаков разумной жизни; будущие космические миссии к обитаемым экзопланетам.

Сборник рассчитан на специалистов в области астрономии и физики.

Главный редактор

д-р техн. наук проф. А. В. Ипатов

Заместитель главного редактора

д-р физ.-мат. наук И. С. Гаязов

Ответственный секретарь

канд. физ.-мат. наук Н. В. Шуйгина

Редакционная коллегия:

д-р физ.-мат. наук Ю. В. Батраков, д-р физ.-мат. наук В. С. Губанов,
д-р техн. наук М. Н. Кайдановский, д-р техн. наук Н. Е. Кольцов,
д-р физ.-мат. наук Е. В. Питьева, д-р физ.-мат. наук И. А. Рахимов,
д-р физ.-мат. наук В. А. Шор

ISBN 978-5-02-038182-7

© Институт прикладной астрономии РАН, 2011

Труды Института прикладной астрономии РАН, вып. 22, 2011

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Опасно ли посылать сигналы внеземным цивилизациям?

Л. М. Гиндилис

Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга
МГУ им. М. В. Ломоносова, Россия

В последнее время в Интернете, в научном и околонаучном сообществе развернулась дискуссия о том, не опасно ли передавать сигналы в адрес предполагаемых внеземных цивилизаций (ВЦ)? Подобные настроения, вероятно, подогреваются фантастическими боевиками, заполнившими экраны телевизоров. Однако необходимо признать, что опасения высказывают и некоторые ученые (см., например, дискуссии на конференции в Кавли, октябрь 2010). Рассматриваются этические и технические аспекты METI. Обсуждаются аргументы «за» и «против».

Введение

При возникновении и становлении SETI в середине XX в. и в научном сообществе, и в общественном мнении акцент делался на значимости самого факта обнаружения разумной жизни за пределами Земли, тем более установлении контакта, если это будет возможным. Эта проблема волновала передовые умы человечества на протяжении многих столетий. И когда появились практические возможности обнаружения, это вызвало всеобщий энтузиазм. Никаких опасений относительно передач в то время не возникало. Обсуждались опасности другого рода: философские, социальные, политические последствия обнаружения сигналов ВЦ. Дискуссии, которые велись в то время, были прекрасно резюмированы и ярко представлены в романе Карла Сагана «Контакт» [1]. Сейчас появились опасения в отношении передачи сигналов, вплоть до полного их запрета. Под влиянием общественного мнения, подогреваемого средствами массовой информации, опасения начинают высказывать и некоторые ученые (например, в дискуссиях на конференции в Кавли, октябрь 2010 г. [2]). Противники передачи сигналов обвиняют своих оппонентов в легкомыслии и идеологических мотивах. Мы полагаем, что эти упреки несомнательны. Сторонники передачи опираются на глубокие размышления и серьезный анализ, не имеющий ничего общего с политическими или идеологическими мотивами. Напомним некоторые идеи, обсуждавшиеся на протяжении десятилетий становления проблемы SETI.

© Л. М. Гиндилис, 2011

Историческая перспектива

В 1964 г. Семен Эммануилович Хайкин, выдающийся российский физик и радиоастроном, развил очень интересную и весьма содержательную концепцию установления контакта с ВЦ, основанную на *взаимном* поиске [3]. Согласно этой концепции, менее развитая цивилизация, достигнув определенного уровня, посылает *сигнал готовности*, приняв который более развитая цивилизация, создавшая систему обнаружения сигналов, определяет направление на источник сигнала, оценивает расстояние до него и немедленно начинает передачу информации на частоте сигнала готовности. Хайкин особо подчеркнул, что, отказываясь от передачи сигнала готовности, цивилизация рискует поставить себя вне системы организованной Галактической связи. Сигнал готовности является тем взносом, который цивилизация должна внести для вступления в Галактический клуб. В сообществе галактических цивилизаций, считает Хайкин, каждая цивилизация должна затрачивать определенные усилия в соответствии с уровнем своего развития. Не выполняя своей доли задач, цивилизация может оказаться вне сообщества. На необходимость передачи сигналов, наряду с их поисками, указывал и В.С. Троицкий [4].

Еще одним советским ученым, который решительно поддержал необходимость передачи сигналов, был Андрей Дмитриевич Сахаров. В 1971 г. в ответе на анкету SETI он писал: «При этом я хотел бы отметить важность проектных работ по посылке сигналов, доведенных до конкретного осуществления некоторых проектов – только так можно понять тонкие аспекты проблемы контакта. Здесь, как и в других делах, эгоисты в конце концов оказываются в проигрыше» [5].

Развивая подобные мысли, А.Л. Зайцев отметил, что если все цивилизации будут придерживаться запрета на передачу сигналов, то искать будет нечего и проблема SETI потеряет смысл. Отсюда следует, что SETI имеет смысл лишь в такой Вселенной, где есть осознание необходимости и наличие потребности в передаче межзвездных посланий [6].

В последние годы оригинальные и очень глубокие идеи в этом плане развивает А.Д. Панов [7]. Он обращает внимание на то, что наша цивилизация уже вступила или очень близка к состоянию информационного кризиса, о котором предупреждал еще С. Лем в середине XX в. Цивилизация, достигшая состояния близкого к информационному кризису, нуждается в доступе к новому источнику знания, отличающемуся от источников современного научного знания. Панов отмечает, что, если не удастся решить задачу доступа к новому источнику знания каким-то другим способом, то таким источником могла бы стать информация, полученная от других цивилизаций. Это означает, что SETI-контакт может оказаться жизненно важным делом для постсингулярных (т.е. преодолевших внутренний кризис) цивилизаций. Развивая эти идеи, Панов приходит к гипотезе о наличии *галактического культурного поля*. Он высказывает предположение, что культурное поле в Галактике возникает, когда каждая из эк-

зогуманитарных (посттехнологических) цивилизаций ведет поиск и передачу информации другим цивилизациям. При этом она ретранслирует передачи, полученные от других цивилизаций. В результате количество информации, циркулирующей в Галактике, лавинообразно нарастает и Галактика превращается в единое культурное поле. Модель галактического культурного поля приводит к понятию *экзобанка знаний*. Изучение материалов экзобанка по своему характеру напоминает процесс изучения природы (концептуальная модель – проверка – новая модель). Процесс изучения (понимания) экзобанка Панов называет *экзонаукой*. К ней, по его мнению, и должно перейти лидерство в методах познания после информационного кризиса. Итак, преодоление информационного кризиса и создание нового источника (экзобанка знаний) связаны с поисками и передачей информации другим цивилизациям. В настоящее время эта деятельность не играет существенной роли, но является тем фактором избыточного многообразия, которому, вероятно, суждено сыграть ключевую роль в преодолении информационного кризиса и формировании галактического культурного поля, т.е. в переходе на совершенно новый виток эволюции.

Близкие соображения высказывал А.Л. Зайцев в 1999 г. Он отмечает специфику передачи информации вовсе как бескорыстную и месснянскую деятельность, несущую предполагаемым братьям по разуму благую весть: «Вы не одни!». При этом Зайцев подчеркивает, что осознание необходимости радиовещания для ВЦ есть признак перехода на качественно новый, более высокий уровень интеллектуального и технологического развития. Целенаправленная передача информации ВЦ, отмечает он, «может послужить оправданием нашего существования, став одной из гарантий будущего устойчивого развития, поскольку в числе причин угасания той или иной цивилизации называется и *потеря интереса*». Немаловажно также, что разработка методологии радиовещания для ВЦ позволяет нам лучше разобраться в стратегии и тактике SETI» [8].

Российские ученые, обсуждавшие проблему SETI на конференции «Горизонты астрономии и SETI» (Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук, сентябрь 2005), пришли к выводу, что наряду с поисками необходима также передача сигналов. В меморандуме конференции содержится пункт о поддержке усилий в области МЕТП [9].

Две стороны проблемы: этическая и техническая

Опасно ли передавать сигналы? Эта проблема имеет две стороны: этическую и техническую. Рассмотрим вначале этическую сторону.

Этика высокоразвитых цивилизаций. Возвращаясь к идее Хайкина о сигнале готовности, отметим, что эта идея, возникшая в связи с разработкой стратегии радиопоиска, имеет более широкое философское звучание. Всякий контакт предполагает желание и усилия, предпринимаемые с обеих сторон. В этом смысле «сигнал готовности» можно трактовать как внутреннюю психологическую и нравственную готовность человечества к контакту. Но не опасно ли это?

Исторический опыт учит, что до сих пор на Земле (во всяком случае, в последние тысячелетия) развитие шло таким образом, что более сильные стремились подчинить себе (и подчиняли) более слабых. Система социально-культурных сдержек препятствовала полному уничтожению враждующих сторон. Но сейчас человечество впервые подошло к такому моменту, достигло такого уровня, когда дальнейшее наращивание агрессивности и средств уничтожения противника неизбежно приведет к самоуничтожению земной цивилизации, а возможно, и к гибели всей земной биосферы. Поэтому историческая коррекция должна привести к изменению сознания: человечество должно перейти от вражды к сотрудничеству. Если оно не сумеет сделать этот шаг, оно погибнет в огне самоуничтожения или в результате полного разрушения окружающей среды. Кажется, люди начинают осознавать это, и идеи сотрудничества, несмотря на яростное сопротивление противоборствующих им сил, все более укрепляются среди людей. Можно думать, что то же самое относится и к тем ВЦ, в развитии которых присутствовал элемент агрессии: или в них победит дух сотрудничества, или они закончат самоуничтожением. Поэтому прошедшие через горнило кризисов *высокоразвитые* цивилизации должны обладать высокой этикой и культурой. Эволюция цивилизаций вырабатывает закон, согласно которому высокое знание не дается в недобрые руки. Похоже, что человечество в этом отношении достигло предела. Далее или смена пути (изменение сознания, переоценка ценностей), или самоуничтожение. С этих позиций, можно согласиться с К.Э. Циолковским, когда он писал, что Вселенная заполнена высшей сознательной, совершенной жизнью, в ней господствуют Высший разум и совершенные общественные отношения.

Несмотря на убедительность подобной аргументации, в ней есть одно слабое звено. Мы еще слишком мало знаем относительно закономерностей развития космических цивилизаций, и поэтому можем ошибаться в своих выводах. А риск слишком велик, чтобы пренебречь им даже при малой вероятности. Обратимся к технической стороне проблемы.

Технические возможности обнаружения. С технической точки зрения совершенно ясно, что высокоразвитые ВЦ могут нас обнаружить (и, по всей вероятности, давно обнаружили) по радиоизлучению планетных локаторов и телевизионных передатчиков. Телевизионный сигнал слабее направленного МЕТИ-сигнала, но современная техника может его зафиксировать на расстояниях десятков световых лет. К тому же, поскольку телевизионный сигнал направлен во все стороны, его легче обнаружить.

Планетные локаторы, которые используются для обнаружения малых тел в окрестности Земли и предотвращения кометно-астероидной опасности, имеют большую длительность сигнала по сравнению с МЕТИ-сигналом и засвечивают гораздо большую область неба. Вероятность обнаружения таких сигналов в миллион раз выше, чем обнаружения МЕТИ-сигнала. Следовательно, опасность обнаружения не зависит от нашей SETI/METI активности.

Высокоразвитая цивилизация может обнаружить признаки жизни на Земле и по наблюдению линий кислорода в земной атмосфере. Ведь именно таким образом мы собираемся искать обитаемые планеты у других звезд.

Несомненно, что ВЦ, достигшая такого уровня, что для нее становится возможной агрессия в межзвездных масштабах, располагает средствами обнаружения интересующих ее менее развитых цивилизаций. Попытка спрятаться от таких цивилизаций, отказавшись от передачи сигналов, подобна позиции страуса, прячущего голову в песок. Позиция ученых, поддерживающих работы в области МЕТИ, – это не легкомыслие, она основана на реальной оценке ситуации.

На наш взгляд, люди, нагнетающие страх по поводу возможной агрессии ВЦ, осознанно или неосознанно, выполняют «социальный заказ» на обособление нашей цивилизации от всего остального космоса. Эта тенденция имеет глубокие исторические корни, и она весьма порочна.

Оценка аргументов

Рассмотрим аргументы противников передачи сигналов.

1. Поскольку проблема касается всего человеческого рода, необходимо вовлечь в обсуждение как можно более широкие слои человечества. Нельзя решать научные проблемы на митингах типа новгородского вече или афинских народных собраний. Нельзя решать их и с помощью средств массовой информации, особенно учитывая современные технологии по манипулированию сознанием.

История дает нам яркие примеры. Во время расцвета афинской демократии народное собрание изгнало Анаксагора; отстранило Перикла, Фидия, приговорило Сократа испить чашу яда. Добавим преследование Пифагора Платона.

В наше время в средствах массовой информации развернулась беспрецедентная кампания запугивания в связи с вводом в действие Большого адронного коллайдера в Швейцарии. Выдвигались самые невероятные версии. И все это подавалось якобы с научных позиций.

Мы полагаем, что подобные вопросы, затрагивающие судьбу человечества, должны решаться компетентными и ответственными людьми на основе серьезного анализа, а не эмоций.

2. Противники МЕТИ указывают на опасность прилета инопланетян, но при этом совершенно не анализируются возможности таких прямых контактов. Принимается, что они легко осуществимы, как в голливудских фильмах. Можно, конечно, послать беспилотные зонды, которые через сотни тысяч лет достигнут каких-то звездных систем. Наши «Пионеры» и «Вояджеры» являются примерами таких зондов. Но какую опасность и для кого они представляют?

3. Опасения и выводы относительно поведения «пришельцев» рассматриваются с позиций истории нашей цивилизации. Насколько это правомерно? Цивилизации, близкие к нам по развитию, во-первых, очень редки; во-вторых, не представляют никакой опасности. Цивилизации, обогнавшие нас

в развитии на миллионы и миллиарды лет, для нас подобны богам. Оценивать их поведение с позиций одного мига человеческой истории – нелепо. Можно не принимать аргументы о высокой этике таких цивилизаций, но прятаться от них – глупо.

4. Полностью игнорируются возможности обнаружения нашей цивилизации с помощью тех средств, которыми даже мы сегодня располагаем, не говоря уже о средствах обнаружения более развитых цивилизаций. Люди просто не понимают проблему.

5. При возникновении SETI, когда этим занимались небольшие сообщества ученых, никаких опасений относительно опасности передач не возникало. Обсуждались другие проблемы: философские, социальные и политические последствия самого факта обнаружения сигнала.

Заключение

Нет никаких оснований считать, что высокоразвитые ВЦ являются агрессивными и стремятся к завоеванию других планет. Нет оснований считать, что условия Земли могут представлять для них интерес, ибо природа их жизни может быть иная. Наши представления о высокой этике развитых ВЦ, несмотря на убедительность аргументов, также не являются доказательными. Но анализ технических возможностей показывает, что такие цивилизации могут нас обнаружить различными методами независимо от нашей SETI/METI-активности.

Сейчас с помощью массмедиа и при активном участии интеллектуалов, таких как Мишель Мишо и др., нагнетается истерия против METI, готовая в любой момент перекинуться и на SETI. Создается впечатление, что выполняется какой-то «социальный заказ», возможно непонятный самим исполнителям. История человечества есть история борьбы добра и зла. Также можно отметить две мировоззренческие тенденции, проходящие через историю человеческой мысли: космизм и изоляционизм. Истерия против METI – это выражение позиции изоляционизма. Вместе с тем необходимо еще раз подчеркнуть, что позиция сторонников METI основана не на идеологических аргументах (они играют вспомогательную роль), а на серьезном анализе технических возможностей обнаружения.

Литература

1. *Sagan C.* Contact. Simon and Schuster. – 1985.
2. <http://royalsociety.org/extra-terrestrial-life/> and http://royalsociety.org/General_WF.aspx?pageid=4294977022.
3. *Хайкин С.Э.* О проблеме связи с внеземными цивилизациями // Внеземные цивилизации. Труды совещания. Бюракан, 20–23 мая 1964 г. – Ереван, 1965. – С. 83–94.

4. *Троицкий В.С.* Некоторые соображения о поисках разумных сигналов из Вселенной // Внеземные цивилизации. Труды совещания. Бюракан, 20–23 мая 1964 г. – Ереван, 1965. – С. 97–112.

5. *Gindilis L.M.* Andrei Dmitrievich Sakharov and the Search for Extraterrestrial Intelligence // Third Decennial US-USSR Conference on SETI. Santa Cruz, California, August 5–9, 1991 /ed. G. Seth Shostak. Astronomical Society of the Pacific. – San Francisco, 1993. – P. 27–33.

6. *Zaitsev A.L.* The SETI Paradox. – URL: <http://arxiv.org/abs/physics/0611283>

7. *Panov A.D.* Эволюция и проблема SETI. – URL: <http://Infml.sai.msu.ru/SETI/koi/articles/EvolAndSETI.pdf>.

8. Радиовещание для внеземных цивилизаций // Информационный бюллетень SETI. – 1999. – № 15. – С. 31–47. – URL: <http://Infml.sasi.msu.ru/SETI/roi/articles/beti-2.html>.

9. URL: <http://arxiv.org/abs/1105.0910>.

10. Итоговый меморандум // Бюлл. Спец. астрофиз. обсерв. – СПб., 2007. – 60–61. – С. 5.

Is It Dangerous or Not to Transmit Signals?

L. M. Gindilis

In recent years discussions on whether it is dangerous or not to send signals to extraterrestrial civilizations have been spreading in the Internet, in the scientific and quasi-scientific community. Such mentalities are probably provoked by fantastic movies that fill television screens. However, we must recognize that some scientists also express concern. See, for instance, discussions at the conference in Kavli, October 2010. Ethical and technical aspects of METI are examined. Pro and contra arguments are discussed.

АСТРОНОМИЯ и SETI

Звезда радиосигнала «Wow!» и другие объекты в этой области неба

Г. А. Гончаров

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Россия

С целью поиска естественного источника радиосигнала «Wow!», полученного 15 августа 1977 г. на частоте около 1420 МГц, проанализированы объекты до 18^m в области неба, откуда был получен сигнал. Найдено шесть кандидатов разной природы, которые могут давать редкие мощные радиопульсы в узкой полосе частот: 1) предполагаемая радиозвезда HIP 95865 $V = 5.6$ при некоторых условиях; 2) слабый радионисточник NVSS B192505-265140, усиленный при орбитальном движении вокруг невидимого массивного тела; 3) звезды на кратком бурном этапе эволюции – V905 Sgr или HD 182460; 4) мазер около формирующейся звезды TYC 6884-2359; 5) старый остаток сверхновой, т.е. вращающийся кратковременный радионисточник IRAS 19224-2707. Многолетний постоянный мониторинг может подтвердить или опровергнуть связь этих объектов с сигналом «Wow!».

Введение

15 августа 1977 г. в 23.16 по летнему времени Восточного побережья США радиотелескоп университета штата Огайо (США), известный как Большое ухо (<http://www.bigear.org/>), принял необычный радиосигнал на длине волны около 21 см. Астроном Джери Эман (Jerry R. Ehman), обнаруживший сигнал на распечатке компьютера через несколько дней после его получения, сразу же оценил необычные характеристики сигнала и выразил свое удивление надписью «Wow!» на распечатке (рис. 1). С тех пор этот сигнал известен как сигнал «Wow!» (Ehman, 1998; <http://www.bigear.org/wow20th.htm>).

В то время телескоп «Большое ухо» проводил обзор неба с целью поиска довольно мощных (более нескольких янских) узкополосных (разрешение по частоте 10 кГц) радиосигналов. Наблюдения велись в сканирующем режиме: приёмник установлен в меридиане, вращение неба обеспечивает прохождение перед ним разных объектов. При таком режиме время наблюдения однозначно соответствует прямому восхождению (эта величина далее обозначена как время/RA). Наблюдения и их первичная обработка были в значительной степени автоматизированы. Основным результатом наблюдений, интенсивность радионизлу-

© Г. А. Гончаров, 2011

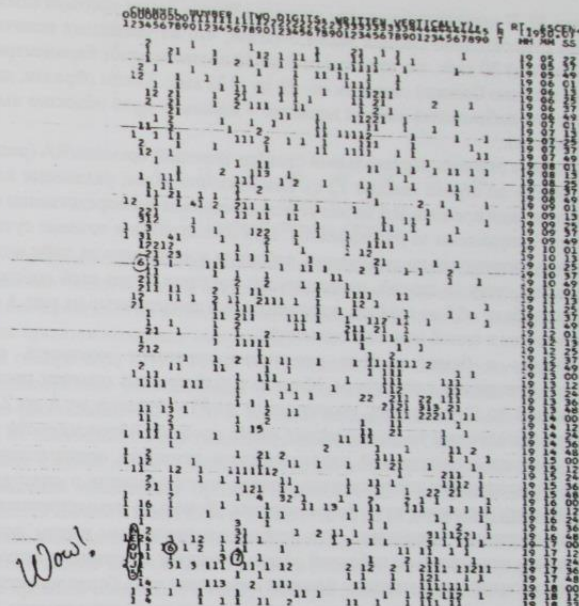


Рис. 1. Исходная распечатка сигнала «Wow!»

чения в зависимости от частотного канала и времени/RA выводился на распечатку компьютера и просматривался наблюдателем раз в несколько дней. Обзор неба, выполненный «Большим ухом», является одним из крупнейших: зарегистрировано около 20 000 объектов. За всё время наблюдений сигнал «Wow!» – наиболее мощный и длительный узкополосный сигнал, источник которого не отождествлён до сих пор, хотя и единственный сигнал такого рода.

Особенности сигнала

На компьютерной распечатке с сигналом «Wow!», показанной на рис. 1, вверху двумя вертикально расположенными цифрами отмечены номера частотных каналов, фактически формирующие ось абсцисс. Каналы имеют ширину 10 кГц. К сожалению, не смещённая эффектом Доплера частота линии водорода 1420.4056 МГц не попала в диапазон наблюдаемых частот. Каналу 1 соответствует частота 1420.4456 МГц, каналу 50 – 1420.9356 МГц. Соответствующие смещённые из-за эффекта Доплера лучевые скорости источников относительно наблюдателя составляют от –8 км/с для канала 1 до –112 км/с для

канала 50. В момент наблюдения сигнала «Wow!» Земля располагалась и двигалась относительно Солнца таким образом, что из указанных величин надо вычесть ещё 20 км/с, т.е. каналам от 1 до 50 соответствуют барицентрические скорости от -28 до -132 км/с. Таким образом, диапазон (относительно Солнца) скорости от -28 до -132 км/с. Таким образом, диапазон частот для наблюдений выбран неудачно – довольно мало объектов имеют такие скорости.

Справа отложен вертикальный столбец значений времени/RA (распечатка выводилась по строке каждые 12 с). Как показано далее, указанные на распечатке значения времени/RA не могут использоваться непосредственно и должны быть исправлены за ряд эффектов. При наблюдении в течение суток телены были исправлены за ряд эффектов. При наблюдении в течение суток телены был фиксирован по склонению, наблюдая в итоге день за днём полосы по склонению, одну за другой, периодически повторяя обзор всей наблюдаемой области неба от -35 до +64° по склонению. Все приведённые на рис. 1 величины относятся к одной полосе склонений.

Цифры и буквы в поле распечатки отражают мощность сигнала, точнее – отношение сигнал/шум. Минимальный уровень отмечен пробелами, уровни от 1 до 9 – цифрами, уровни от 10 до 35 – буквами от A до Z. Таким образом, обведённый на рис. 1 сигнал имеет профиль интенсивности (комбинация сигнала с диаграммой направленности антенны), представленный на рис. 2. Продолжительность сигнала, точнее его проявление в диаграмме направленности антенны, чуть более минуты. Довольно симметричная форма сигнала позволяет утверждать, что наиболее вероятно мы имеем дело с неподвижным относительно небесной сферы точечным источником постоянного сигнала, который при движении поперёк меридиана чуть более минуты накладывался на основной лепесток диаграммы направленности антенны. Максимальное отношение сигнал/шум, соответствующее букве «U» на распечатке, составило 30.5. Это соответствует мощности сигнала от 54 до 212 Ян по разным оценкам. Хотя причина различия оценок неясна, очевидно, что это очень мощный сигнал. Важно также, что сигнал не проявился или проявился очень слабо в соседних диапазонах частот. Для естественного радиоисточника частотный диапазон 10 кГц очень узок и заставляет рассмотреть прежде всего мазерный механизм возникновения излучения.

Конструкция телескопа «Большое ухо» включает два металлических рупора на некотором расстоянии друг от друга. Поэтому каждый сигнал постоянного далёкого источника регистрируется дважды. Сигнал «Wow!» зарегистрирован лишь одним рупором, причём из-за особенностей предварительной обработки неясно каким. Следовательно, источник сигнала может находиться в одной из двух областей неба. Его появление лишь на одном рупоре означает смену им за несколько минут наблюдений либо положения на небесной сфере, либо частоты излучения, либо интенсивности (возникновение или исчезновение на глазах наблюдателя). Почти идеальная форма профиля сигнала и исключает существенное плавное смещение источника по небесной сфере и плавное изменение мощности за минуты наблюдений. Отсутствие сигнала или

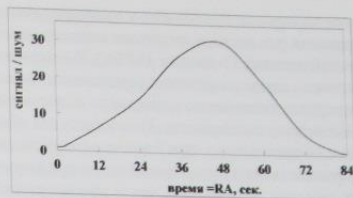


Рис. 2. Профиль сигнала «Wow!»

каких-то его проявлений в соседних частотах исключает и существенное плавное изменение частоты. Таким образом, надо признать скачкообразное изменение хотя бы одной из этих величин. Фактически сигнал «Wow!» является более или менее продолжительным импульсом.

При обзоре неба в 1977–1983 гг. «Большое ухо» более тысячи раз принимало однократные узкополосные (в полосе шириной не более 10 кГц) импульсные (длительностью 10–30 с) сигналы небольшой мощности (несколько янских), не связанные с известными радиоисточниками (<http://www.bigear.org/oldseti.htm>). Сигнал «Wow!» выделяется среди них лишь большой длительностью и высокой мощностью. Примером неожиданного для наблюдателей сигнала является сигнал 9 июня 1994 г. на частоте 1612.54 МГц и оказавшийся ОН (гидроксилильным) мазером (<http://www.bigear.org/lobes.htm>). Такой мазер обычно является частью протяжённого объекта (облака), в разных частях которого время от времени возникают и гаснут мазеры разной мощности и длительности. Наблюдателем это воспринимается как один источник, меняющий частоту, мощность и положение на небесной сфере в небольшом диапазоне как плавно, так и скачками. Сигнал «Wow!» также можно отнести к классу весьма распространённых, но интересных и малоизученных импульсных радиоисточников.

Необходимо отметить, что область неба с сигналом «Wow!» многократно сканировалась как «Большим ухом» (в том числе и ровно через сутки после сигнала), так и другими радиотелескопами, в том числе и в попытках найти именно повторение сигнала «Wow!»: 1) системой META в 1986–1991 гг.; 2) VLA в 1995–1996 гг.; 3) 43-метровым радиотелескопом Green bank и 30-метровым Woodbury в проекте Phoenix в 1997–1998 гг.; 4) 26-метровым радиотелескопом Hobart университета Тасмании в 1998–1999 гг. При этих наблюдениях в области сигнала «Wow!» обнаружено множество радиоисточников на частоте около 1420 МГц, но ни один из них не превосходит по мощности 0.1 Ян.

Время/RA, отмеченное на распечатке сигнала «Wow!», меньше истинного на 5 мин 10 с из-за неправильно введённой наблюдателем поправки за смещение рупоров относительно меридиана (Ehman, 1998, <http://www.bigear.org/wow20th.htm>). Кроме того, при рассмотрении соответствующей сигналу области неба нужно учесть, что координаты на распечатке приведены к равноденствию В1950 (средние координаты, т.е. система координат относительно ква-

тора и эклиптики на момент В1950) или к равноденствию даты наблюдений (видимые координаты, т.е. система координат относительно экватора и эклиптики на момент наблюдений 15 августа 1977 г.). К сожалению, сейчас уже невозможно установить, какие координаты (средние или видимые) даны на распечатке (и фигурируют далее везде, в том числе и при перенаблюдениях этой области неба). Возможны два варианта: 1) телескоп, как обычно, наводился на небо по видимым координатам, а при выводе распечатки они автоматически пересчитаны в средние (хотя в этом пересчёте при предварительной обработке наблюдений нет смысла); 2) возможно, что и при наведении, и на распечатке даны видимые координаты, тогда надпись на распечатке «RI. ASCEN. (1950.0)» неверна, и, более того, до сих пор при перенаблюдениях и в литературе рассматривалась не та область неба. Оба варианта рассмотрены далее.

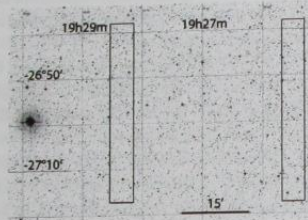


Рис. 3. Область неба сигнала «Wow!»

В первом случае (координаты видимые + средние) после пересчёта в систему J2000 имеем две полосы на небе с координатами $RA = 19^h 28^m 22^s \pm 10''$ или $RA = 9^h 5^m 31^s \pm 10''$, склонение $DEC = -26^\circ 57' \pm 20''$ – эти полосы в виде чёрных прямоугольников показаны на рис. 3 вместе со всеми объектами до $V = 18^m$. Во втором случае (координаты видимые + видимые) полосы несколько смещены по RA, так что яркая звезда в левой части рис. 3 попадает как раз в одну из полос. Второй вариант гораздо менее вероятен, но интересен наличием яркой звезды, которая может быть источником сигнала «Wow!».

На рис. 3 видно, что рассматриваемая область неба не содержит каких-либо протяжённых, доминирующих или экзотических объектов (крупных галактик, больших облаков и т.п.). Источник сигнала «Wow!» находится в созвездии Стрелец в 21° от центра Галактики, с которым, следовательно, никак не связан. Солнце также не может иметь отношения к сигналу, поскольку находилось в момент наблюдения под горизонтом вдали от меридиана.

Любой источник сигнала ближе Луны имел бы заметную скорость либо относительно небесной сферы, либо относительно приёмника. В обоих случаях наблюдаемая форма сигнала не была бы столь симметричной и согласующейся с главным лепестком диаграммы направленности антенны. Конечно, возможно создание искусственного источника сигнала на Земле или около нее, меняющего характеристики таким образом, чтобы маскироваться под далёкий

точный источник. Важно, что исключено непреднамеренное создание такого сигнала при функционировании земной техники, потому что частота 1420 МГц запрещена для использования и сигнал «Wow!» имеет высокую мощность.

Итак, главные особенности сигнала «Wow!», нуждающиеся в объяснении независимо от того, имеет ли сигнал искусственное или естественное происхождение: его высокая мощность; узкая полоса частот; отсутствие связи с Землёй (точный источник в далёком космосе); появление только на одном рупоре радиотелескопа. Попробуем найти соответствующие естественные источники в рассматриваемой области неба.

Звезда HIP 95865

Яркая звезда на рис. 3 – двойная звезда HIP 95865 = HR 7398 = HD 183275 = PPM 269861 = SAO 188192 = ADS 12506 = CCDM 19299-2659 = TYC 6884-2463 и 6884-2465 = CoD-27 14004 = CPD-27 6772 = TDSC 51183 = WDS 19299-2659. Величины компонентов $V = 5.6^m + 9.0^m$. Спектры K1-2III + GV? Согласно Hipparcos (1997) в момент 1991.25 угловое расстояние между компонентами $r = 7.6''$, позиционный угол $PA = 143.1^\circ$, обе величины слабо изменились за несколько десятилетий, согласно каталогам CCDM (Dommanget & Nys, 2000) и TDSC (Fabricius et al., 2002), т.е. наблюдается орбитальное движение: в момент 2011.36 $r = 6.6''$, $PA = 148^\circ$. Показатели цвета яркого компонента, красного гиганта: $B_T - V_T = 1.34^m$, $B - V = 1.12^m$, слабого компонента, жёлтого карлика или субгиганта: $B_T - V_T = 0.78^m$. Согласно Hipparcos (van Leeuwen, 2007), параллакс звезды составляет $0.014'' \pm 0.001''$, т.е. расстояние 71 пк. Тогда абсолютные величины компонентов составляют $M_{IT} = 1.4^m + 4.6^m$, что вполне согласуется со спектрами K1III и G5IV-V. При массах компонентов 1.5 и 1 масс Солнца и круговой орбите большая полуось составляет около 600 а.е. (орбитальный период около 9000 лет), орбитальное движение действительно может обнаруживаться за несколько десятилетий.

Барицентрическая лучевая скорость этой звезды, согласно каталогу Vabrier-Brossat & Figon (2000), составляет (-32 ± 2) км/с, согласно Пулковскому сводному каталогу лучевых скоростей (PCRV, Гончаров, 2006), (-31.6 ± 0.3) км/с. Это полностью совпадает с указанной ранее скоростью движения источника сигнала «Wow!» относительно Солнца. С учётом малочисленности объектов с такой скоростью в этой области неба (21° от направления к центру Галактики) данное совпадение является сильным аргументом в пользу звезды HIP 95865 как источника сигнала «Wow!». Радионаблюдения этой звезды на частоте 8.4 ГГц в 1987–1988 гг. (Wendker, 1995) показали поток менее 5.7 мЯн. Систематические радионаблюдения на частотах около 1420 МГц не проводились. Для объяснения узкой полосы частот излучения можно предположить, что яркий компонент пары, красный гигант, имеет оболочку, в которой работает водородный мазер.

Радиосточник NVSS B192505-265140

Слабый радиосточник может усиливаться при орбитальном движении вокруг массивного невидимого тела. В рассматриваемой области неба примером служит радиосточник NVSS B192505-265140 с мощностью 20 МЯн на частоте около 1420 МГц (Gray & Marvel, 2001) и величиной $B = 19^m$, $R = 18.6^m$. Имеющиеся астрометрические наблюдения позволяют предположить нелинейное движение этого источника по небесной сфере.

Звезды V905 Sgr и HD 182460

Звезда на бурном этапе эволюции также может служить источником кратковременных всплесков радиоизлучения. Не все соответствующие этапы эволюции звёзд изучены, поэтому в рассматриваемой области неба даже среди сравнительно ярких звёзд могут быть источники радиоимпульсов, неизвестные до сих пор и не упомянутые в настоящей работе.

Заслуживает внимания переменная звезда типа RR Lyr V905 Sgr = 2MASS J19282166-2644467 величиной $V = 14.9^m$ – 15.4^m , периодом 0.654762 дня, находящаяся на расстоянии порядка 1 кпк от Солнца и показывающая нелинейное движение по небесной сфере по данным каталогов 2MASS (Skrutskie et al., 2006), UCAC3 (Zacharias et al., 2010), PPMXL (Roesser et al., 2010), XPM (Fedorov et al., 2010) и др.

Другой пример – звезда HD 182460 = CD-27 13937 = CPD-27 6759 = GSC 06884-01944 = 2MASS J19254475-2712085 = PPM 735190 = TYC 6884-1944. $V = 10^m$. Спектральный класс B9III-A0III из каталога Tycho Spectral Types (TST, Whight, 2003) не согласуется с показателями цвета $B - V = 1.1^m$ и $J - K_s = 0.6^m$, которые соответствуют красному гиганту. По данным Г.А. Гончарова (2008), эта звезда является красным гигантом сгущения, т.е. звездой с горением гелия в ядре, находящейся на фотометрическом расстоянии около 700 пк от Солнца. Разногласие между спектральной классификацией и другими характеристиками можно объяснить, если звезда пекулярная, существенно меняющая спектр за несколько десятилетий, или звезда двойная, включающая горячий субкарлик класса sdB и красный гигант сгущения класса K; при этом обе звезды могут быть на стадии горения гелия и иметь близкий возраст. В обоих случаях в звезде или паре звезд могут возникать условия для мощных радиоимпульсов.

Звезда TYC 6884-2359

Звезда TYC 6884-2359 = CD-27 13981 = 2MASS J19281971-2712118 = PPM 735243, $V = 9.8^m$. Судя по очень красным показателям цвета $B - V = 2^m$, $BT - VT = 2.4^m$, $J - K_s = 1.0^m$, расстоянию 115 пк (Ammons et al., 2006) и соответствующей абсолютной величине $M = 5^m$, эта звезда пребывает на стадии формирования. В таком случае источником радиоимпульсов может быть мазер, возникающий в газопылевой оболочке формирующейся звезды.

Радиосточник IRAS 19224-2707

Ещё один класс объектов, которые могут быть источниками редких радиоимпульсов, – старые остатки сверхновых, проявляющиеся как вращающиеся кратковременные радиосточники (rotating radio transient) с синхротронным излучением. В рассматриваемой области неба есть по крайней мере один кандидат в объекты этого класса – инфракрасный (ИК) источник IRAS 19224-2707 = USNO B1 0629-1065389 = NOMAD 0629-1139789. Он очень слаб в видимом диапазоне ($B = 21^m$, $R = 18^m$) и обладает исключительно большим (для объекта на расстоянии как минимум сотни парсек) собственным движением $\mu = 0.2''/\text{год}$, которое, видимо, является следствием взрыва на стадии сверхновой.

Согласно теории звёздной эволюции, будучи неизбежной стадией в развитии старого остатка сверхновой, подобные объекты должны быть достаточно распространены. Действительно, рядом с рассматриваемой областью неба есть ещё один объект этого класса – ИК источник IRAS 19219-2702 ($B = 21.6^m$, $R = 17.9^m$, $\mu = 0.7''/\text{год}$). Схожими характеристиками со временем, видимо, будет обладать и известный остаток сверхновой Крабовидной туманности (M1), включающий пульсар и расширяющуюся оболочку: для пульсара Краба $\mu = 0.2''/\text{год}$.

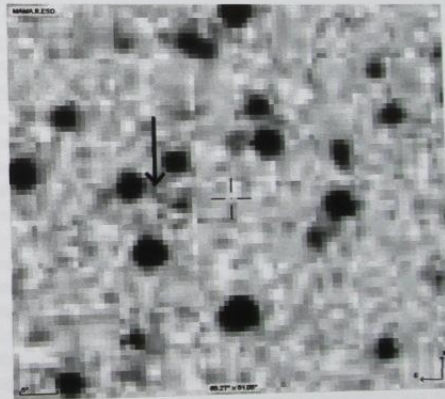


Рис. 4. Область неба вокруг источника IRAS 19224-2707

Согласно современным представлениям, радиосточник в остатке сверхновой со временем приобретает более длинный период радиоимпульсов, они становятся неперiodическими и очень редкими. Кроме того, туманность вокруг такого объекта расширяется, становится менее яркой и рассеивается. Здесь не исключено и возникновение мазеров, мощность которых может возрасти, в то время как импульсы становятся всё более редкими.

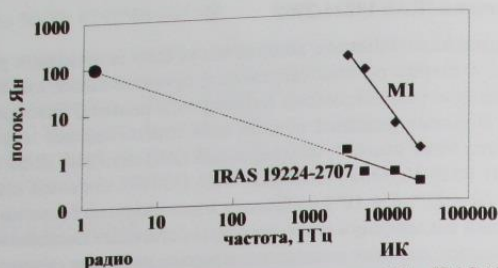


Рис. 5. Распределение энергии в ИК диапазоне для источника M1 и IRAS 19224-2707, а также экстраполяция для частоты 1.4 ГГц

Вокруг объекта IRAS 19224-2707 действительно имеется туманность размером около $10''$, отмеченная на рис. 4 стрелкой: рисунок представляет изображение области из одного из цифровых обзоров неба.

На частоте 1420 МГц синхротронное излучение остатка сверхновой обычно довольно интенсивно. Например, пульсар Крабовидной туманности (M1) на 1420 ГГц излучает сильнее, чем в инфракрасном (ИК) диапазоне. Для источника IRAS 19224-2707 нет радионаблюдений, но сравнение его ИК излучения с ИК излучением Краба косвенно подтверждает синхротронную природу излучения в обоих случаях (степенной рост интенсивности с уменьшением частоты). Распределение энергии в ИК части спектра Краба показано на рис. 5 ромбами, а для спектра IRAS 19224-2707 — квадратами. При синхротронном характере излучения обоснована экстраполяция данных ИК диапазона в область низких частот, которая для объекта IRAS 19224-2707 показана пунктиром. Оценённая таким образом мощность радиоизлучения IRAS 19224-2707 на частоте 1420 МГц порядка 100 Ян отмечена на рис. 5 кружком и согласуется с мощностью сигнала «Wow!».

Здесь главной проблемой остаётся узкая полоса частот сигнала, единственным объяснением которой в настоящее время представляется мазер в оболочке остатка сверхновой, хотя в будущем могут быть выявлены новые механизмы возникновения таких импульсов.

Если старые остатки сверхновых действительно способны на столь мощные, хотя и очень редкие, импульсы, они должны привлечь внимание исследователей и как источник сведений о труднонаблюдаемых последних этапах жизни звёзд, и как возможные стандартные свечи, видимые на большом расстоянии, и как источник концентрированной энергии, возможно, воспроизводимый и полезный на Земле.

Заключение

Подробный разбор обстоятельств сигнала «Wow!» практически не оставляет сомнений в том, что это мощный радиоимпульс из далёкого космоса. Поэтому научное сообщество не должно игнорировать его: возможно, за этим сигналом скрывается малоизученный класс объектов.

Проведённый анализ области неба, из которой получен радиосигнал «Wow!», позволил обнаружить несколько кандидатов разной природы. Таким образом, кроме неисключённой гипотезы сигнала инопланетной цивилизации, возможно его естественное объяснение. В то же время список возможных кандидатов мал, так как требуется объяснить высокую мощность сигнала, узкую полосу частот, импульсную природу сигнала и отсутствие повторений. Классы возможных кандидатов: радиозвезда; радиоисточник, усиленный близким массивным объектом; звезда на бурном этапе эволюции; мазер около формирующейся звезды и старый остаток сверхновой с эпизодическими импульсами. Во всех случаях наиболее трудно объяснима узкая полоса частот не более 10 кГц, которая сегодня, видимо, может быть объяснена только мазерным механизмом.

Узкополосные радиоимпульсы оказываются распространённым, но мало изученным явлением. Наиболее эффективным подходом здесь является постоянный многолетний мониторинг немногочисленных надёжно обнаруженных объектов этого класса. Настоящая работа позволяет существенно сократить число кандидатов для такого мониторинга в одной из интересных областей неба до нескольких заранее выбранных объектов.

Литература

1. Гончаров Г.А. // Письма в Астрон. журн. — 2006. — Т. 32, № 11. С. 844. — URL: <http://cdsweb.u-strasbg.fr/viz-bin/Cat?III/252>.
2. Гончаров Г.А. // Письма в Астрон. журн. — 2008. — 34, № 12, 868. — URL: <http://cdsweb.u-strasbg.fr/viz-bin/Cat?J/PAZh/34/868>.
3. Ammons S.M. et al. // *Astrophys. J.* — 2006. — 638, 1004.
4. Barbier-Brossat M., Figon P. // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* — 2000. — 142, 217. — URL: <http://cdsweb.u-strasbg.fr/viz-bin/Cat?III/213>.
5. Dommangeat J., Nys O. *CCDM, Obs. Royal Belg.* — 2000. — URL: <http://cdsweb.u-strasbg.fr/viz-bin/Cat?I/274>.
6. URL: <http://www.bigear.org/wow20th.htm>.
7. Fabricius C. et al. // *Astron. Astrophys.* — 2002. — 384, 180. — URL: <http://cdsweb.u-strasbg.fr/viz-bin/Cat?I/276>.
8. Fedorov P.N. et al. *MNRAS.* — 2010. — 393, 133.
9. Gray R.H., Marvel K.B. // *Astrophys. J.* — 2001. — 546, 1171.
10. Hipparcos and Tycho catalogues. European Space Agency. — 1997.
11. Roeser S., Demleitner M., Schilbach E. // *Astron. J.* — 2010. — 139, 2440.
12. Skrutskie M.F. et al. // *Astron. J.* — 2006. — 131, 1163. — URL: <http://www.ipac.caltech.edu/2mass/releases/allsky/index.html>.

13. *Van Leeuwen F.* // Astron. Astrophys. – 2007. – 474, 653. – URL: <http://cdsweb.u-strasbg.fr/viz-bin/Cat?I/311>.

14. *Wendker H.J.* // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. – 1995. – 109, 177.

15. *Wright C.O.* et al. // Astron. J. – 2003. – 125, 359. – URL: <http://cdsweb.u-strasbg.fr/viz-bin/Cat?III/231>.

16. *Zacharias N.* et al. // Astron. J. – 2010. – 139, 2184. – URL: <http://cdsweb.u-strasbg.fr/viz-bin/Cat?I/315>.

The WOW Signal Star

G. Gontcharov

The famous WOW signal was received on August 15, 1977 from the sky area near $19^{\text{h}} 29^{\text{m}} 52^{\text{s}}$, $-26^{\circ} 59' 8''$. There is the only nearby star in this area: HIP 95865 = HD 183275 = ADS 12506, double star of KIII+G5V, $V = 5.6+9.0^{\text{m}}$, component distance $7''$, parallax $0.013''$.

This star has not been investigated in detail and never tested for repeating radio signals because the WOW signal telescope had a circle shift giving an error in recognition of the WOW signal sky area. Now we have received all existing data on the star. The yellow dwarf component of the star should be tested for radio signals at 1420 MHz.

ПОСЛАНИЕ ВНЕЗЕМНЫМ ЦИВИЛИЗАЦИЯМ

Пишем послания внеземным цивилизациям

С. Дюма

Лига SETI, Канада

SETI занимаются поиском сообщений из космоса. Структура и форма этих сообщений неизвестна, но ожидается, что их можно будет легко выделить на фоне шума. Технология дает нам средство для распространения наших собственных сообщений в направлении других населенных миров. Содержание этих сообщений должно быть очень важным. Передачи не могут длиться очень долго, и существует слишком много потенциальных объектов, поэтому сообщение должно быть кратким, но более содержательным, чем простое приветствие, и в то же время менее сложным, чем энциклопедия «Британика». Сообщение должно быть достаточно информативным, чтобы заинтересовать и послужить начальной точкой для установления разговора. В данной статье представлены рекомендации по составлению сообщений, основанные на математике. Кроме того, изучение того, как писать практические сообщения может помочь нам в расшифровке потенциальных сообщений от внеземных цивилизаций.

Введение

Посылка сообщений в другие миры может быть другим способом установления контакта с инопланетной цивилизацией. Содержимое послания очень важно. Передачи не могут длиться очень долго, и существует слишком много целей, поэтому сообщение должно быть коротким, чтобы можно послать его несколько раз. Оно должно быть более содержательным, чем простое «Привет всем», и менее сложным, чем энциклопедия «Британика». Сообщение должно содержать достаточно информации, чтобы заинтересовать и послужить началом для следующей передачи.

Сообщение не должно быть связано с культурой. Однако оно должно отражать планету как целое, а не только отдельную культуру. Человечество должно рассматриваться как единая группа без политики, религии и других нравственных различий. Эти понятия слишком сложно объяснить в первом сообщении.

Сообщение не должно быть связано со временем. Было бы бессмысленно посылать сообщение, отражающее XIX в. Принятое через сотни лет, оно более не будет отражать состояние человеческой цивилизации и описывать нас. Однако первая часть сообщения может содержать информацию, относящуюся

к текущему времени, а другая часть, возможно, уже устаревает. Эта часть посланья служит вводной и должна содержать основные понятия.

Определенная часть информации может быть связана с технологиями инопланетной цивилизации, так как они уже могут располагать этими знаниями, но информация в сообщении может быть воспринята с нескольких точек зрения. Например, говоря внеземной цивилизации (ВЦ) о нашем знании протона и даже кварков, мы подразумеваем, что достигли такого уровня технологии, что знаем о структуре Вселенной. Они уже могли бы быть более развиты в этой области, и информация вряд ли будет им полезна. Однако они определенно поймут, где мы находимся по сравнению с ними. Знание о протонах подразумевает знание физики частиц и хорошего объема математики. Это – как археолог, нашедший кусочек фарфора или бронзы рядом с лагерем. Объем контекстной информации, который они производят, может быть более важен, чем кусочек сам по себе, даже если они никогда не встретят лично тех, кто использовал эти артефакты. Однако в случае археолога-человека у них есть культура человека как основа.

Отправка величины точки кипения воды или возраста Вселенной ВЦ преследует цель только установить точку отсчета. Точность деталей нашего знания также несет информацию о нас. С помощью нашей технологии мы можем измерить электромагнитное поле с очень высокой точностью, но измерение гравитационной постоянной вызывает огромные трудности. То же верно и для свойств Вселенной, о которой наши познания самые приблизительные.

Космический язык. Метаязык

Чтобы общаться с инопланетной цивилизацией, необходимо использовать общий язык, известный обеим сторонам. Язык — это коммуникативный протокол, используемый для обмена информацией между двумя собеседниками, построенный на общих исходных точках, известных обеим сторонам. Все человеческие языки связаны этими исходными точками, так как мы живем на одной планете. Стакан воды узнаваем, даже если изменить его название.

Мы ничего не знаем о наших инопланетных соседях. Будет весьма удивительно, если они знают какой-то человеческий язык. Они живут в той же Вселенной, что и мы, и, точнее говоря, в той же окрестности Млечного пути. Мы полагаем, что законы физики одинаковы везде во Вселенной. Эти законы могут быть использованы как точка отсчета для переговоров. Математика более фундаментальна, чем физика, и может быть более подходящей для начала. Любая цивилизация, способная создавать устройства для приема радиоволн, должна знать некий вид инженерного дела. Может оказаться хорошей попыткой начать разговор с математики и постепенно перейти к физике.

Искусственные языки

Синтетические или вспомогательные языки – не новая идея, и за последний век было создано несколько языков. Они были созданы намеренно, а не

эволюционировали естественным путем из человеческого языка. Эти языки могут быть начальной точкой для более детального коммуникационного протокола с инопланетной цивилизацией после того, как первый этап (знакомство) будет достигнут.

Такой искусственный язык был предложен Джузеппе Пеано [1] в 1903 г. Он похож на латынь, но без сложной грамматики, склонения, двойного корня и т. д. Кроме того, этот язык потенциально наиболее близок к реальному человеческому языку, но все еще зависит от социального контекста. Его еще также называют *интерлингва*.

Он составлен из элементов семи основных европейских языков (например, английского, французского, немецкого, итальянского, португальского, испанского и русского). В силу этого его словарь состоит в основном из греко-латинского языка. У него очень простая грамматика. Данный язык акцентируется на группах слов, образованных от корня, например, «сигтег» (бежать), «прендет» (брат), «сарет» (хватать) с использованием приставок-прототипов (ad-, pre-, pro-, -iop-, -ive-, -uga, и т. д.). Некоторые примеры языка представлены в следующей таблице:

Пример на языке латино-сине-флексионе

Латынь	Латино-сине-флексионе	Английский
Vox populi, vox Dei	Voce de populo, voce de Deo	The voice of the people is the voice of God
Hodie mihi, cras tibi	Hodie ad me, cras ad te	It is my lot today, yours to-morrow
In medio stat virtus	Virtute sta in medio	Virtue stands in the middle

Не следует путать интерлингву Пеано с интерлингвой Международной ассоциации второстепенных языков. Первый предпочитает упразднение грамматики, а второй свел ее к минимуму. Они оба построены на базе латыни.

Линкос был создан Хансом Фройденгалем в 1960 г. как язык для общения с ВЦ. Недостаток линкоса состоит в том, что его основы должны быть определены заранее, перед использованием. Эта коммуникативная система не предназначена для самообучения, поэтому необходима передача вводной части перед основным текстом линкоса для обучения ему.

Пример на языке линкос – диалог о значении «x» в данном уравнении:

Ha inq Hb ?x 10x=101

Hb inq Ha 101/10

Ha inq Hb ben

Вкратце, Ha спрашивает Hb «каково «x», если 10x = 101». Hb отвечает «101/10» и Ha говорит «хорошо», Ha и Hb могут рассматриваться как люди «A» и «B». «inq» означает inquit (говорить) и «ben» означает bebe (хорошо).

Формат диалога — это другой пример структуры для представления читателю информации без погружения в слишком сложные описания концепции.

Однако на практике большинство экспертов отказываются от чисто логических посланий, таких как предложил Фройденталь. Вместо них предпочтительней гибридная схема, включающая логические утверждения и графические представления идей и объектов [2–6]. В гибридных представлениях в идеале нужно иметь новый знак для каждого утверждения. В данном случае следует говорить об идеограммах, а не о таких знаках, как китайские, египетские иероглифы или иероглифы Майя.

Созданное Алонзо Чёрчем в 1930 г. лямбда-исчисление активно опирается на использование функций (например, лямбда-математические функции). Он считается первым компьютерным языком. Из него может быть создан псевдокомпьютерный язык для описания процессов и концепций.

Пример лямбда-исчисления – перечисление чисел:

$$\begin{aligned}1 &\equiv \lambda sz.s(z) \\2 &\equiv \lambda sz.s(s(z)) \\3 &\equiv \lambda sz.s(s(s(z)))\end{aligned}$$

Пример лямбда-исчисления – сложение чисел (2+3):

$$283 \equiv (\lambda szs(sz)) (\lambda wyx.y(wyx)) (\lambda uv.u(uv))$$

Основная лексика

Процесс написания сообщения ВЦ похож на процесс анализа сообщения, принятого от них. Инструменты (теория информации и статистика), которые мы собираемся использовать для декодирования полученного сообщения, должны быть похожи на те, которые бы ВЦ использовала после получения нашего послания.

Межзвездный Розеттский камень должен быть использован как предваряющая или вводная глава всего послания, чтобы научить читателя, как прочесть оставшуюся часть сообщения. Эта часть послания будет основана на математике. Последующие разделы будут связаны с элементарными понятиями физики, химии и биологии. Необходимо сообщить достаточно информации, чтобы получатель понял идеи и таким образом создать общую точку отсчета для дискуссии.

Выбор науки как языка для вводной главы обусловлен тем фактом, что принявшая его инопланетная цивилизация должна была построить некое устройство (радиотелескоп), чтобы обнаружить подобную передачу. Это устройство свидетельствует о знании техники, а следовательно, математики и физики. Также ожидается, что само сообщение будет проанализировано после получения группой представителей с соответствующими знаниями.

Хотя математика и физика и служат для введения точек отсчета в общении, они не подходят для сообщения социальной и гуманитарной концепций, т. е. чтобы говорить о нашей цивилизации. Это будет предметом следующих глав послания.

Представление чисел

Первый шаг – это установление или введение набора символов, обозначающих числа. Выбор десятичной системы исчисления обусловлен тем, что это может упростить кодировку послания. Нет признаков существования ВЦ, использующей подобную систему чисел, и они могут использовать любую другую систему счета. На самом деле, в течение истории человечества разные цивилизации использовали различные системы (вавилоняне использовали шестидесятиричную и т. д.).

Можно было бы ввести числа через ассоциацию с бинарным представлением и перечислением N единиц ($2 = 0010 = xx$). Математическая составляющая сообщения могла бы быть записана посредством бинарного представления, но для записи больших бинарных чисел потребуются нереальный объем места. Также десятичная система предоставляет возможность для записи чисел с плавающей запятой (т. е. 1.23456), которые сложно записать в двоичном виде. Числа могут использоваться в другом контексте, таком как арифметика. Демонстрация арифметических выражений может увеличить уровень информативности десяти символов и также послужить для введения математических операторов.

Арифметические выражения можно ввести через перечисление ряда операций, используя значения суммы ($0 + 1 = 1$, $1 + 1 = 2$, $2 + 1 = 3$). Использование перестановки чисел (т.е. $2 + 3 = 3 + 2$) закрепляет определение чисел и помогает обучению им вземшего читателя. Такие операции, как вычитание, умножение и деление, также будут представлены посредством череды примеров (например, используя одинаковые последовательности чисел: $2 + 3 = 5$, $2 - 3 = -1$, $2 \times 3 = 6$ и $2/3 = 0.6666$). Отрицательные числа будут представлены посредством примеров с вычитанием. Понятие деления на ноль будет использовано для ввода понятия бесконечности.

Деление двух чисел может быть использовано для введения понятия вещественного числа (понятие числа с плавающей запятой) с помощью таких примеров: $1/2 = 0.5$, $1/4 = 0.25$ и $1/3 = 0.33333$ (в периоде). Последний пример вводит понятие периодичности, который полезен для обозначения множества.

Логические операторы вводятся с помощью ряда примеров, как и другие операторы. Логика может использоваться для обозначения положительного или отрицательного с таким же синтаксисом, как у Линкоса.

Обозначение степени

Экспоненты используются для закрепления понятия дроби, а также для представления компактной формы записи больших величин. Большие величины понадобятся для описания реального мира (например, масса, расстояние и т. д.). Используя те же самые последовательности чисел, что и в предыдущих операциях ($0 + 1$, $1 + 1$, $2 + 1$), можно представить экспоненту из тех же примеров ($0^1 = 0$, $1^1 = 1$, $2^2 = 4$).

Обычный способ записи большого числа с использованием экспоненциального обозначения ($1.2 \cdot 10^2$) называется научным способом записи. Еще есть инженерное обозначение ($1.2E + 2$). Инженерное обозначение представляет второй способ записи большого числа и может запутать. Для уменьшения количества символов следует выбрать научный способ. Ряд примеров использования степени десяти и того, как записывать маленькие или большие числа с помощью короткого выражения, также будет в послании (2300 000 000 может быть записано как $2.3 \cdot 10^9$).

Теория множеств

Теория множеств используется для представления понятия объединения элементов или установления очередности чтения операторов. Пусть есть множество «А», составленное из элементов «а», «b», «с» таким образом: $A = \{a, b, c\}$. Мы можем сказать, что «а» – это элемент множества «А» и что «d» не принадлежит «А». Определим другое множество «В», $B = \{d, e, f\}$. Теперь «d» есть элемент «В», и «a» не является элементом «В». Объединение «А» и «В» записывается как $A \cup B = \{a, b, c, d, e, f\}$, а их пересечение как $A \cap B = \{\}$.

Далее можно записать Земля = $\{6.7 \cdot 10^9 \text{ человек}\}$ (полагая, что понятие «человек» было определено заранее), что может быть интерпретировано как множество: Земля включает 6.7 млрд людей. Продолжительность жизни человека можно выразить следующим выражением: Человек + 100 лет = $\{\}$. Концепция скобок может быть представлена с помощью ряда выражений (например $1 + 2 \times 3 = 7$ по сравнению с $(1 + 2) \times 3 = 9$).

Исходные точки

Общение с инопланетной цивилизацией требует чего-то большего, чем арифметические операции. Числа важны для того, чтобы выражать количественно идеи, но эти идеи должны быть как-то представлены.

Посылка большого количества текста (т. е. Интернет) может решать проблемы, связанные с обменом знаниями. Информационная теория показывает нам, что можно восстановить грамматику языка, используя большое количество информации. Получатель такого сообщения посредством теории информации и статистики смог бы понять сообщение с грамматической точки зрения. Но сомнительно, что он поймет его суть. Это как знание грамматики без понимания значения каждого слова. У нас существуют такие же проблемы с пониманием языка дельфинов [7, 8].

Физика

Физика – это учение о реальном мире, от атомов до галактик. Законы физики универсальны и могут быть использованы как основа для общения между нами и ВЦ. Предполагается, что инопланетная цивилизация должна знать

и понимать науку. Они построили устройства для приема радиоволн и должны знать технический минимум.

Используя понятия, изложенные в первой части сообщения, где была представлена математика, физические понятия можно использовать для введения длины, времени и массы. В 1999 г. в послании из Евлатории данные понятия были продемонстрированы на примере атома водорода. Атом водорода был схематизирован с помощью модели Резерфорда, тогда как использование рисования может зависеть от понимания взвешенными читателями, символы (глифы) рядом с атомом представляют массы протона, нейтрона и электрона. Глифы, представляющие числа, легки для чтения, если была усвоена математическая часть сообщения. Как только протон, нейтрон и электрон были определены, можно представить их массы. Водород может быть также использован для введения понятия длины посредством энергетических уровней (например, спектральные линии Бальмера и Лаймана).

С открытием орбитальными обсерваториями (Кеплер, Корот) экзопланет стало возможным наблюдать другие солнечные системы. Возможно, что ВЦ будет иметь схожие способности и, таким образом, сможет наблюдать нашу собственную Солнечную систему. Следовательно, диаграмма нашей Солнечной системы с массами Юпитера и Солнца может быть добавлена к сообщению. Другим возможным способом изобразить Солнечную систему без применения рисования может быть перечисление всех планет, их масс и периодов обращения вокруг Солнца.

Масса есть мера вещества, которым обладает объект. Отношение массы протона к массе электрона есть величина постоянная независимо от используемых единиц ($M_{\text{протон}} = 1.836 M_{\text{электрон}}$). Отношение зарядов электрона и протона также постоянная величина. Для введения единицы массы килограмма будут перечислены количественные значения для протона, нейтрона и электрона (т. е. $M_{\text{протон}} = 1.6725 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$).

Важна система записи, используемая в сообщении. Классический способ записи «массы протона» следующий: « $M_{\text{протон}}$ » (заглавная «М» и строчными буквами «протон»). Такая запись требует использования символов различного размера. Так нельзя сделать в межзвездном послании. Все символы одинакового размера. Более наглядный подход состоит в использовании префиксной системы записи, такой как «МП» (например, символ «М» перед символом «П», обозначающим протон).

Атомы можно описать как группы протонов и нейтронов. Понятие объединения более подходяще, чем понятие сложения. Водород можно представить как группу из одного протона, гелий как группу из двух протонов и двух нейтронов и т. д.

Длина – это мера расстояния между двумя объектами или один из размеров объекта. Атомы были введены в предыдущем разделе для определения массы. Их можно использовать для определения длины, указав необходимые размеры. Однако они могут быть неопределенными. Спектр водорода также

можно использовать, чтобы ввести понятие длины. Скорость света c соотносится с частотой ν и длиной волны λ по формуле $c = \lambda\nu$.

Спектральные линии можно использовать для представления длины (т. е. серии Лаймана и Бальмера). Та же информация может быть записана как ряд характеристик водорода: $H = \{122 \cdot 10^{-9}, 103 \cdot 10^{-9}, 97.2 \cdot 10^{-9}, 94.9 \cdot 10^{-9} \text{ м}\}$. Этот способ записи использует понятия теории множеств, которые были представлены ранее. Ряд значений с символом «м» на конце не будет понятен сначала. Но группа инопланетных экспертов поймет его рано или поздно. Этот тип работы очень похож на то, как расшифровывают древние человеческие языки.

Время – это сложное понятие. Оно может быть представлено как продолжение трехмерного мира через соотношение пространства и времени. Время входит в состав скорости (L/T), ускорения (L/T^2) и частоты ($1/T$). Для объяснения концепции времени можно использовать любую из этих трех идей или одновременно все.

Частота объясняется изображением формы синусоидальной волны. Она привязана к периоду события. Длина волны протона может быть использована для представления частоты. Можно ввести длину волны фотона посредством спектра излучения какого-то элемента, например, водорода.

Температуру можно представить, перечисляя ранее известные элементы (т. е. H, He, Li, O) и их температуру таяния и плавления (например, $H = \{14 \text{ К}, 20.28 \text{ К}\}$, $O = \{54.36 \text{ К}, 90.20 \text{ К}\}$).

Химия и биология

Категории химии и биологии можно представить, используя атомы и группы атомов (например, молекулы). Вопреки математическим выражениям использование « \Leftrightarrow » в химических выражениях может ввести в заблуждение. Символ равенства показывает, что обе части выражения одинаковы. Химическое уравнение может включать энергию или катализатор. В некотором смысле они равны, но смысл не тот же самый. Пусть « \Leftrightarrow » используется вместо « \Leftarrow » для обозначения процесса. Потом это можно будет использовать в послании для других целей.

Можно проиллюстрировать химическое выражение таким примером: « $N_2 + 3H_2 \Rightarrow 2NH_3$ ». Индексы указывают на число атомов в структуре (N_2 означает два атома азота). Отсылая к дискуссии в предыдущей главе касательно использования индексов, можно заметить потенциальный конфликт значений. Чтобы оставаться в согласии с системой записи, использованной в остальном сообщении, следует химические соотношения записывать так: « $2*N + 6*H \Rightarrow 2*(N + 3*H)$ ».

Разговор о человеке

Непросто описать людей обычными тезисами. Попроси тысячу человек сделать это и получишь тысячу разных ответов. Однако есть некоторые физические аспекты, которые можно обобщить.

Часто физическое описание предмета – это первый шаг для его определения. Опишем внешний вид человека. Средняя во всем мире величина человеческого роста 1.737 м для мужчин и 1.605 м для женщин. Используя префиксную систему записи, о которой говорилось ранее, эту информацию можно записать так: «Рост человека = 1.671 м».

Следует ввести понятия мужчины и женщины до того, как их использовать. Это тяжело сделать без знаний биологии, включая воспроизводство.

Средняя масса человека может быть записана тем же методом: «Масса человека = 70 кг». А температура так: «Температура человека = 310.15 К».

Человек с точки зрения биологии и химии – это углеродная форма жизни. Для начала можно перечислить несколько типичных химических реакций, включающих сахар. Используя теорию множеств и понятие времени, можно описать продолжительность жизни человека: «Человек + 100 лет = {}».

Как только физические свойства человека были представлены, следующий шаг – разговор о группе людей (нашем обществе). Этот раздел сообщения будет рассматривать жизнь человека. Мы стремимся жить в группах и образуем сообщества. Данная информация лучше всего описывается с помощью теории множеств.

Вслед за простым описанием нашей цивилизации рассказ о политике может дать дополнительную информацию. В этой части послания будет изложен политический аспект человеческого общества. Люди предпочитают демократию как форму правления, но существуют другие формы: диктатура, олигархия и т. д. Эта информация лучше всего может быть описана с помощью теории игр и процесса принятия решения.

Заключение

SETI занимается поиском внеземных посланий. Исследователи ищут модуляции радио и оптических волн. Поиск сосредоточен на структуре послания. Трудно догадаться о содержимом до тех пор, пока мы не примем реальное сообщение. Построение сообщений для ВЦ помогает понять природу сообщения, которое мы однажды можем принять.

Наши попытки послать сообщения выявили, что послание не может быть записано ни на одном человеческом языке. Первая часть сообщения должна быть написана на каком-то универсальном языке, который сможет понять ВЦ. Если представители ВЦ построили некое устройство для принятия радиопередач, разумно предположить, что они знакомы с наукой. Математические, физические и химические сведения должны быть в первой части передачи.

Формат сообщения также важен при разработке. Линейное сообщение (Морзе) было бы слишком подвержено шуму. Ряд изображений в меньшей степени склонен к шумовым помехам и ухудшению качества со временем. Несколько статистических методов могут быть использованы для поиска структуры и восстановления изображения.

Литература

1. Peano G. De latino sine flexione. *Revus de Mathematicas.* – 1903. – Vol. 8.
2. Arbib M. A. The psychology of interstellar communication. *Cosmic Search.* – 1979. – Vol. 1. – P. 21–24.
3. De Vito C. Language based on science // *Acta Astronautica.* – 1992. – Vol. 26. – P. 268.
4. DeVito C., Oehrle R. A language based on the fundamental facts of science // *Journal of the British Interplanetary Society.* – 1990. – Vol. 43. – P. 561–568.
5. Vakoch D. Possible pictorial messages for communication with extraterrestrial intelligence // *J. Minnesota Academy of Science.* – 1978. – Vol. 44. – P. 23–25.
6. Vakoch D. Constructing message to extraterrestrial: An exosemiotic perspective // *Acta Astronautica.* – 1998. – Vol. 42. – P. 697–704.
7. McGowan B., Hanser S.F., Doyle L. Quantitative tools for comparing animal communication systems: information theory applied to bottlenose dolphin whistle // *Animal Behaviour.* – 1999. – 57.
8. Ferrer R., McGowan B. A law of word meaning in dolphin whistle types // *Entropy* P. 11. – 2009.

Writing a Letter to Et

S. Dumas

The SETI experiences are searching for messages from outer space. The format and shape of those messages are unknown but it is expected they will be easy to detect from the background noise. Technology gives us the mean to broadcast our own messages in the direction of our other habitable worlds. The content of such messages would be very important. Transmissions cannot last very long and there are so many potential targets that the message must be short but more elaborated than a simple "Hi there" while less complex than the whole *Encyclopedia Britannica*. The message should have enough information to be interesting and provide a starting point to establish a conversation. This paper will discuss those points and provide a structure, based on Mathematics, for the Message's Primer. Furthermore, learning how to write efficient messages may help us in the deciphering of potential extraterrestrial ones.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ SETI

Метод главных компонент и его применение

С. Дюма

Лига SETI, Канада

Метод главных компонент (МГК) представляет собой мощный инструмент факторного анализа. Он может использоваться для классифицированных объектов, для уменьшения размера данных и извлечения информации из зашумленного сигнала. В этой статье кратко представлен МГК и существующие на сегодняшний день применения этого метода, связанные с астробиологией и SETI. Также в статье рассматривается применение алгоритма Ланцоша для вычисления собственных чисел матриц большого размера ($N \approx 1000000$).

Введение

МГК представляет собой математическую процедуру, которая использует ортогональное преобразование для перевода набора наблюдений (т. е. переменных) в свое собственное подпространство. Это способ выявления закономерностей в данных или уменьшения размера исходного множества данных. В основе метода лежит нахождение главных компонент (т. е. собственных векторов) набора данных. Этот набор состоит из векторов переменных, независимых друг от друга.

С учетом того, что N векторов X состоит из M переменных, то первым шагом процесса является вычисление ковариационной матрицы векторов. Ковариация двух векторов X и Y задается уравнением (1), где X_i является i -м элементом X :

$$\text{cov}(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^M (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{n-1} \quad (1)$$

Каждый элемент матрицы A (например, $A(i, j)$) будет иметь значение ковариации i -го и j -го вектора X . Матрица A размерности $N \times N$ имеет собственный вектор x и соответствующие собственные числа λ только тогда, когда одновременно выполняются уравнения (2) и (3):

$$A\bar{x} = \lambda\bar{x}, \quad (2)$$

$$\det | A - \lambda I | = 0. \quad (3)$$

Уравнение (3) дает решение системы N уравнений с N неизвестными (т. е. собственными числами). Известно несколько методов решения этой за-

дачи (некоторые из них будут описаны в этой статье). Не существует физического смысла ни собственных векторов, ни собственных чисел набора данных. Это математические объекты, используемые для описания информации, содержащейся в данных.

В этой статье будут приведены примеры применения МГК в области астробиологии и SETI. МГК также называется дискретным преобразованием «Карунена–Лоэва» (ПКЛ), «Хотеллинга» или сингулярным разложением (СР).

Сжатие данных

Одним из основных применений МГК является понижение размерности исходного набора данных. Как только начальные векторы будут преобразованы в собственное подпространство, их можно представить с меньшей размерностью. Число измерений, необходимых для представления первоначальной информации, зависит только от величины их собственных чисел. Построив график собственных чисел, от самых больших до самых маленьких, можно выбрать q крупнейших, необходимых для описания исходной информации. На рис. 1 показано типичное представление самых больших собственных чисел. Большую часть времени самые большие собственные числа λ очень велики, а амплитуда уменьшается очень быстро. Только несколько λ могут использоваться для представления исходных данных.

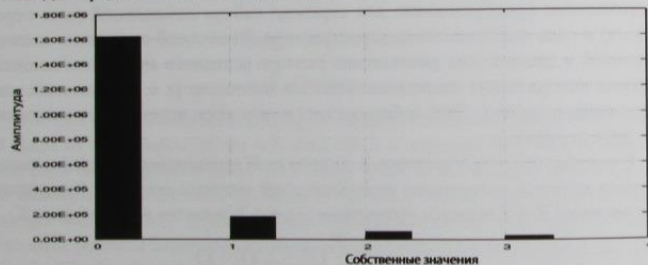


Рис. 1. Собственные числа в зависимости от величины

На рис. 2 представлен пример сжатия данных. В этом случае синусоидальная кривая представлена только тремя собственными числами. Исходные данные могут аппроксимироваться суммой первых трех собственных векторов в один вектор. Каждый из собственных векторов может быть построен, используя свои соответствующие собственные числа.

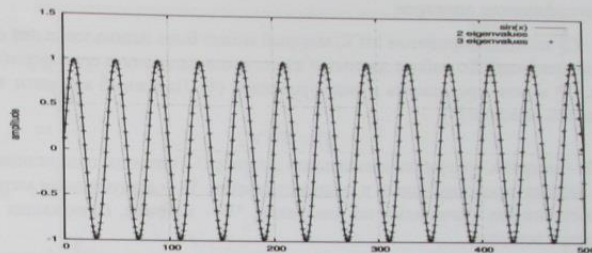


Рис. 2. Сжатие данных $\sin(x)$: всю кривую можно представить, используя только три собственных числа

На рис. 3 показан более сложный сценарий, в котором исходный набор данных представляет собой броуновское движение. Данные являются более сложными, чем синус, что требует больше собственных векторов для его аппроксимации.

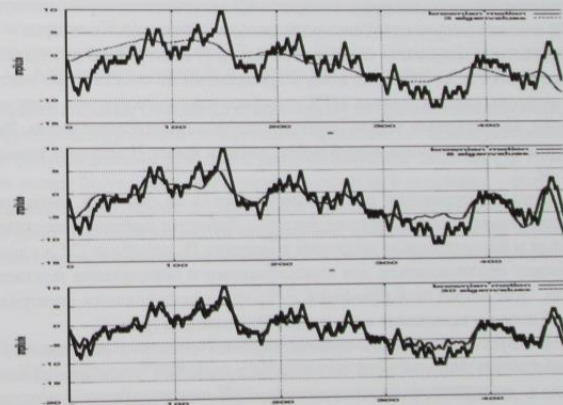


Рис. 3. Сжатие данных броуновского движения: a – грубая аппроксимация тремя собственными числами; b – шесть собственных чисел; c – 30

Классификация спектров

СР является вариантом МГК, который может быть использован для сравнения неизвестного набора данных с известными данными и его классификации. СР можно представить в виде уравнения (4). Надежный алгоритм этого процесса описан в [1]:

$$D = UWV^T, \quad (4)$$

где D – матрица, содержащая начальные данные; U – матрица, содержащая набор данных, представленный в подпространстве; W – диагональная матрица с собственными значениями по диагонали; V – матрица, содержащая собственные векторы.

Дана группа инфракрасных спектров, взятых с образцов породы, содержащей формы жизни (т. е. эндоциты) и минералы. Проблема заключается в классификации спектров и отделении биологических подписей от минеральных.

Набор данных состоит из N спектров M длин волн (взятых в ИК-диапазоне светового спектра). Все спектры объединены в единую матрицу D размерностью M столбцов на N строк. Среднее значение каждой длины волны вычисляется и вычитается из спектров. Анализ основан на отклонении от среднего значения каждой длины волны. Алгоритм СР вычисляет ковариационную матрицу D и из нее получает собственные числа и собственные векторы.

Полученная матрица U содержит набор из N векторов по M переменных (которые являются не длинами волн, а проекциями на собственные векторы). В силу природы сжатия данных МГК стало возможным сократить длину нового вектора, рассматривая только наиболее важные собственные числа. Вместо N векторов из M элементов новый набор данных имеет N векторов размера P , где $P < M$.

Методы кластеризации могут использоваться со сжатыми данными, для того чтобы сгруппировать похожие векторы. Добавляя спектры известных минеральных и биологических подписей в матрицу D , результат СР и кластеризации может использоваться для классификации и определения неизвестных спектров. Этот метод был применен в [2] для классификации спектральных подписей пород и выявления возможных биомаркеров (рис. 4).

Существует возможность транспонировать спектр в собственное подпространство без решения всей системы. Матрицы WV^T , похожие на матрицу вращения и дважды вычисленные должным образом с известными спектрами, могут использоваться для перехода из одного пространства в другое.

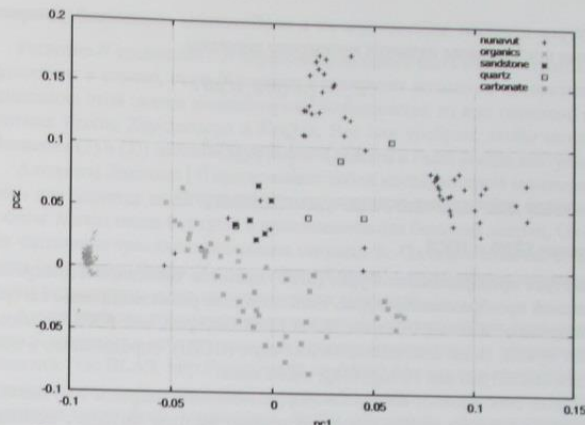


Рис. 4. Спектральная классификация биомаркеров и других образцов с использованием СР. Спектры, представленные только двумя собственными числами (или главными компонентами ГК1 и ГК2). Группы – основной состав каждого неизвестного спектра (т. е. Нунавут) по отношению к известному

Анализ сигнала. Относится к зависящему от времени анализу, определяемому функцией $X(t)$. Любой сигнал можно представить с помощью бесконечной суммы синусоидальных функций с увеличивающейся частотой (5). Некоторые из этих частей будут давать информацию о сигнале, а остальные – являться шумом. Классический подход заключается в работе с частотной областью (например, Фурье), т. е. шум удаляется посредством фильтрации, затем переносится обратно во временную область и получается сигнал с меньшим шумом:

$$X(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H(f) e^{2\pi i f t} dt. \quad (5)$$

Чтобы сделать подобный анализ (т. е. устранить шумы), может применяться ПКЛ. Основой процесса является вычисление собственных векторов автокорреляционной матрицы $X(t)$, представленной уравнением

$$R(t_1, t_2) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x_1 x_2 f(x_1, x_2; t_1, t_2) dx_1 dx_2. \quad (6)$$

Собственные числа и собственные векторы вычисляются из R с использованием алгоритма Якоби (или любого другого аналогичного алгоритма). Проекция $X(t)$ в подпространство вычисляется с использованием уравнения (7), где $\phi_n(t)$ являются собственными векторами, а T – число элементов $X(t)$ (т. е. расширение КЛ). $X(t)$ может быть впоследствии восстановлена с использованием

Z_n векторов простым добавлением их в необходимом количестве (уравнение (8)), пока приближение является достаточно хорошим.

$$Z_n = \int_1^T X(t) \varphi_n(t) dt; \quad (7)$$

$$X(t) = \int_{i=1}^K Z_i \varphi_n(t) dt, \quad (8)$$

где K – число собственных векторов для суммирования.

Сравнение БПФ и ПКЛ

Быстрое преобразование Фурье (БПФ) является численной и дискретной реализацией преобразования Фурье. Есть несколько реализаций этого алгоритма – медленные и очень быстрые. Хотя БПФ быстрее, чем ПКЛ, последнее работает лучше, когда отношение сигнал–шум (ОСШ), определенное в децибелах для амплитуды как $10 \cdot \log(A/A_0)$, очень мало.

Первый собственный вектор автокорреляционной матрицы $X(t)$ является достаточным для того, чтобы извлечь основные частоты сигнала с помощью ПКЛ. Эти частоты могут быть найдены путем применения быстрого преобразования Фурье к собственному вектору λ .

Рис. 5 демонстрирует случай с шумящей синусоидальной волной (т. е. ОСШ = –30 дБ). Преобразование Фурье не может отделить основную частоту и показывает много разных частот. Хотя ПКЛ показал не только основную частоту, самый высокий пик является основным.

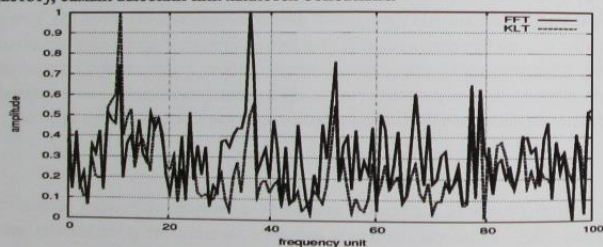


Рис. 5. Сравнение между БПФ и ПКЛ на очень зашумленном сигнале: основная частота сигнала находится в точке $x = 10$ по оси частот

Броуновское движение

Когда временной ряд $X(t)$ представляет собой броуновское движение (Винеровский процесс), то автокорреляционная матрица R определяется по формуле (9). Этот особый случай объясняется в [3]:

$$R(t_1, t_2) = \min(t_1, t_2). \quad (9)$$

Алгоритм Ланцоша

Решение N уравнений с N переменными может быть очень затратным для компьютера в случае, если N велико. Существует несколько алгоритмов для выполнения этой задачи компьютером. Большинство из них основано на алгоритмах Якоби, Хаусхолдера и Краута. Все они требуют, чтобы матрица A (уравнения (2) и (3)) целиком хранилась в памяти и была всегда доступной.

Алгоритм Ланцоша [4] представляет собой метод, который можно использовать для решения некоторых крупных, редких, симметричных собственных проблем. Метод очень быстрый и предназначен для больших матриц. Он включает частичную трехдиагонализацию матрицы A . Однако в отличие от предыдущих (например, Якоби, Хаусхолдера и Краута) у этого метода генерируются полные подматрицы и нет промежуточных значений.

Автор написал компьютерную программу, реализующую этот алгоритм, который включает в себя несколько высокопроизводительных математических библиотек (т. е. BLAS, <http://www.netlib.org/blas/>). Изменения проводились для вычисления автокорреляционной матрицы броуновского движения. Подобные изменения могут быть выполнены, чтобы обеспечить автокорреляцию нормальных временных рядов.

Эти изменения и улучшения не могут быть сделаны с использованием программ, основанных на других алгоритмах.

На рис. 6 показан результат работы алгоритма применительно к набору данных из 1 млн точек броуновского движения (включая автокорреляционную матрицу $1M \times 1M$). Расчеты заняли 309 мин на простой рабочей станции (четырёхъядерный процессор и 8 Гбит оперативной памяти).

Матрица размерностью 1 000 000 на 1 000 000 требует $7.62 \cdot 10^6$ Мбит оперативной памяти на компьютере. Это гораздо больше, чем имеется в распоряжении у любого стандартного компьютера. Модификация выполнена таким образом, что алгоритм обработки огромных матриц избегает их хранения в памяти и вычисляет только необходимую часть – $R(t_1, t_2)$. Это является преимуществом модифицированного алгоритма Ланцоша, который не требует целой матрицы. Этот процесс замедляет вычисления, но позволяет обрабатывать довольно большие матрицы.

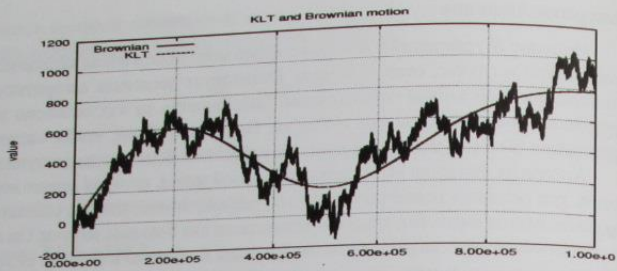


Рис. 6. ПКЛ набора данных броуновского движения

Ограниченный автокорреляционный метод

Ограниченный автокорреляционный метод (ОАМ) основывается на теории конечных отклонений, описанной в [5] и обобщенной уравнением (10). Метод утверждает, что все частные производные первого порядка λ по T для стационарных процессов являются только константами. Измененный алгоритм Ланцоша применялся для вычисления собственных значений до $N = 6000$ и проверки ОАМ. Рис. 7 демонстрирует полученный результат. Тем не менее рис. 8 показывает, что линейная зависимость не может использоваться для нахождения собственных чисел более высокого порядка.

$$\lambda_n(T) \propto T. \quad (10)$$

Теория ОАМ позволяет быстро найти значение λ_1 в том случае, если задача связана с нахождением собственных чисел автокорреляционной матрицы R для броуновского движения.



Рис. 7. Зависимость λ_1 от N линейная, как и предсказывает теория

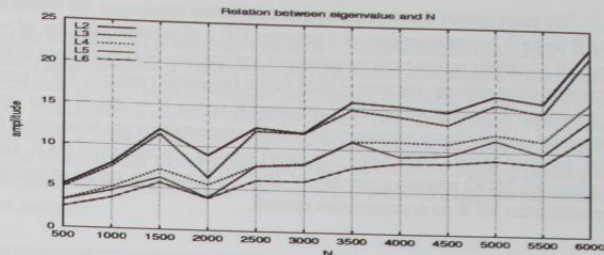


Рис. 8. Зависимость $\lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6$ от N

Применение МГК к набору данных большему, чем ранг матрицы R

Применение МГК к временным рядам $X(t)$ — относится только к автокорреляционной матрице R . Если найдены собственные векторы, то могут применяться разностные ряды $Y(t)$, пока они имеют ту же длину. Это показывает рис. 9 после применения МГК матрицы R к различным векторам $X(t)$. Здесь алгоритм пытается не воспроизвести сигнал, а пройти единичной функцией $\sin(x)$ через точки.

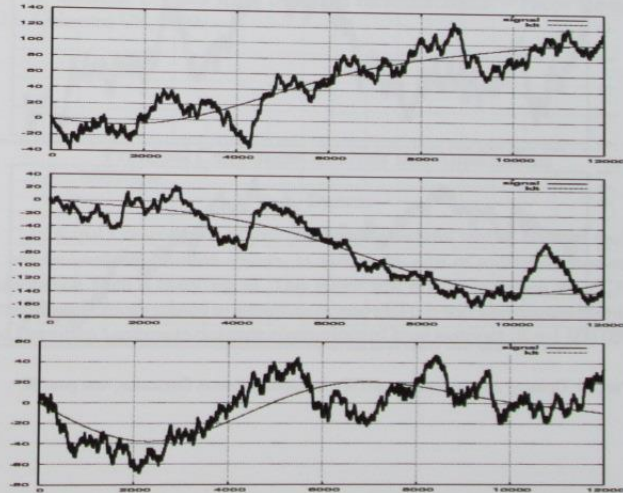


Рис. 9. Одно и то же решение собственных векторов, примененное к различным броуновским движениям

Эта идея может быть реализована решением проблемы МГК для матрицы R ранга N и применением ее к вектору $X(t)$ с M элементами, где $M > N$. На рис. 10 показаны результаты применения алгоритма. Набор данных $X(t)$ представляет броуновское движение 3600 точек (верхний график). МГК решается с помощью автокорреляционной матрицы R ранга $N = 200$. В этом примере находятся собственные векторы и результат применяется для некоторых частей $X(t)$, которые имеют 3600 точек. Средний график – результаты ПКЛ. Нижний график (т.е. МГК) хорошо совпадает с $X(t)$. Этот пример также иллюстрирует возможность МГК по воссозданию кривой.

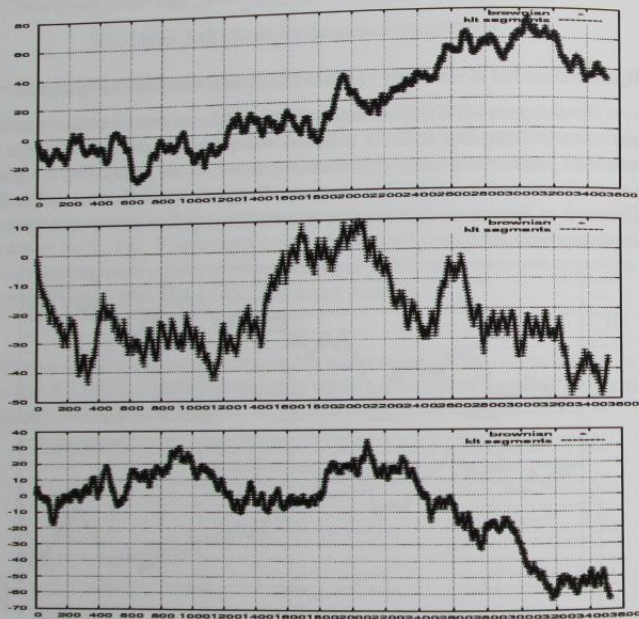


Рис. 10. Пример использования МГК с набором данных большим, чем ранг R

Заключение

Таким образом, МГК является мощным математическим аппаратом, который может использоваться для сжатия данных, классификации и фильтрации шума. Хотя он требует гораздо больше машинного времени, чем анализ Фурье (БПФ), в большинстве случаев работает лучше. Простой пример, продемонстрированный в этой статье, показывает, что ОСШ в -30 дБ смогло победить БПФ. При применении к определенному типу задач (броуновское движение) решение МГК может быть заранее вычислено и использовано для различных наборов данных.

Литература

1. Press W.H., Teukolsky S. Numerical Recipes in C. – New-York: Cambridge University Press, 1992.
2. Dumas S., Dutil Y., Joncas G. Detection of biomarkers using infrared spectroscopy // Acta Astronautica. – 2010. – P. 67.
3. Papoulis A. Probability, Random Variables and Stochastic Processes – McGraw-Hill, 2002.
4. Golub G., Loan C. Matrix computations. – Baltimore: John Hopkins Press, 1996.
5. Maccone C. Deep space flight and communications. – Praxis Publishing Ltd., Chichester, UK, 2009.

Principal Component Analysis and Applications

S. Dumas

Principal Component Analysis (PCA) is a powerful tool of factorial analysis. It can be used to classified objects, to reduce the size of a database and extract information from a noisy signal. This paper will briefly introduce the PCA and present applications related to astrobiology and SETI. It will also discuss how to use the algorithm Lanczos to compute eigenvalues of huge matrices ($N = 1\,000\,000$).

МЕЖПЛАНЕТНЫЕ ИМПЕРИИ

Вероятность создания межзвездной империи

С. Дюма¹, Ю. Дутил²

¹Союз SETI, Канада

²Технологический институт, Канада

С той поры как люди начали смотреть на небо, они представляли себе веземные цивилизации, населяющие планеты, вращающиеся вокруг других звезд. Сегодня идея межпланетных империй уже вошла в область научной фантастики, и многие писатели этого жанра подробно описывали такие империи. Реальность может оказаться другой. Возможно ли, чтобы инопланетные цивилизации могли создать колонии за пределами своей собственной звездной системы? В статье сделан обзор мотиваций и технологических возможностей для создания межзвездной империи в рамках физических законов.

Введение

В 1950 г. Энрике Ферми сформулировал знаменитый парадокс, утверждающий, что единственным объяснением отсутствия признаков существования веземных цивилизаций является, по-видимому, отсутствие таких цивилизаций. И все же вероятность того, что веземные цивилизации будут старше нашей собственной цивилизации, не равна нулю. Ферми считал, что эти цивилизации должны были к настоящему времени освоить галактики. Эта идея также присутствует в нескольких научно-фантастических рассказах: инопланетная цивилизация должна была создать империю. Существует и другое решение этого вопроса. Обычно предполагается, что межзвездные путешествия легки для развитой цивилизации. Это может быть иначе, о чем и пойдет речь в этой статье.

Любой долгоживущей цивилизации пришлось бы решать важные проблемы, связанные с ее существованием (перенаселение, продукты питания и энергоснабжение). Эти вопросы также будут обсуждаться. Авторы сделают обзор мотиваций и технологических возможностей для создания межзвездной империи в рамках физических законов.

Долголетие и распад

Долголетие цивилизации во многом зависит от ее способности добывать ресурсы и удерживать стабильную социально-политическую структуру. История Земли дает нам некоторые примеры долгоживущих цивилизаций (например, Вавилон, Древний Рим и Древний Египет), хотя каждая из них, в конце концов, исчезла по той или другой причине. Даже во времена египетской цивилизации (которая просуществовала более 5000 лет), было три периода, когда она была на грани исчезновения (переходные периоды).

Естественная эволюция требует нескольких миллиардов лет с момента появления жизни до цивилизации человеческого типа. Возникновение жизни может быть стремительным. На Земле первые признаки жизни появились 3.8 млрд лет назад. Сложные жизненные формы (например, растения и животные) появились на Земле от 200 до 600 млн лет назад. Однако появление настоящей технологической цивилизации может занять гораздо больше времени. В [1] дается три различных сценария развития цивилизации. Автор считает, что цивилизации потребуется от 1 до 6 млрд лет для развития на планете, подобной Земле.

С появлением технологий (например, инструментов, колеса, электроники) каждый аспект цивилизации будет расти, и они будут становиться взаимозависимыми. Однако технологии не могут поддерживать экспоненциальный рост в течение длительного времени, даже пренебрегая многочисленными законами физики. Рост, характеризующийся в основном потреблением ресурсов и ростом численности населения, не может длиться вечно.

Технология не всегда может решить проблемы – требуются ресурсы и энергия, неправильное использование которых может привести к загрязнению в виде выбросов производства и отработанных устройств. Одним из последних примеров являются солнечные панели, которые часто представляют как источник возобновляемой энергии, хотя для их производства требуются тяжелые металлы, а сами они имеют короткий срок эксплуатации.

Для того чтобы создать собственную империю, инопланетная цивилизация должна сохранять свою стабильность в течение тысяч или даже миллионов лет, контролировать свой рост и в то же время развивать космические технологии.

Рост населения

Рост численности населения представляет серьезную проблему цивилизаций, даже не технологических (например, обладающих электронными приспособлениями). Самая простая экономическая модель роста была предложена Мальтусом [2]. Он утверждает, что рост численности населения будет экспоненциальным, в то время как количество ресурсов будет расти в арифметической прогрессии, что приведет к сокращению благосостояния, даже не смотря на то, что рост населения прекратится.

С тех пор различные экономисты исследовали отношение количества населения к запасам ресурсов, если эти ресурсы возобновляемы. Это модели Лотки-Вольтера [3], являющиеся подтипом модели хищник-жертва Лотки-Вольтера [4, 5]. Эти модели давали три типа решений: исчезновение, колебания вокруг неподвижной точки и устойчивое состояние.

Подобные модели были успешно применены для исследования исчезновения населения о. Пасхи [6]. Обобщения по этой модели [7, 8] указывают, что единственным выходом из ловушки Мальтуса является ограничение использования ресурсов. Но ограничение само по себе очень сложно реализовать.

Устойчивость

Устойчивое развитие представляет собой способность терпеть. Это важный аспект долгоживущих цивилизаций. Устойчивости еще труднее достичь, когда невозобновляемые ресурсы моделируются. Одни авторы утверждают, что технология будет компенсировать естественную убыль капитала [9, 10], другие считают, что это невозможно [11, 12]. Используя совершенно иной подход (систему динамического анализа), Мидоу [13] пришел к аналогичному выводу.

Ограничение технологии для обеспечения устойчивости было рассмотрено английским экономистом Евансом в 1865 г. Любые технологические улучшения, ведущие к повышению эффективности, повысят доступность этой технологии, что в свою очередь приведет к увеличению потребления ресурсов. Современная формулировка, известная как постулат Хаззума-Брукаса [14, 15], который утверждает, что нововведения в сфере энергосбережения могут в конечном итоге вызывать еще большее потребление энергии за счет приобретения на сэкономленные средства других товаров и услуг, которые сами нуждаются в энергии для их производства.

Антропологи обнаружили редкий пример сильной устойчивости человеческой цивилизации на маленьком тихоокеанском о. Тикопиа. Вопреки неблагоприятным условиям островитянам удалось жить в этой изолированной экосистеме в течение трех тысячелетий. Археологические данные показывают, что первая фаза резкого снижения лесных районов, увеличения эрозии, истощения рыбных запасов и вымирания некоторых видов птиц идет параллельно приросту населения. Тем не менее поразительный вывод археологов состоит в том, что фаза деградации окружающей среды сопровождалась прогрессивными историческими изменениями в методах управления человеческими ресурсами.

Жители Тикопиа приняли эффективные меры в период с 1000 по 1800 г. для стабилизации численности населения примерно от 1281 до 1323 человек. Они выполнили свою цель путем детоубийства, абортов и в силу закона о том, что только старший ребенок в семье мог иметь детей. Кроме того, жители перешли от подсечно-огневой практики к поддерживаемому сельскому хозяйству. Делая так, они заменили природные экосистемы острова на искусственные, которые имитируют структуру и взаимосвязь в естественной среде обитания.

И, наконец, они истребили всех свиней, несмотря на их значимость у полинезийцев, потому что свиньи повреждали сады и ели пищу, которую может употреблять человек [16, 17].

Удивительно, но о. Тикопиа расположен в поясе циклонов, поэтому его жители имеют дело с циклонами, приносящими сильные ветра каждые пять или десять лет. Общество о. Тикопиа является не только устойчивым, но и очень жизнеспособным.

Изменения в экосистеме

Экосистемы по определению устойчивы. Предположительно вследствие естественного отбора эволюция пошла по одному из двух стандартных пути: r - или K -отбору [18, 19]. Обозначения r и K взяты из обыкновенной экологической алгебры и показаны на примере уравнения Ферхюльста (1), отражающего динамику численности населения:

$$\frac{dN}{dt} = rN\left(1 - \frac{N}{K}\right), \quad (1)$$

где r – темпы роста населения, а N и K – пропускная способность местных экологических условий. Как правило, r отдельных видов производят много потомков, которые, вероятно, не доживут до взрослой жизни. В то же время K отдельных видов дадут более здоровое потомство, которое будет иметь больше шансов дожить до зрелого возраста.

В нестабильной или непредсказуемой среде будет преобладать r -отбор, так как способность к быстрому воспроизводству будет иметь решающее значение, и есть небольшое преимущество в адаптации, которое позволит успешно конкурировать с другими организмами, так как окружающая среда может снова измениться. В стабильной или предсказуемой среде преобладает K -отбор, так как способность успешно конкурировать за ограниченные ресурсы имеет решающее значение. Популяция организмов вида K обычно постоянна и близка к максимуму, способному поддерживаться окружающей средой. Следует отметить, что в естественных экосистемах биоразнообразие ведет к росту стабильности и продуктивности экосистемы [20, 21].

Учитывая то, что Солнце является основным источником тепла, равновесная температура атмосферы Земли T (288 K) определяется формулой:

$$\frac{\pi R^2(1-A)k}{r^2} = \epsilon \sigma T^4 4\pi R^2, \quad (2)$$

где k – солнечная постоянная Земли (1370 Вт/м²); r – расстояние от Солнца; A – альbedo Земли (0.31); R – радиус Земли; $\epsilon \sigma$ – эффективное излучение (0.61); σ – постоянная Стефана. Любые действия выделяют тепло, которое поглощается в атмосфере. Некоторые прогнозы предсказывают, что в течение 300 лет средняя температура атмосферы Земли может достигать 291 K (т. е.

больше равновесной на 3 К). Такое увеличение температуры будет иметь существенное воздействие на климат и экосистему.

Вполне вероятно, что любая устойчивая цивилизация будет следовать аналогичной траектории эволюции. Таким образом, инопланетные цивилизации, вероятно, будут чрезвычайно сложными, очень эффективными и с очень низкими темпами роста.

Потребность в энергии

Любой цивилизации для своей деятельности необходима энергия в том или ином виде (например, уголь, ядерное топливо, нефть). В 2007 г. наша цивилизация потребляла около $1.7 \cdot 10^{13}$ Вт. Мы можем задаться вопросом, каковы физические пределы нашего энергопотребления и какие темпы роста устойчивы с течением времени.

По оценкам, солнечная радиация, достигающая Земли, равна $5 \cdot 10^{16}$ Вт. Н. Кардашев [22] предположил, что верхняя граница результатов человеческой деятельности, чтобы избежать климатической катастрофы, равна 1 % от суммарной солнечной радиации. При 2 %-ном росте мы достигнем этого предела в течение 170 лет.

Не похоже, что ядерная энергия будет жизнеспособным источником на очень длительный срок. Для обеспечения наших потребностей в ближайшее время ($1.7 \cdot 10^{13}$ Вт) с использованием ядерной энергии нам потребуется около 15 000 ядерных реакторов (при среднем выходе $3.75 \cdot 10^6$ Вт). При такой скорости потребления запасов урана в земной коре хватит приблизительно на 80 лет. Тем не менее существует большое количество урана, содержащегося в морской воде (но сложнее извлекаемого), которого может хватить на 5700 лет при среднем потреблении в $1.7 \cdot 10^{13}$ Вт. Проблема заключается в том, что и другие материалы (например, редкие элементы) необходимы для строительства реактора. Будет невозможно с существующим запасом редких элементов эксплуатировать все ядерные реакторы. Кроме того, жизнь ядерной установки ограничена (около 100 лет). Даже переход атомных реакторов на торий в долгосрочной перспективе не будет лучшим решением. Термоядерные источники энергии еще не функционируют.

Традиционные источники топлива (такие, как нефть, уголь, ядерное топливо) имеют ограниченный запас. Возобновляемые источники энергии (например, солнечная, энергия ветра и воды) имеют ограниченную мощность. Эти физические ограничения создают некоторые возможности для возникновения устойчивой цивилизации. Они могут быть ограничены фотосинтезом ($\sim 10^{13}$ Вт), климатом ($1.27 \cdot 10^{14}$ Вт) или Солнцем ($1.74 \cdot 10^{18}$ Вт).

Предполагается, что общая выходная мощность после завершения проекта Ivarah (15 км^2 солнечных батарей) в пустыне Мохаве в Южной Калифорнии составит $3.7 \cdot 10^8$ Вт. Удельная мощность этой установки составляет

25.4 Вт/м^2 . Для того чтобы обеспечить общую мощность в $1.7 \cdot 10^{13}$ Вт, потребуется $6.693 \cdot 10^5 \text{ км}^2$ солнечных панелей.

Ветряная ферма Роско в Техасе вырабатывает $7.82 \cdot 10^8$ Вт (154 км^2). Для того чтобы обеспечить общую мощность в $1.7 \cdot 10^{13}$ Вт, потребуется $8.677 \cdot 10^6 \text{ км}^2$ солнечных панелей.

Сингулярность

Объединение биологических и искусственных организмов часто называют сингулярностью. Любая развитая внеземная цивилизация, возможно, могла бы пойти по такому пути, например для улучшения условий жизни (изменение климата). Мы даже не можем представить себе такой мотивации. Цивилизация в постбиологический этап эволюции может иметь мотивации, совершенно отличные от современных.

Сложность космического путешествия

Путешествия между звездами – очень сложный процесс [23, 24]. Такое путешествие требует огромного количества энергии, является очень длительным и рискованным процессом. Технологии, используемые пришельцами неизвестны, однако физика должна соблюдаться независимо от технологии, используемой для перемещения корабля.

Для ракет, использующих химическое топливо, конечная скорость после выгорания всего топлива V , скорость истечения S и так называемое отношение масс связаны между собой формулой, описанной в уравнении

$$\frac{V}{S} = \ln \frac{M_i}{M_f}, \quad (3)$$

где M_i – общая начальная масса космического корабля (в том числе и топлива); M_f – масса корабля после сгорания топлива. Если предположить, что топливо составляет 90 % массы корабля, то уравнение (3) дает $V = 2.3 S$. Наилучшим значением будет $V = 6.9 S$, что эквивалентно соотношению масс 99.9 %. Таким образом, достаточно тяжело достичь высокой скорости с использованием традиционных химических видов топлива и полезной нагрузкой, составляющей малую долю от общей массы ракеты.

Релятивистский подход

Когда корабль путешествует со скоростью, близкой к скорости света, соотношение масс может быть вычислено по формуле

$$\frac{M_i}{M_f} = \frac{c + V_{\max}^{c/V_{\max}}}{c - V_{\max}}. \quad (4)$$

Химическое топливо не является достаточно мощным, чтобы решить эту задачу. Для композитного топлива (например, дейтерия, трития) $V_{\max} \sim 0.99 c$, а $V_{\text{ex}} \sim c/8$, $M_i/M_f = 1.6 \cdot 10^9$. В то же время для топлива из антиматерии $V_{\text{ex}} \sim c$, а $M_i/M_f = 14$. Для полноценной поездки это более $M_i/M_f = 4 \cdot 10^4$. Для полета космического корабля грузоподъемностью 10 т туда и обратно до звезды корабль должен нести 400 000 т топлива из антивещества. Так как топливо из антивещества является недоступной для нас технологией (что может быть не так для пришельцев), единственный возможный путь для достижения высокой скорости — это использование ядерной или термоядерной двигательной системы (например, судов типа Орион или Дедал).

Однако даже с помощью этого получится достичь только малой части скорости света. Следствием этого является то, что путешествие займет гораздо больше времени.

Отношение масса–энергия

Ускорение ракеты b определяется формулой

$$b = \frac{\text{thrust of engine}}{\text{total mass of rocket}} = \frac{2P}{S}, \quad (5)$$

где P — отношение мощности двигателя к общей массе ракеты.

Если мы работаем с высокой скоростью выпуска газов S , нам необходимо большое отношение масса–энергия P , в противном случае мы получим лишь небольшое ускорение. В целях поддержания $b = 1g$ с $S \sim c$ (для человеческого экипажа) нам необходимо $P = 3 \cdot 10^6$ Вт/г. Обычный 15 МВт ядерный реактор до 800 т дает $P = 0.02$ Вт/г.

Защита экипажа

Межзвездная среда не является пустой [25]: плотность вещества в газовом облаке составляет от 10^7 до 10^9 м⁻³; в межзвездной среде от $2\text{--}3 \cdot 10^5$ м⁻³, а около Солнечной системы — 10^6 м⁻³. Корабль должен быть защищен от ударов и излучения. Взаимодействием протонов можно пренебречь для скоростей $V < 0.9$ с. По данным [26] электрон не является проблемой (например, эффект Комптона) для $V < 0.8$ с. Тем не менее столкновение частиц (например, протона, электрона и пыли) будет генерировать тепло и, возможно, эрозию. Чтобы избежать проблемы излучения, корабль должен двигаться медленно, тем самым увеличивая продолжительность путешествия. Более быструю кораблю для защиты корпуса придется принести в жертву часть полезной нагрузки.

Проект Орион

В 50-х годах группа американских ученых была собрана в центре General Atomics. Одним из их многих проектов было строительство космического аппарата, использующего для движения ядерный взрыв. Он был назван «проект Орион» [27–30].

Идея заключалась в том, чтобы использовать ядерные устройства (около 1КТ) для оказания давления на космический аппарат и создания большого ускорения за небольшой промежуток времени. Чем больше космический аппарат, тем меньше ускорение. Тогда было решено построить огромный (несколько тысяч тонн) корабль, способный путешествовать между планетами. Корабль был способен перевозить экипаж от 8 до 20 человек. Было запланировано несколько сценариев миссий на Луну, Венеру, Марс и Юпитер.

Корабли первого поколения были предназначены для межпланетных путешествий, но было запланировано и создание кораблей для межзвездных миссий. Например, чтобы добраться до Альфа Центавра, потребовалось бы около 25 млн ядерных устройств для ускорения, а само путешествие заняло бы 150 лет. Еще 25 млн ядерных устройств потребуются для остановки. Очевидно, что это был бы огромный корабль, предназначенный для нескольких поколений.

Проект Дедал

В 1970-х годах группы ученых приняли участие в технико-экономическом исследовании межпланетных транспортных средств, известном как проект «Дедал» [25]. План состоял в том, чтобы построить космический корабль, способный долететь до ближайшей звезды, используя известные технологии того времени (1970 г.). Полезная нагрузка была бы около 500 т, не считая обеспечение экипажа. Стартовая масса была около 15 000 т. Движение было основано на использовании термоядерных реакций с использованием трития в качестве основного топлива. Конечная скорость после ускорения была бы около 0.167 с. Конструкция была названа двухэтапным транспортным средством.

Миссия состояла в полете к звезде Барнарда, находящейся на расстоянии 6 св. лет и полет к которой длился бы 40 лет.

Мотивация для колонизации

Инопланетной цивилизации нужен мощный стимулом для того, чтобы тратить огромные ресурсы для отправки кораблей и колонизации другого мира.

Перенаселенность может быть во главе этого списка. Этот сценарий требует большего, чем использование грузовых судов, для пополнения полезных ископаемых. Перемещение большого количества людей в другой мир требует огромных транспортных кораблей, способных поддерживать команду в течение очень длительного времени.

Фон Хорнер [31] отметил, что даже межзвездная колонизация со скоростью света, не сможет справиться с проблемой демографического взрыва на планете

Земля. С экспоненциальным темпом роста численности населения $g = 0.02/\text{год}$ и сферой колонизации, расширяющейся со скоростью света, полученный объем колонизации за 500 лет будет иметь радиус 50 пк, а все обитаемые планеты в этом объеме достигнут существующей плотности населения Земли.

Если корабль будет двигаться со скоростью 0.1 с, то он один сможет колонизировать Галактику приблизительно за 107 лет.

Очевидное отсутствие на Земле представителей развитых галактических цивилизаций, таким образом, говорит о том, что подобных экспансионистских цивилизаций, нацеленных на господство в Галактике, нет.

Признаки межзвездной империи

Любой инопланетной цивилизации, способной создать колонии на межзвездном уровне, потребуется колоссальный источник энергии. Одним из лучших решений этой проблемы является использование энергии своей собственной звезды, в результате чего будет появление инфракрасных следов, которые будут зарегистрированы на данном уровне нашего технологического развития.

Заключение

Более старая цивилизация чем наша, должна была решить все проблемы, перечисленные в этой статье (а возможно, и большие). Это означает, что она имеет возможность поддерживать свою собственную структуру. В противном случае это будет вечный круговорот взлетов и падений.

Энергетические требования, климат, продовольственный кризис и рост численности населения могут стать стимулом для колонизации других миров. Возможно, потребуется больше времени, чтобы найти локальное решение этих проблем, чем перебраться в другие звездные системы. Таким образом, колонизация планет собственной Солнечной системы может являться альтернативой внешней колонизации.

Цивилизации на Земле потребовалось для развития около 4 млрд лет с момента образования планеты. Возраст вселенной составляет около 14 млрд лет. Считая, что Земля является чем-то средним, можно предположить, что многие цивилизации могли появляться и исчезать в течение этого времени.

Некоторые из этих цивилизаций были бы старше нас. Они имели бы достаточно времени, чтобы путешествовать к звездам, и основали бы там колонии. Тот факт, что ни один космический корабль, ни один инопланетный артефакт не были обнаружены в нашей Солнечной системе, ни один инопланетный посол не приземлился на Землю, является признаком того, что межзвездная империя не существует, или, по крайней мере, что межзвездные путешествия очень затруднительны. Но это вовсе не означает, как утверждает парадокс Ферми, что инопланетных цивилизаций не существует! То, что мы

до сих пор не обнаружили признаков существования подобных межзвездных империй, не является абсолютным доказательством полного отсутствия империй, а говорит только о том, что они пока не создали такие структуры в окрестности Земли.

Литература

1. MacGowan R.A., Ordway F.I. Intelligence in the Universe. Prentice-Hall, Englewood Cliffs. – NJ, 1966.
2. Malthus T. An Essay on the Principle of Population. – Penguin, New York, 1798.
3. Ricaldo D. Principles of Political Economy and Taxation. – London: John Murray, 1817.
4. Lotka A.J. Elements of physical biology. Williams and Wilkins Co., Baltimore, US, 1925.
5. Volterra V. Fluctuations in the abundance of a species considered mathematically // Nature. – 1926. – 118.
6. Brander J., Taylor M. The simple economics of easter island: a ricardomalthus model of renewable resource use // Am. Econ. Rev. 1988. – 88.
7. Reuveny R., Decker C.S. Easter island: Historical anecdote or warning for the future // Ecological Economics. – 2000. – 35 (2). – 271–87.
8. Pezzey A. The effect of subsistence on collapse and institutional adaptation in population-resource societies // Journal of Development Economics – 2003.
9. Solow R.M. Georgescu-roegen versus solow/stiglitz // Ecological Economics 22, 267–268, 1997. – 22. – P. 267–268.
10. Stiglitz J.E. Georgescu-roegen versus solow/stiglitz // Ecological Economics. – 1997. – 22. – P. 269–270.
11. Georgescu-Roegen N. The Entropy Law and the Economic Process. – Cambridge MA USA: Harvard Univ. Press, 1971.
12. Daly H.E. Georgescu-roegen versus solow/stiglitz. Ecological Economics. – 1997. – 22.
13. Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J. The limits to growth: a report for The Club of Rome's project on the predicament of mankind. – New York : Universe Books, 1972.
14. Brookes L. Energy efficiency and economic fallacies. // Energy Policy, 1990.
15. Khazoom J.D. Economic implications of mandated efficiency standards for household appliances // Energy Journal. – 1980. – 1 (4).
16. Firth R. We, the Tikopia: A Sociological Study of Kinship in Primitive Polynesia. Stanford University Press; Abridged edition, Palo Alto, CA, 1983.
17. Kirsch P. On the road of the winds: an archeological history of the Pacific Islands before European contact. University of California Press, Berkeley, CA, 2000.
18. MacArthur R., Wilson E.O. The Theory of Island Biogeography. – Princeton University Press, 1967.
19. Pianka E.R. On r and k selection // American Naturalist. – 1970. – 104.

20. Johnson K.H., Vogt K.A., Clark H.J., Schmitz O.J., Vogt D.J. Biodiversity and the productivity and stability of ecosystems. Trends in ecology and evolution 11 (9), 1996.

21. McGrady-Steed J., Morin P.J. Biodiversity regulates ecosystem predictability // Nature. 1997. – 390.

22. Kardashev N. The astrophysical aspect of the search for signals from extraterrestrial civilizations // In Extraterrestrial civilizations : problemes of interstellar communication / ed. S.A. Kaplan. – 1971.

23. Purcell E. Radioastronomy and communication through space // Interstellar communication ed. A.G.W. Cameron, Benjamin inc. New York, 1962. – P. 121–143.

24. Von Hoerner S. The general limits of space travel // Interstellar communication, ed. A.G.W. Cameron, Benjamin inc. New York, 1962. – P. 144–159.

25. Bond A. Project Daedalus, BIS. – London, England, 1978.

26. Benedikt E.T. Disintegration barriers to extremely high-speed space travel. Adv. // Astronautical Sci. – 1961. – 6.

27. Nance J. Nuclear pulse space vehicle study. Summary. – 1964. – Vol. 1.

28. Nance J. Nuclear pulse space vehicle study. Conceptual vehicle designs and operational systems. – 1964. – Vol. 3.

29. Nance J. Nuclear pulse space vehicle study. Mission velocity requirements and system comparisons. – 1964. – Vol. 4.

30. Dyson G. Project Orion. Owl Books. – New York, 2002.

31. Von Hoerner S. The Number of Advanced Galactic Civilizations // Communication with Extraterrestrial Intelligence / ed. C. Sagan. – Cambridge MIT Press.

The Possibility of an Interstellar Empire

S. Dumas, Y. Dutil

For as long as people have looked in the sky, they have imagined extraterrestrial civilisations populating the planets around other stars. The idea of interplanetary empires has already entered the realm of science-fiction and many writers of the genre have even elaborated on such empires. The reality may be otherwise. Is it possible that an Alien civilisation could have really established colonies outside its own star system? This paper will make a survey of possible motivations and technological capabilities, within the reality of Physics, for the establishment of an interstellar empire.

ПРОБЛЕМА МОЛЧАНИЯ ВСЕЛЕННОЙ

Величайшая загадка Вселенной

Le silence éternel de ces espaces infinis m'éffraie
Blaise Pascal, 1669

Ю. Н. Ефремов

Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга
МГУ им. М. В. Ломоносова, Россия

Единственный результат, полученный за 50 лет спорадических поисков радиосигналов, которые могли бы посылать разумные существа, живущие в окрестностях ближайших звезд, — это их необнаружение. Имеется много объяснений отсутствия таких сигналов даже при наличии искомого внеземного разума, но в любом случае это не нулевой результат; это означает, что ни одна из планет у соседних звезд не посылает год за годом непрерывных изотропных мощных радиосигналов с единственной, очевидно, задачей — уведомить соседей о существовании на них разума. Техническая возможность приема (и расшифровки?) такого рода сигналов, огромный потенциал их важности и потенциальной полезности для нас не подлежат сомнению. Новые данные о том, что зачатки углеродной жизни рождаются в плотных молекулярных облаках и заносятся на планеты, подтверждают мнение о широкой распространенности во Вселенной жизни, подобной земной. Контакт с другой цивилизацией будет, конечно, величайшим событием в истории человечества.

Введение

Мы дошли до края Вселенной и в пространстве, и во времени. Мы поняли эволюцию звезд, обнаружили вокруг них планеты, но не нашли следов другого разума. Неужели же мы одиноки в пустыне Мира? Эта проблема становится серьезным вызовом всему современному научному знанию. «Вечное молчание этих бесконечных пространств ужасает меня», — писал Блез Паскаль. Нас оно должно пугать еще больше — мы-то ведь уже летаем на другие планеты, мы уже 50 лет ищем голос с неба. Полвека назад телескоп был впервые направлен на небо для поиска сигналов от внеземных цивилизаций. Поиски продолжают, но не приносят результатов.

Проблема молчания Вселенной и, вообще, отсутствия наблюдаемых признаков существования в ней других разумных существ — волнует нас всё больше и больше. Есть ведь один совершенно достоверный факт, указывающий на

возможность разумной жизни в нашей Галактике, — это простой факт нашего собственного существования. Это факт огромного значения, подобно тому, как величайший секрет атомной бомбы состоял уже в том, что сделать ее *можно*. Мы есть и мы разумны, а наша Земля уже «засветилась» в космосе вплоть до расстояний около 70 св. лет благодаря телевидению и радарам, коротковолновое радиоизлучение которых пробивает земную атмосферу — а отклика всё нет. Правда, в последние годы радиосветимость Земли уменьшается, поскольку всё больше коммуникаций становятся кабельными. К тому же военные радары стали быстро изменять частоту своих импульсов.

По мере прогресса науки молчание Вселенной вызывает все больше вопросов. Проблема существования внеземного разума — это теперь не область досужих фантазий, а глубочайшая научная и философская проблема, обсуждение которой помогает лучше понять нас самих.

Как известно, первая научная постановка проблемы связи с внеземными цивилизациями (ВЦ) относится к 1959 г., когда в журнале «Nature» была опубликована статья Дж. Коккони и Ф. Моррисона, в которой они проанализировали возможности радиосвязи с обитателями ближайших звезд. Они показали, что если обитатели других миров используют близкую к нашей технику, то мы уже можем обнаружить их сигналы на волне 21 см, на которой излучают атомы нейтрального водорода (главный компонент межзвездных газовых облаков). Первые эксперименты по поиску сигналов ВЦ были проведены Ф. Дрейком в апреле 1960 г. в Национальной радиоастрономической обсерватории США в Грин Бэнк. Радиотелескоп направлялся на Тау Кита и Эпсилон Эридана — близкие звезды, похожие на Солнце.

Наблюдения этих звезд продолжались три месяца, и, как хорошо известно, сигналы обнаружены не были. С тех пор в различных странах проведены десятки кратковременных сеансов наблюдений в радиодиапазоне, применялись различные стратегии и методики поиска, но результатов нет. Остаются безуспешными и немногочисленные поиски сигналов в других диапазонах спектра электромагнитных излучений. Отсутствуют какие бы то ни было признаки активности других цивилизаций. Ведь всего за несколько миллионов лет для цивилизации, которая технологически развивается с нашими нынешними темпами, будет доступна вся Галактика. В нашей звездной системе десятки миллиардов звезд старше Солнца и Земли на несколько миллиардов лет. Если другие цивилизации существуют, то даже в пределах нашей Солнечной системы были бы явные признаки их присутствия — так где же все ОНИ? Этот вопрос давно задал Энрико Ферми. Как подчеркивает Н.С. Кардашев, парадокс Ферми — это величайшая загадка природы.

Парадокс Ферми

В 1975 г. М. Харт и И.С. Шкловский предложили радикальное решение этого парадокса: «ОНИ» молчат, потому что их просто нет. Однако мнения этих астрономов о причинах данного несуществования весьма различались.

Харт писал, что хотя «возможно, что одна или две цивилизации провозлационировали и разрушили себя в ядерной войне, невероятно, чтобы каждая из 10 000 других цивилизаций сделали то же». «They are not here; therefore they do not exist». Он заключил, что «факт А» — так он назвал отсутствие признаков существования внеземного разума — «является сильным свидетельством того, что мы — первая цивилизация в нашей Галактике [1].

В том же 1975 г. И.С. Шкловский [2] на Зеленчукской конференции по внеземным цивилизациям заключил, что отсутствие «космических чудес» (т. е. наша способность объяснить все наблюдаемые явления и объекты) означат наше одиночество во Вселенной. Молчание космоса означает, что, достигнув определенной стадии развития, разум всегда погибает, — таков был его вывод. Можно, если угодно, назвать Харта оптимистом (мы — самые первые!), а Шкловского — пессимистом...

Это ведь было время ракетно-ядерного противостояния, и грядущая гибель человечества казалась вероятной уже поэтому. Для земной цивилизации возможность дать знать о себе появилась одновременно с возможностью самоуничтожения. Вывод, сделанный И.С. Шкловским, был трагичен — разум является чем-то вроде сверхспециализированного гипертрофированного приспособления вроде клыков саблезубого тигра, помогающего в борьбе за выживание, но причиняющего только вред при изменении внешних условий. Он заключил, что «став на точку зрения, что разум — это только одно из бесчисленных изобретений эволюционного процесса... мы, во-первых, лучше поймем место человека во Вселенной и, во-вторых, объясним, почему не наблюдаются космические чудеса» — так писал Иосиф Самойлович в статье, опубликованной в журнале «Земля и Вселенная» в 1984 г.

Молчание Вселенной можно объяснить и многими другими соображениями. Л. М. Гиндилис [3] приводит сводку 16 возможных причин в своей великолепной (но уже устаревшей в части, касающейся планет вокруг звезд и органических молекул в космосе) монографии. Одна из наиболее вероятных причин была предложена Станиславом Лемом много лет назад. Он отметил, что характерный масштаб технологического развития на Земле — от появления новой теории до создания на ее основе повсеместно распространенного устройства (например, от Максвелла до наших дней) — всего лишь 100–150 лет. Даже если начать отсчет от древних греков, то получается, что прошло лишь около 20 веков, а возраст старейших звезд населения с примерно солнечным содержанием тяжелых элементов больше на семь порядков. Мы не можем представить себе научно-технический потенциал человечества даже через 100 лет, не говоря уже о миллиардах лет, — конечно, если развитие науки будет продолжаться.

Вполне возможно, что мы ИХ (точнее говоря, результаты их деятельности) уже наблюдаем, но не осознаем этого. Именно такой позиции и придерживался Станислав Лем — деятельность внеземного разума может порождать явления, которые мы неизбежно будем считать естественными, если они находятся за горизонтом нашего сегодняшнего знания. Кроме того, периоды с близкой тех-

нологией, длящиеся не более века, должны совпасть во времени, несмотря на возможность различия возрастов цивилизаций в миллиарды лет! Вероятность этого ничтожно мала; тем более мала вероятность найти такую цивилизацию достаточно близко от Солнца. В своем романе «Фиаско» Ст. Лем писал: «Окно контакта – это космический миг. От лучины до керосиновой лампы прошло 16 000 лет, от лампы до лазера – сто лет. Количество информации, необходимой для шага лучина – лазер, может быть приравнено к информации, необходимой для шага от обнаружения наследственного кода к его внедрению в послетомную промышленность».

Итак, отсутствие сигналов от ВЦ не обязательно означает отсутствие их самих. Некому было принять радиопослание другой цивилизации, если оно пришло до середины XX в. Ныне мы принимаем радиоволны от всей (нашей) Вселенной до расстояний в 13 млрд св. лет, ловим нейтринное излучение Солнца (8 световых мин), и уже существуют приемники неуловимых пока гравитационных волн. Невозможно вообразить, чем мы будем располагать через сто лет, и тем более через тысячу. А через пять миллиардов? Ведь подавляющее большинство звезд, а значит и планет, старше нашего Солнца на несколько миллиардов лет.

Если предела знанию нет, возможности более старых цивилизаций нам невозможно вообразить. Они могут управлять движением звезд (о такой возможности давно уже говорил Н.С. Кардашев), творить новые галактики и даже новые вселенные... Почему бы и нет, если и в рамках современной физики можно уже сказать, какова должна быть энергия столкновения двух элементарных частиц, чтобы результирующая черная дыра начала расширяться в другое пространство как новая вселенная. Таким сверхмогучим цивилизациям мы не более интересны, чем нам – муравьи; во всяком случае, мы не пытаемся вступить с ними в контакт. Отдельные явления, которые мы считаем естественными, на самом деле могут быть результатом ИХ деятельности (отходами).

Заметим, что в рассуждениях о краткости окна контакта, периода соизмеримости ИХ и наших знаний о мироздании предполагается неисчерпаемость научного знания. Но если существует, пусть в асимптоте, полная физическая теория – окончательная теория всего, она должна быть справедливой для всей нашей Вселенной (в других бесчисленных вселенных физика совсем другая, но контакт с ними всё равно невозможен), и если продолжится развитие земной цивилизации и науки, мы эту теорию рано или поздно постигнем. Поняв всё в нашей Вселенной, мы будем способны и отличить естественные явления от искусственных.

Конечно, мы должны сделать всё возможное, чтобы найти естественное объяснение. Даже супер-интеллект подчиняется физическим законам нашей Вселенной. Определить природу искусственных объектов и сигналов нелегко. Принцип «презумпции естественности», выдвинутый И. С. Шкловским, справедливо требует до последней крайности искать «естественные» объяснения

объектов и явлений, но не следует его абсолютизировать или превращать в запрет на полет фантазии.

Странные объекты

Однако в поисках вездомного разума нет другого пути, чем продолжать поиски и исследования всех странных объектов, всегда имея в виду возможность того, что мы можем столкнуться со следами деятельности разумных субъектов [4, 5]. При этом надо помнить, что природа и предназначение такого рода объектов или явлений могут быть полностью вне нашего круга знаний и понятий – так что надо как можно больше внимания уделять феноменам, которые сейчас объяснить мы не можем. Окно контакта открывается ненадолго.

Как писал Ст. Лем, если бы мы увидели до 1939 г. ядерный взрыв на Луне, мы не смогли бы объяснить его иначе, как падением астероида или извержением вулкана...

Что может заставить ДРУГИХ непрерывно посылать во все стороны радиосигналы, сообщающие об их существовании? Мы этого не делаем и не собираемся делать в обозримом будущем – наверное, и ОНИ тоже... Поиски каких-то непреднамеренных признаков их существования являются необходимыми. Когда-то я высказал И.С. Шкловскому идею, что надеяться можно только на случайный перехват узконаправленного «разговора» двух цивилизаций, и поэтому надо обращать внимание на необычные радиоисточники в диаметрально противоположных точках неба, Иосиф Самойлович только печально улыбнулся. Ведь это означало бы, что существует целых три цивилизации и находятся они на одной прямой.

Итак, не следует рассчитывать на то, что ИХ сигналы предназначены цивилизациям, находящимся на столь низком уровне, как наша. Мы можем рассмотреть гипотезу о том, что некоторые явления и объекты могут быть искусственными, даже не имея каких-либо предположений об их предназначении. Конечно же, мы должны применять наши современные знания, чтобы объяснить всё сущее; это единственный путь развития науки. Если окончательная теория всего будет постигнута (никто не знает, существует ли она), каждое явление, необъяснимое этой теорией, можно будет считать искусственным. Пока же мы должны обращать особое внимание на странные объекты, происхождение которых мы не можем объяснить.

Экстремальный случай такой ситуации могут являть редкие правильные звездные конфигурации, для возникновения которых не существует приемлемого объяснения. Например, существуют две гигантские звездные дуги в Большом Магеллановом облаке (БМО) и круглый звездный комплекс в спиральной галактике NGC 6946 (рис. 1–4). Каково происхождение этих структур, почему они обрисовывают дуги правильных окружностей – мы не знаем.

Научно-фантастическое объяснение дуг молодых звезд предложил В.А. Лефевр [5] – русско-американский психолог, смолоду любитель астрономии. Он отметил, что есть глубинное сходство между характеристика-

ми черных дыр и психической деятельностью человека, в частности, жестко разделены внутренний и внешний мир обих явлений. Черные дыры, по мнению Лефевра, могут быть носителями информации или даже психики, и единственный способ размножения для них – способствовать появлению массивных звезд, каждая из которых, согласно теории, должна в конце своей эволюции стать новой черной дырой. Для нас этот процесс должен, конечно, выглядеть как естественный, но вполне возможно, что в результате инициированного («искусственного») образования массивных звезд могут возникнуть редкие звездные комплексы необычно правильной конфигурации. Можно пофантазировать дальше и предположить, что в таких искусственных звездных комплексах звезды малых масс (которые не превращаются в черные дыры) могут отсутствовать «за ненадобностью».

Западная граница комплекса молодых звезд и скоплений в спиральной галактике NGC 6946 образует правильную дугу окружности протяженностью в 135 градусов (см. рис. 3) – и объяснения этому не видно. Внутри этого комплекса имеется сверхгигантское молодое скопление. И в других галактиках с активным звездообразованием такие сверхгигантские скопления изредка встречаются, но весь комплекс в NGC 6946 уникален. Механизм, благодаря которому его западный край представляет дугу правильной окружности, неясен.

Две правильные дуги молодых звезд расположены по соседству друг с другом в ближайшей галактике – БМО. Теоретически звездные дуги в БМО могли бы возникнуть из плотного газа, нагребенного каким-то источником давления в их центрах, но такого источника найти не удалось. Странно также, что обе известные нам дуги молодых звезд расположены в одной и той же галактике и по соседству друг с другом, правильность их формы также уникальна.

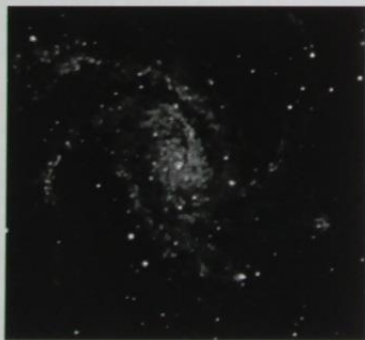


Рис. 1. Спиральная галактика NGC 6946



Рис. 2. Пекулярный звездный комплекс в NGC 6946. Большинство объектов – звездные скопления

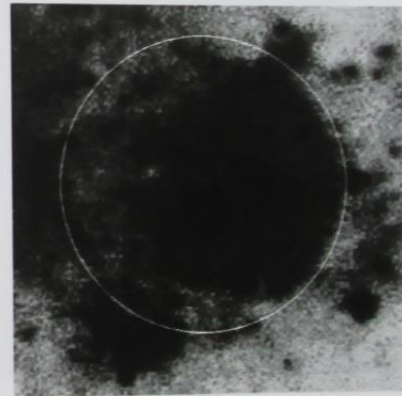


Рис. 3. Пекулярный звездный комплекс в NGC 6946. Его западная граница (справа) имеет форму дуги правильной окружности, диаметр которой около 700 пк



Рис. 4. Спутник нашей Галактики – неправильная галактика Большое Магелланово Облако. Звездные дуги расположены на северо-восточной (слева сверху) окраине БМО



Рис. 5. Эти звездные дуги являются частями правильных окружностей. Судя по присутствию облаков ионизованного водорода, меньшая дуга моложе.

Протяженность большей дуги около 1 кпк

Располагающиеся по правильной дуге окружности звездные комплексы в обеих галактиках удивляют еще и тем, что они не могут быть проекциями сферических оболочек, поскольку их радиусы много больше толщины звездных и тем более газовых дисков галактик, между тем будь они в плоскости

дисков галактик, их форма была бы эллиптической, а не круговой, поскольку на плоскости обеих галактик мы смотрим под заметным углом. Попытки объяснения происхождения этих структур были предприняты в серии работ автора и его коллег, но все они не являются убедительными.

Так или иначе, необходимо не только (а может быть, и не столько) искать маяки или передатчики, специально созданные ИМИ для оповещения окрестностей о своем существовании, а обращать пристальное внимание на все необычные структуры или излучения, приходящие из космоса.

Братья по разуму?

Однако поиски братьев не только по разуму, но и по химии, а также физической организации вполне обоснованы, и, видимо, в обозримом будущем только они имеют шансы на успех. Троюродных братьев, которые намного старше нас, например, тех, кто перенес свой ум в суперсверхкомпьютеры или черные дыры, мы, вероятно, просто не в состоянии опознать, даже если они и существуют.

Повторим, что поиски сигналов даже от тех, кто близок к нам и в пространстве, и по уровню развития и кто живет, стало быть, на планетах, могут быть успешными, лишь только если ОНИ занимаются активным и бескорыстным распространением «политических и научных знаний» или хотя бы посылают сигналы, искусственность которых очевидна.

Вероятность этого вряд ли велика, хотя с сильными аргументами в ее пользу выступал один из пионеров проблемы Ф. Дрейк. Он отмечал, что вероятность выжить больше у той цивилизации, в которой альтруистические настроения победили. Это очень важное соображение, основанное на опыте эволюции жизни на Земле: выживали и развивались дальше те сообщества, в которых существовала взаимопомощь.

Мечта о Великом кольце, сообществе гуманных (и, хотелось бы пометчать, гуманоидных) цивилизаций нашей Галактики, непрестанно обменивающихся информацией, – мечта, воспетая в романе И.А. Ефремова «Туманность Андромеды», – захватывала воображение любознательной молодежи полсотни лет назад. Отметим, что этот писатель (однофамилец автора) был специалистом – палеонтологом; к его доводам за то, что внесменные разумные существа не могут слишком сильно отличаться от людей (развернутым, например, в рассказе «Звездные корабли») необходимо прислушаться.

Среди аргументов, подтверждающих это, – исключительные свойства углерода, главного носителя земной жизни и нашего разума. Атомы углерода способны соединяться в длинные цепи и кольца, и поэтому нам известно несколько сотен тысяч соединений углерода (сравнительно с 12 000 соединений всех других элементов, вместе взятых). Соединения углерода наблюдаются во всех газовых облаках во всей Вселенной. С начала XX в. известно, что именно атомы углерода обладают способностью соединяться в длинные цепи или кольца, с которыми могут связываться атомы других соединений. Поэтому на-

считываются сотни тысяч соединений углерода, тогда как количество соединений всех других элементов, взятых вместе, не превышает десяти-двадцати тысяч [6]. Хорошо известны и особые свойства воды, благоприятные для жизни.

Органические молекулы в космосе

Не так давно было доказано, что загадочные полосы излучения, найденные на орбитальном телескопе им. Спитцера в инфракрасном излучении пылевых облаков, наблюдающихся повсеместно как в нашей Вселенной, так и в других галактиках, в том числе и на расстояниях в миллиарды световых лет, принадлежат органическим молекулам – полициклическим ароматическим углеводородам (Polycyclic Aromatic Hydrocarbonates, PAH). Сходство спектров было доказано в наземных экспериментах, в которых эти молекулы помещались в условия, сходные с имеющимися в межзвездном пространстве. Это открытие специалистов NASA в сущности означает, что предпосылки к зарождению жизни существуют повсюду во Вселенной.

В молекулах PAH присутствуют и атомы азота – об этом говорят особенности спектров PAH в области 6.2 нм. [7]. Но полициклические ароматические углеводороды, включающие азот, – это молекулы жизни! Из такого рода молекул состоит и ДНК. Эти молекулы не только повсеместно распространены во Вселенной, но они и устойчивы во всевозможном космическом окружении. При аккумуляции планет из пылевых дисков вокруг новорожденных звезд процесс, не только рассчитанный теоретически, но недавно ставший доступным прямым наблюдениям – эти молекулы сохраняются. Необходимый ингредиент для возникновения жизни имеется повсюду!

Любуясь тугими завитками спиральных ветвей, в которых собраны молодые звезды в галактиках (рис. 6), мы всегда видим окаймляющие их темные пылевые полосы, совпадающие с положением облаков атомарного и молекулярного водорода. Теперь мы знаем, что в них концентрируются не только пылинки кремнезема и сажи, но и молекулы PAH. Судя по составу и размеру частиц, можно говорить не о межзвездной пыли, но о межзвездном дыме.

Органические молекулы начали обнаруживать в космосе с конца 1960-х гг., а в настоящее время их известно около 120 видов; крупнейшей из них является HC_{11}N . Аламандола [8] отмечает, что выявляющаяся связь между молекулами PAH и астробиологией является важной частью «полной революции в нашем понимании химии и биохимии космоса». В холодных молекулярных облаках, внутри которых рождаются планеты и звезды, межзвездные молекулы вморожены в частицы льда, состоящие из воды, метанола, аммиака, окиси и двуокиси углерода и PAH. В этих облаках, особенно вблизи областей образования звезд и планет, эти льдинки подвергаются воздействию ультрафиолетового излучения и космических лучей, и на их поверхности формируются намного более сложные молекулы, многие из которых интересны для биогенеза. При образовании звезд и планет многие из этих составляющих становятся встроенными в кометы и метеориты, которые в конце концов засевают



Рис. 6. Туманность Андромеды (M 31) – ближайшая к нам спиральная галактика: вверху – в синих лучах, внизу – в ИК-области, где светятся молекулы PAH. Вдоль звездных спиральных рукавов тянутся темные вверх (поглощающие свет звезд) и светлые вниз газопылевые полосы

первичные планеты, где они принимают участие в *the budding chemistry* на этих молодых мирах» [8].

Возрождение гипотезы панспермии

Успехи астрономии двух последних десятилетий приводят к важнейшим выводам, которые в «экстремистском» варианте можно сформулировать так: 1) возникновение весьма сложных органических молекул – неотъемлемая часть самого процесса рождения звезд и планет; 2) имеются все условия для того, чтобы эти молекулы эволюционировали в простейшие биологические структуры; 3) кометы и метеориты способны доставить эти структуры на уже готовые планеты; 4) всюду во Вселенной жизнь построена на основе углерода.

Иными словами, жизнь на Земле возникла из космоса! Старая гипотеза панспермии, выдвинутая С. Аррениусом в начале XX в., получает всё больше подтверждений, хотя еще недавно отвергалась большинством специалистов. Среди ее сторонников были, однако, Фред Хойл и его молодой сотрудник Викрамсинг, остающийся ее горячим пропагандистом [9, 10].

Среди аргументов в защиту панспермии – обнаружение в углеродистом метеорите *Murchison* микроскопических структур, которые, как недавно подтвердил Гувер [11], по всей видимости, являются минерализованными останками микробов. С этим выводом согласен и директор Палеонтологического музея РАН акад. А.Ю. Розанов [12]. Впрочем, в свете выводов Алламандола [8], приведенных выше, эта находка является вполне естественной.

Свою недавнюю статью Викрамасинге [10] заканчивает следующими словами: «Хотя избыток специализации обусловлен обширностью информации в каждой отдельной дисциплине, она приводит к тому, что междисциплинарные исследования встречают обескураживающее отношение. Это один из факторов, которые препятствуют принятию космических теорий жизни. Для астрономов ассоциация бактерий с межзвездными пылинками представляется, понятно, странной, как и для биологов вторжение астрономии в их дисциплину...».

Другой разум?

Итак, для возникновения жизни не были нужны специальные условия на ранней Земле; в известном смысле старая гипотеза панспермии становится доказанной. Универсальные и уникальные свойства молекул РАН делают теперь в высшей степени вероятным, что повсюду во Вселенной жизнь складывалась на их основе, в том числе и разумная жизнь.

Возможно, что существа, подобные нам, были только первым этапом, и нам на смену придут порожденные нами компьютеры. Хотелось бы, однако, надеяться, что они навсегда останутся нашими слугами, хотя бы и более могущественными, чем даже джин из бутылки.

Но если жизнь может быть повсеместна, почему же мы не видим кричащих признаков ее существования? Молчание Вселенной становится все более интригующим. Поиски братьев не только по разуму, но и по химии и физическому устройству становятся еще более обоснованными, и, повидимому, в обозримом будущем только они имеют шансы на успех. Братьев «много старше нас», скажем, уже переселивших свой разум в суперсверхкомпьютеры или в черные облака, мы, вероятно, просто не способны распознать...

Однако, наверное, есть носители разума, бесконечно далекие от нас по своей организации, и это не обязательно целые цивилизации. В провидческой книге «Сумма технологии», изданной еще в 1968 г., Ст. Лем подробно обсуждает возможность небелковых форм жизни. Хорошо известен и роман замечательного астрофизика Ф. Хойла «Черное облако», в котором описывается взаимодействие с обитателями Земли разумного плазменно-пылевого облака, подошедшего к Солнечной системе.

В 1980 г. американский физик Ф. Дайсон отметил [13], что сущность жизни связана с организацией, а не субстанцией и что за определенное время жизнь приспосабливается к любой окружающей среде. Необходим только достаточный запас вещества и энергии. Расход энергии пропорционален квадрату температуры, так что холодная среда более благоприятна для сложных

форм жизни. Жизнь зависит еще и от отношения сигнал/шум, и чем холоднее среда, тем ниже фон и экономнее расход энергии. «Черное облако» Хойла как раз имеет температуру немногим выше абсолютного нуля. Не только молекулы имеют сложную структуру; вещество и энергия плюс структурность есть и у плазмы. Вмороженные магнитные поля, гидромагнитное динамо на больших протяженностях или же турбулентность на меньших – все это, как и способность к самоорганизации, свойства плазмы, ионизованного газа.

Разумеется, принцип «презумпции естественности» повелевает до последней крайности искать естественное объяснение. Ведь и сверхразум, материальным носителем которого могут быть небиологические структуры, подчиняется физическим законам нашей Вселенной. Опознать искусственные объекты и сигналы нелегко.

Заключение

Нам необходимо искать именно братьев (пусть троюродных) по разуму, обитателей планет, искать тех, кто вероятнее всего похож на нас. Следует вновь обратить особое внимание на Земле, похожие на Солнце, особенно те, вокруг которых найдены планеты, схожие с Землей. Необходимо, например, вернуться к Тау Кита и Эпсилон Эридана, но теперь уже надолго и с большей чувствительностью. Это становится теперь возможным, поскольку вступает в строй система радиотелескопов Аллена, специально предназначенная для поисков ИХ сигналов.

Следовало бы обсудить и возможности обнаружения неестественных радиосигналов от звездных скоплений. Судя по нынешним темпам развития науки, через несколько веков и мы полетим к ближайшим звездам. Вероятно, узконаправленные радиосигналы будут повсеместно и долго использоваться для связи с межзвездными кораблями. В звездных скоплениях расстояния между звездами составляют световые недели и месяцы (а не долгие годы и века, как до ближайших к Солнцу звезд), а возраст звезд в них почти одинаков. Если в звездных скоплениях зарождаются цивилизации, они могут развиваться синхронно как вследствие близости возрастов, так и потому, что имеют возможность достаточно оперативно обмениваться значимой информацией. Если мощность сигнала завышена или рассчитана на связь с звездолетами этих цивилизаций, а мы оказались на продолжении ИХ радиолуча, то, направив на такое скопление радиотелескоп, мы можем надеяться уже сейчас подслушать чужой разговор. С использованием системы радиотелескопов Аллена стало бы возможным годами держать под наблюдением как близкие звездные скопления, так и противоположные им точки неба.

Итак, успехи астрономии двух последних десятилетий приводят к следующим важнейшим выводам:

- возникновение весьма сложных органических молекул – неотъемлемая часть самого процесса рождения звезд и планет;

– имеются все условия для того, чтобы эти молекулы дали начало простейшим биологическим структурам;

– кометы и метеориты способны доставить эти структуры и на уже готовые планеты;

– всюду во Вселенной жизнь должна быть построена на основе углерода.

Лучше, конечно, сказать «первичная жизнь», но, как уже говорилось, вряд ли мы сможем достоверно обнаружить разум, который уже переселился в электронные или плазменные структуры. И тем более в чёрные дыры... Активность такого разума мы не можем не принимать за естественные процессы или явления. И отметим еще раз, что принцип «презюмции естественности», четко сформулированный И.С. Шкловским, должен соблюдаться до последней крайности, пока речь идет о научной работе, а не о научной фантастике.

Обнаружение другого разума будет величайшим событием в истории человечества, которое изменит нашу судьбу. Скорее всего, это случится в процессе обычных астрономических наблюдений – когда они станут неизмеримо более масштабными и по времени, охваченном наблюдениями, и по своим техническим средствам. Весь спектр электромагнитных излучений стал нам доступен полностью лишь пятьдесят лет назад. Число больших (по нашим теперешним меркам) телескопов на Земле, как радио, так и оптических, не достигает пока и полусотни, и они отнюдь не используются для длительного слежения за одним и тем же объектом. Мы еще в самом начале пути к звездам.

Однако необходимо отметить, что пример современной России говорит о том, что общество, в котором единственной движущей силой становится максимизация доходов, прекращает заботу о развитии фундаментальной науки, плоды которой оборачиваются прибылью лишь через 20 или 50 лет [14].

Наше правительство нередко недооценивает значимость научных достижений, считая ненужным финансировать фундаментальную науку. Победа таких настроений и в других странах может привести к стагнации в мировом масштабе и неспособности человечества ответить на вызовы будущего. Можно утверждать, что развитие фундаментальной, не ориентированной на приложения науки является условием выживания человечества. Наука не может существовать, не отвечая на задаваемые ее собственным развитием все новые вопросы. Отсутствие свежей информации о мире в конце концов привело бы к регрессу науки и образования, а затем и к потере технологии. Мы в России, кажется, уже стоим в начале этого процесса.

Если развитие науки прекращается со временем и в других цивилизациях, неудивительно, что мы не видим признаков их существования. Они либо вымерли, либо вернулись в первобытное состояние.

Перед нами ведь один-единственный пример развития планетарной цивилизации, и, исходя из тенденций этого развития в 1970-е годы, И.С. Шкловский пришел к выводу, что всепланетная термоядерная война может быть универсальной причиной гибели цивилизаций, овладевших теми же источниками энергии, что питают звезды. Ныне же остановка развития науки на нашей пла-

нете и последующая деградация земной цивилизации представляется более вероятной, чем всемирная ядерная война.

Литература

1. Hart M. N. An Explanation For Absence of Extraterrestrials on Earth // Quart. Journ. RAS. – 1975. – Vol. 16. – P. 128–135.
2. Шкловский И. С. О возможной уникальности разумной жизни во Вселенной // Вопр. философии. – 1976. – № 9. – С. 80 – 93.
3. Гиндилис Л. М. SETI: поиск внеземного разума. – М.: Физматлит, 2004.
4. Кардашев Н. С. // Вопр. философии. – 1977. № 12. – С. 43.
5. Lefebvre, V. A., Efremov Yu. N. // Cosmic Intelligence and Black Holes <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0005546v1>, 2000.
6. Ичас М. И. О природе живого. – М.: Мир, 1994. – С. 41.
7. Hudgins D. M., Bauschlicher C. W., Allamandola L. J. // Variations in the Peak Position of the 6.2 μm Interstellar Emission Feature: A Tracer of N in the Interstellar Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Population // Astroph. J. – 2005. – 632. – P. 316.
8. Allamandola L. J. PAHs and the Universe / C. Joblin and A.G.G.M. Tielens (eds) // EAS Publications Series. – 2011. – 46. – P. 305–317.
9. Hoyle F., Wickramasinghe N. C. Astronomical Origins of Life – Steps towards panspermia. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2000.
10. Wickramasinghe N. C. Extraterrestrial Life and Censorship. – 2011. – ArXiv: 1104.1314.
11. Hoover R. B. Fossils of Cyanobacteria in CH Carbonaceous Meteorites: Implications to Life on Comets, Europa, and Enceladus // Journal of Cosmology. – 2011. – Vol. 13.
12. Hoover R. B. // Perspectives in Astrobiology. / eds: R.B. Hoover, A.Y. Rozanov, R.R. Paepe. – IOS Press Amsterdam, 2005.
13. Дэйсон Ф. // Природа. – 1980. – № 8. – С. 60.
14. Ефремов Ю. Н. Так где же ОНИ? // Бюлл. САО РАН. – 2007. – Т. 60–61. – С. 158–161.

The Greatest Mystery of the Universe

Yu. Efremov

The problem of silence of the Universe, no signs of existence of other sentient beings, is the most important of all the natural sciences today. We reached the edge of the Universe in space and time, we understood why the stars shine, found planets around them – but found no traces of other minds. There is however one very credible evidence that indicates the possibility of intelligent life in our galaxy – it is a fact of our own existence. As it is known, the greatest secret of the atomic bomb was simply that it is possible to create it. We are and we are intelligent, our Earth is "lit up" in space up to a distance of about 70 light-years – thanks to television and radar – but we do not hear anybody's signals. The problem defies all modern scientific knowledge. It is difficult to avoid the conclusion that we have – yet – but at the very beginning and still poorly understand the physics of our Universe, and/or the possible nature of the other carriers of the Mind. And if we are indeed alone, it is even more confusing. The problem of the existence of extraterrestrial intelligence – is no longer the domain of idle fancies, it is profound scientific and philosophical problem, a discussion that helps us better understand ourselves.

Труды Института прикладной астрономии РАН, вып. 22, 2011

МЕТІ – АКТИВНЫЙ SETI

МЕТІ: Послания внеземным цивилизациям

А. Л. Зайцев

Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, Россия

Исходя из положения о тесной взаимосвязанности процессов передачи и поиска разумных сигналов во Вселенной, излагается методология синтеза межзвёздных радиопосланий. Представлен «Список МЕТІ», содержащий 10 вопросов и варианты возможных ответов.

Введение

Послания внеземным цивилизациям (МЕТІ – Messaging to Extra-Terrestrial Intelligence) представляют собой кардинально новый вид человеческой деятельности. Некоторые могут возразить, что «Поиски внеземных цивилизаций» (SETI – Search for Extra-Terrestrial Intelligence) тоже кардинально новый вид. Да, новый, но не кардинально – люди всегда смотрели на небо в надежде обнаружить там что-то неизвестное, будь то естественного или искусственного происхождения. А вот целенаправленные усилия, преследующие своей целью превращение земной цивилизации в объект возможного обнаружения предполагаемыми внеземными цивилизациями (ВЦ). Да, такого рода деятельность является принципиально новой.

Наука, известная как SETI, имеет дело с поисками посланий *от* инопланетян. Наука МЕТІ связана с созданием посланий *для* инопланетян. Занимающимся SETI адресуется лишь частный вопрос: есть ли смысл в Active SETI? Иными словами, насколько рационально для успехов поисков излучать сигналы с целью привлечения внимания ВЦ. В отличие от Active SETI МЕТІ преследует не локальную, а глобальную цель – преодолеть «Великое молчание Вселенной», неся инопланетянам долгожданную весть: вы не одни!

Краткая история МЕТІ

50 лет поисков искусственных сигналов во Вселенной по многочисленным программам SETI пока, к сожалению, не принесли результатов. Причин тут несколько, и они подробно проанализированы в соответствующих статьях и книгах. В этом смысле МЕТІ находится в несколько более выигрышном положении, нежели SETI. Ведь пройдя свою половину пути, а именно грамотно синтезировав, правильно выбрав адрес и отправив межзвёздное послание, мы

уже можем говорить о результате. То есть о том, что мы сделали все от нас зависящее в деле наведения радиомоста между земной цивилизацией и предполагаемой ВЦ. И что теперь только от «них» зависит, будет ли обнаружено наше послание и предприняты попытки отправить ответ с целью установления контакта.

Первые межзвездные послания, так же как и первые эксперименты по поиску сигналов, связаны с именем Франка Дрейка. В 1972 г. он совместно с Карлом Саганом и другими астрономами создали пластинку «Pioneer Plaque» [1], а в 1977-м – диск «Voyager Golden Record» [2] (рис. 1).

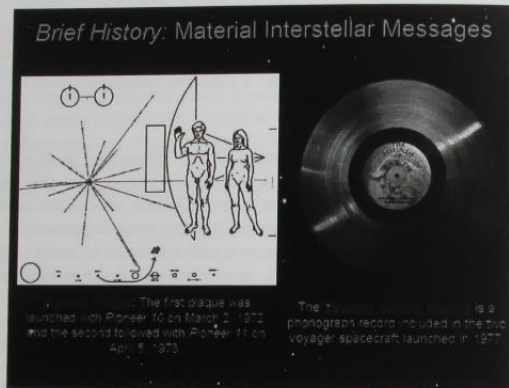


Рис. 1. Первые межзвездные послания, отправленные за пределы Солнечной системы на борту американских космических аппаратов «Пионер 10», «Пионер 11», «Вояджер 1» и «Вояджер 2»

Первое межзвездное радиопослание «Arecibo Message» было также создано Дрейком и Саганом. Оно было отправлено 16 ноября 1974 г. с помощью радиолокационного телескопа, имеющего антенну диаметром 1000 футов (305 м), и передатчика со средней мощностью 500 кВт на волне 12.6 см. Радиопослания четырех остальных проектов – «Cosmic Call 1999», «Teen Age Message 2001», «Cosmic Call 2003» и «A Message From Earth 2008» – были переданы в космос с помощью Евпаторийского планетного радиолокатора (рис. 2).



Рис. 2. Первые межзвездные радиопослания

Таким образом, за всю историю земной цивилизации было разработано и доведено до практической реализации лишь пять проектов передачи межзвездных радиопосланий (МРП). В табл. 1 эти пять МРП упорядочены по датам первых сеансов излучения (всего состоялось 17 таких сеансов). Символами Т и Е здесь обозначены соответственно суммарная длительность всех сеансов каждого из МРП и излученная за это время энергия, определяющая дальность обнаружения.

Arecibo Message («Аресибское радиопослание») имело размер 1679 бит и было отправлено к шаровому звёздному скоплению М13. Послание описано в [3] и [4], поэтому мы на нём не останавливаемся.

Спустя 25 лет отправка радиопосланий была возобновлена, но уже с помощью Евпаторийского планетного радиолокатора. В 1999 г. в космос к четырем звездам солнечного типа было передано МРП Cosmic Call 1 («Космический зов 1») [5]. Оно представляло собой своеобразную энциклопедию земных представлений о самих себе и окружающем мире, написанную на специальном языке Lexicon, разработанном канадцами Ивэном Дутилом и Стефаном Дюма. Кроме того, в состав СС-1999 были включены сведения о самом проекте и его участниках, а также Аресибское послание. Размер «Энциклопедии» составил 370 967 бит.

В 2001 г. к шести звездам солнечного типа было отправлено «Детское радиопослание» («Teen Age Message») [6]. Здесь в первый и, к сожалению, единственный, раз была применена предложенная нами и описанная ниже трёхзвенная структура – сначала излучалось монохроматическое зондирующее колебание, затем передавалась аналоговая инфор-

Таблица 1. Отправленные межзвездные радиопослания

Название МРП	«Аресибское радиопослание»	«Космический зов 1»	«Детское радиопослание»	«Космический зов 2»	A Message From Earth
Дата	16.11.1974	24.05, 30.06, 01.07.1999	29.08, 03.09, 04.09.2001	06.07.2003	09.10.2008
Тип МРП	Первое (цифровое)	Первое многостраничное	Первое аналоговое и цифровое	Первое международное	Первое коллективное
Авторы	Ф. Дрейк, К. Саган и др.	А.Л. Зайцев, Р. Браастад, Чейфер, С. Дюма, И. Дутыл и др.	Пшеничнер, Филиппова, Гиндилис, Зайцев и др.	А.Л. Зайцев, Р. Браастад, Чейфер, С. Дюма, И. Дутыл и др.	Madgett, Coombs, Levine, А.Л. Зайцев и др.
Радар	Аресибо	Евпатория	Евпатория	Евпатория	Евпатория
Сеансы	1	4	6	5	1
T, мин	3	960	366	900	240
E, МДж	83	8640	2200	8100	1440

мация (музыка) и наконец цифровая информация. В качестве источника аналогового колебания использовался электромузыкальный инструмент терменвокс, генерирующий квазимонохроматические сигналы с низким уровнем обертонов, что облегчает обнаружение и «восприятие» таких сигналов на межзвездных расстояниях [7]. Цифровая часть состоит из 28 двоичных изображений с суммарным размером 648 220 бит.

В 2003 г. к пяти звездам солнечного типа было отправлено МРП Cosmic Call 2 [8]. Это было первое интернациональное МРП – в него были включены фрагменты всех трёх предыдущих радиопосланий, авторами которых были граждане США, Канады и России. Мы считаем, что именно такими и должны быть все будущие письма с Земли.

Радиопослание «A Message From Earth» (AMFE) было подготовлено и отправлено из Евпатории в октябре 2008 г. [9]. Его отличительной чертой было то, что создавалось оно в Интернете большим числом участников социальной сети Bebo. 501 лучшее сообщение было выбрано путем взв-голосования для последующей радиопередачи. Впервые идея использования Интернета и специального web-сайта для компоновки МРП всеми желающими была предложена в 2002 г. в тезисах «Project METI@home: Messages to ETI from home» [10].

Немного особняком стоят ещё два МРП – «Across the Universe 2008» [11] и «Hello From Earth 2009» [12], которые были отправлены с помощью 70-метровых антенн NASA, находящихся в Robledo, Spain and Canberra, Australia и входящих в состав Deep Space Network. Критике первого из упомянутых МРП посвящен один из разделов статьи [7], у второго также есть недостатки. Главный дефект этих МРП – отсутствие квалифицированных научно-технических обоснований данных проектов.

В табл. 2 содержатся основные сведения о 17 сеансах передачи этих пяти земных радиопосланий. В последнем столбце табл. 2 указано время, когда может закончиться эра «Великого молчания Вселенной» для тех, «других», в том случае, если они там есть и если им выпадет такой «счастливым случай» обнаружить разумные сигналы нашей земной цивилизации. По сути, с этого момента «они» начинают жить в другой, обитаемой, Вселенной и этот перелом, причем не только в их сознании, но и в самой Вселенной производится нами – нашим разумом и нашей доброй волей.

Таблица 2. Детали проведенных сеансов передачи МРП

Послание	Адресат	Созвездие	Дата отправки	R', св. год	Дата прибытия
AM	NGC 6205	Hercules	Nov 16, 1974	~ 25000	~ 26974
CC-1	HD 186408	Cygnus	May 24, 1999	70.5	Nov 2069
CC-1	HD 190406	Sagitta	Jun 30, 1999	57.6	Feb 2057
CC-1	HD 178428	Sagitta	Jun 30, 1999	68.3	Oct 2067
CC-1	HD 190360	Cygnus	Jul 1, 1999	51.8	Apr 2051
TAM	HD 197076	Delphinus	Aug 29, 2001	68.5	Feb 2070
TAM	HD 95128	Ursa Major	Sep 3, 2001	45.9	Jul 2047
TAM	HD 50692	Gemini	Sep 3, 2001	56.3	Dec 2057
TAM	HD 126053	Virgo	Sep 3, 2001	57.4	Jan 2059
TAM	HD 76151	Hydra	Sep 4, 2001	55.7	May 2057
TAM	HD 193664	Draco	Sep 4, 2001	57.4	Jan 2059
CC-2	HIP 4872	Cassiopeia	Jul 6, 2003	32.8	Apr 2036
CC-2	HD 245409	Orion	Jul 6, 2003	37.1	Aug 2040
CC-2	HD 75732	Cancer	Jul 6, 2003	40.9	May 2044
CC-2	HD 10307	Andromeda	Jul 6, 2003	41.2	Sep 2044
CC-2	HD 95128	Ursa Major	Jul 6, 2003	45.9	May 2049
AMFE	HIP 74995	Libra	Oct 9, 2008	20.3	Feb 2029

*R – расстояние до звезд.

Взаимосвязанность SETI и METI

Поиски разумных сигналов из космоса нацелены в прошлое. В самом деле, мы ищем то, что было отправлено нам (если действительно было отправлено) много лет тому назад, и ищем в том месте, где обследуемая нами экзопланета находилась в момент отправки послания в наш адрес (рис. 3). Ведь звездное небо, наблюдаемое нами, есть нечто виртуальное в том смысле, что мы видим небесные объекты там, где они находились, когда испускали тот свет, что сейчас достиг Земли. И в данный момент каждое из наблюдаемых нами небесных тел находится чуть-чуть в другом месте. Это «чуть-чуть» связано с так называемым собственным движением небесных тел *PM* и определяется как произведение *PM* данного небесного тела на расстояние до него *D*.

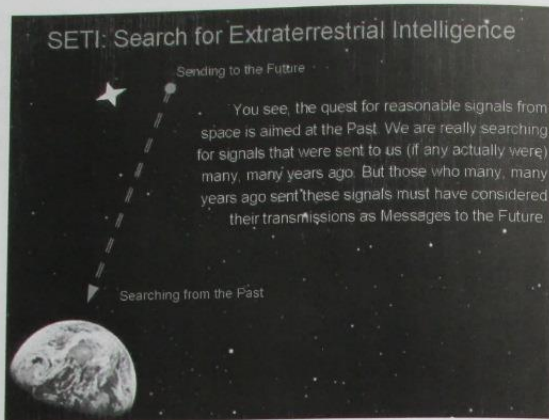


Рис. 3. Поиски разумных сигналов из космоса, которые приходят из прошлого времени и местоположения

Передача разумных сигналов в адрес предполагаемых внеземных цивилизаций нацелена в будущее – адресаты обнаружат наше послание (если действительно обнаружат) лишь много-много лет спустя, находясь уже в том месте, где их сейчас нет, но где они будут находиться к моменту прихода наших сигналов. Это обстоятельство необходимо учитывать, наводя луч нашего передатчика с упреждением относительно их нынешнего местоположения опять же на величину этого «чуть-чуть», но взятого с обратным знаком (рис. 4).

Следовательно, мы с полным основанием можем сказать, что, осуществляя как поиски (SETI), так и передачу (METI) разумных сигналов, мы сами оказываемся как раз между прошлым и будущим, а именно в настоящем! Весьма символично, что в данном случае «работают» оба значения понятия «настоящее», которое, по крайней мере в русском языке, трактуется двояко: и как «настоящее время», и как нечто «настоящее», т. е. ценное и стоящее.

В самом деле, если цивилизация, будь то земная, или внеземная, достигает такого уровня интеллектуального и технологического развития, что начинает ощущать потребность и заниматься не только поисками разумных сигналов других цивилизаций, но также и чисто мессианской, бескорыстной деятельностью, направленной на заботу о том, чтобы и другие цивилизации получили потенциальную возможность узнать вдруг, что они не одиноки в бескрайней Вселенной, то такая социально зрелая цивилизация вполне достойна называться настоящей! И это, как уже отмечалось выше, имеет место по двум взаимосвязанным причинам, потому что, проводя как SETI, так и METI, эта цивилизация оказывается между прошлым и будущим, а именно в настоящем

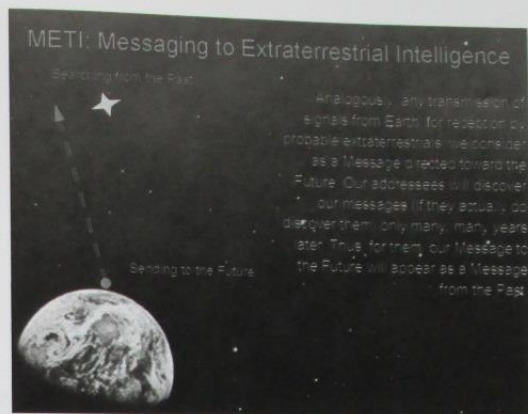


Рис. 4. Передача разумных сигналов в адрес предполагаемых внеземных цивилизаций нацелена в будущее время и в будущее местоположение

и, проявляя альтруистическую, бескорыстную, не сулящую никаких сиоимунных выгод, заботу о «других», данная цивилизация занимается поистине достойным, настоящим делом!

Оптическая система передачи и поиска разумных сигналов во Вселенной состоит из линз или зеркал, фокусирующих либо мощный луч лазера (при передаче), либо излучение, приходящее из космоса (при приеме). Учет собственного движения небесного тела осуществляется тем, что в режиме «Поиска» мы наводим телескоп на видимое положение этого небесного тела, а при переходе в режим «Передача» вводим поправку на наведение, равную удвоенному произведению *PM* на расстояние, чтобы «попасть» туда, где это небесное тело будет находиться в момент прихода наших сигналов.

В случае радиосистемы передачи и поиска разумных сигналов все сказанное остаётся в силе, за исключением, быть может, необходимости перенацеливания антенны при смене режимов «Излучение» и «Поиски», поскольку ширина луча даже наиболее крупных радиодантени существенно больше поправки на наведение. Поэтому антенну можно непрерывно наводить «по центру», т. е. в ту точку пространства, где в настоящее время на самом деле находится исследуемое небесное тело.

В XVII в. Блез Паскаль делился своими переживаниями: «Вечное молчание этих бесконечных пространств ужасает меня». Зрелое планетарное сознание, почувствовав и осознав, что это молчание повергает в ужас не только нас, но и всех мыслящих во Вселенной, приходит к пониманию того, что его миссия – принять посильное участие в преодолении молчания космоса.

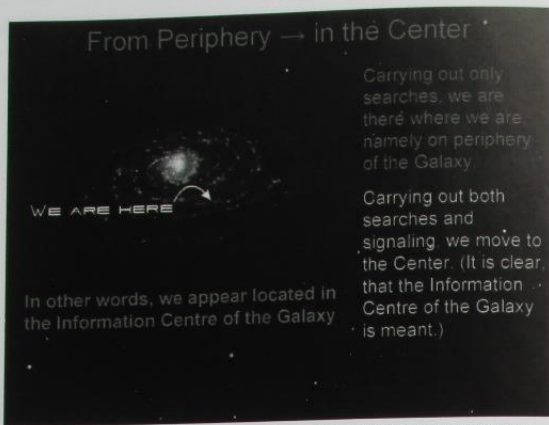


Рис. 5. Понятие «Информационный центр Галактики» применительно к социально зрелой, высокоразвитой цивилизации, проводящей как поиски, так и передачу межзвёздных радиопосланий

Необходимо отметить, что в информационном плане такая прямо-передающая цивилизация оказывается как бы в центре событий, перемещаясь с периферии нашей Галактики (рис. 5) в ее центр (разумеется, речь идет о центре в его информационном смысле).

Во взаимосвязанных процессах передачи и поиска разумных сигналов во Вселенной следует отчетливо представлять, что в случае передачи решается **прямая задача** синтеза и отправки того, что пока еще не существует в природе, а именно наших межзвездных посланий. В этом смысле синтез посланий сродни искусству, творческому процессу создания нового, когда предназначенную к передаче информацию необходимо попытаться представить в некоем инварианте, понимаемом разумными субъектами повсюду во Вселенной. Разумеется, в процессе синтеза и передачи решается и масса чисто научных и технических вопросов, однако главным здесь является именно творческий процесс создания новой информации, предназначенной для «других».

А поиск – типичный пример обратной задачи: мы ищем то, что нам пока неизвестно, но при этом исходим из предположения, что это уже существует в природе (рис. 6). Иными словами, при поиске решается сугубо научная задача обнаружения сигнала, его декодирования, выделения и осмысления полученной информации. При этом обратная задача поиска специфична тем, что ищется не естественно-научная закономерность, а осмысленное сообщение, сигналы не природы, но разума!

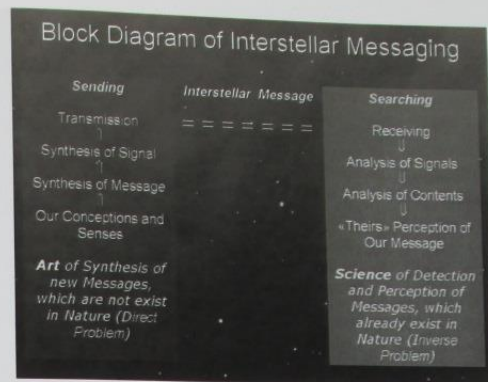


Рис. 6. Блок-схема передачи и поиска разумных сигналов во Вселенной

Здесь важно отметить, что цивилизация, осуществляющая лишь поиски, находится в менее выгодном положении, чем цивилизация, которая проводит как поиски, так и передачу разумных сигналов (рис. 7). Для констатации факта установления контакта приёмо-передающей цивилизации достаточно лишь получить ответный сигнал от цивилизации-адресата. А в случае успешных поисков, проводимых цивилизацией первого типа, потребуются как минимум вдвое больше времени и усилий. В самом деле, обнаружив сигналы, необходимо отправить ответ и, лишь получив подтверждение в том, что этот ответ принят, можно будет констатировать факт установления контакта (рис. 8).

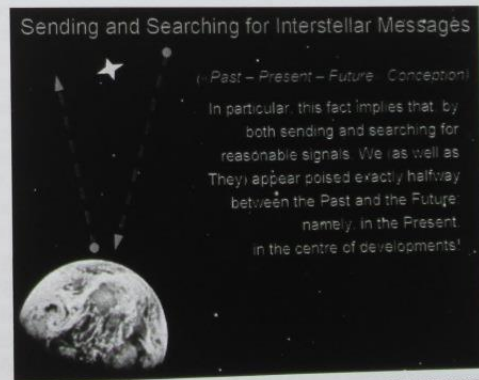


Рис. 7. Высокорастворная цивилизация, проводящая как поиски, так и передачу разумных радиосигналов

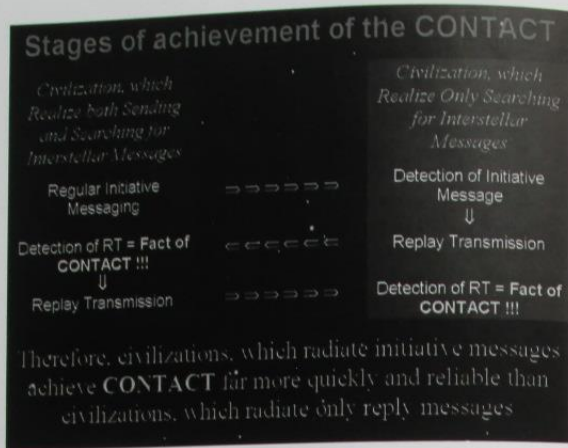


Рис. 8. Сравнение цивилизаций, одна из которых является «присмо-передающей», а другая – лишь «присмной»

Передача и поиски межзвёздных радиопосланий

Подчеркивая сложность проблемы SETI, состоящую в чрезвычайно большой неопределенности и как следствие необъятности поисков разумных сигналов из космоса, Джил Тартер использовала образное понятие «космический стог сена» [13]. Пространство неизвестных параметров поиска (SETI-пространство) имеет 8 измерений:

1. Где искать?
2. Когда искать?
3. На какой длине волны?
4. Тип поляризации?
5. Мощность принимаемого сигнала?
6. Как демодулировать обнаруженный сигнал?
7. Как декодировать полученную информацию?
8. Как понять смысл послания?
9. (Зачем «им» передавать послания?)
10. (Не считают ли «они» передачу МРП опасной?)

В скобках приводятся добавленные нами вопросы, которые отсутствуют в списке Тартер, но которые неизбежно должны возникать у тех, кто проводит поиски. Приведённый список может быть приспособлен для решения обратной задачи (которая, как было сказано в предыдущем разделе, по своей сути является типичной прямой задачей) – передачи с Земли наших собственных сигналов в адрес предполагаемых «братьев по разуму». Для этого достаточно просто заменить термины, связанные с обнаружением и выделением сигнала,

на термины синтеза и передачи сигналов. В более общей трактовке преобразование {SETI ↔ METI} представляет собой переход от науки поиска и осмысления того, что уже существует в природе, но нам пока не известно, к искусству синтеза [14] того, чего еще нет в природе и что предназначено для осмысления теми, о ком мы можем сделать лишь единственное предположение – о наличии у них разума.

Когда мы рассматриваем проблемы METI, соответствующие вопросы, которые рассматривались выше применительно к SETI, формулируются следующим образом, [15]:

1. Куда излучать?
2. Когда излучать?
3. На какой длине волны?
4. Какую использовать поляризацию?
5. Какова должна быть мощность излучаемых сигналов?
6. Какую использовать модуляцию?
7. Какова оптимальная структура передаваемого послания?
8. Каково содержание послания?
9. Зачем передавать межзвёздные послания?
10. Не опасно ли заниматься METI?

Выше говорилось о целесообразности взаимосвязанного рассмотрения вопросов передачи и поисков разумных сигналов во Вселенной. В такой постановке перечисленные выше вопросы могут быть представлены следующим общим списком [16]:

1. Адресаты поисков и передачи межзвёздных посланий.
2. Временная синхронизация поисков и передачи МРП.
3. Оптимальные диапазоны частот поисков и передачи.
4. Какую поляризацию использовать?
5. Мощность излучаемых и принимаемых сигналов.
6. Тип модуляции.
7. Каковыми могли бы быть структура и методы кодирования передаваемых и принимаемых сообщений?
8. Содержание МРП.
9. Есть ли смысл передавать и как следствие искать межзвёздные радиопослания?
10. Не опасно ли получать и передавать межзвёздные послания?

Ниже приводятся наши варианты ответов на эти 10 вопросов. Отчетливо представляя новизну и неоднозначность многих из поставленных здесь вопросов, мы вполне понимаем, что наше нынешнее видение и предлагаемые ответы носят отнюдь не директивный характер и со временем могут быть не только существенно дополнены, но в ряде позиций и кардинально пересмотрены. Однако по состоянию на сегодняшний день приводимые варианты ответов представляются нам оптимальными или близкими к оптимальным.

Адресаты поисков и передачи. Ответить на вопрос, «где искать и куда отправлять межзвездные радиопослания», стало гораздо проще после 1995 г., когда было сделано выдающееся открытие – швейцарский астроном Мишель Майор и его аспирант Дидье Квелотт обнаружили первую планету у другой звезды, 51 Пегаса [17]. Открытие экзопланет восполнило недостающее звено: стало ясно, что планеты – такие же обывденные и распространенные физические объекты, как элементарные частицы, атомы, молекулярные соединения, линии излучения и поглощения которых наблюдаются всюду во Вселенной, звезды, звездные скопления и т. д. В нашей Галактике – около 100 млрд звезд, 1 % из них – звезды солнечного типа. Среди этого миллиарда и предлагается отбирать звезды-адресаты поисков и передачи межзвездных радиопосланий. Разумеется, вовсе не обязательно только среди них, но для нас главное – изложить нынешнее понимание, учитывая, что оно далеко не исчерпывающее и что здесь есть простор для творчества и дальнейших изысканий. Критерии отбора звезд-адресатов следующие:

- принадлежность к главной последовательности;
- постоянная светимость;
- возраст в интервале 4–7 млрд лет. Более старые звезды рождались в эпоху дефицита тяжелых элементов, необходимых для создания макромолекул жизни, а у более молодых она еще не успела зародиться;
- предпочтительны одиночные звезды близких к Солнцу спектральных классов;
- положение на небе вблизи «предпочтительных направлений» – недалеко от плоскости эклиптики, направлений на замечательные астрономические объекты, на центр или антицентр Галактики;
- желательно также, чтобы и мы наблюдались «оттуда» на фоне замечательных астрономических объектов, чтобы «они» могли бы обнаружить нас, в том числе и «попутно», в процессе обычных астрономических наблюдений;
- в случае наличия у звезды-кандидата собственной планеты или планетной системы желательно, чтобы орбиты этих экзопланет имели малый эксцентриситет, поскольку такие планетные системы более долговечны и там нет значительного перепада температур, препятствующего зарождению жизни;
- желательно выбирать звезды внутри «пояса жизни» [18], той «тепличной» области нашей Галактики, где из-за совпадения скоростей движения звезд и спиральных рукавов условия для зарождения и длительного развития жизни наиболее благоприятны.

Со временем по мере накопления наших знаний о космосе возможно появление и других требований, и других, нежели звезды, адресатов. И это вполне естественно, но сейчас критерии именно таковы или очень близки к тем, что перечислены выше.

Синхронизация передачи и поиска. Вопросы временной синхронизации наших радиопередач и «их» поисков (или, что не менее актуально, «их» радиопередач и наших поисков) очень важны. По оценкам Петра Маковецкого [19], грамотная синхронизация позволяет в десятки раз увеличить вероятность установления радиоконтакта. Одним из таких методов является привязка моментов передачи и поиска к знаменитым вселенским событиям, которые наблюдаемы всюду в нашей Галактике. Например, к моменту максимума блеска при взрыве какой-нибудь новой или сверхновой звезды. Маковецкий, исходя из простых геометрических соотношений, рассчитал и составил «расписание» для некоторых окрестных звезд в случае, если мы и «они» будем осуществлять временную привязку к вспышке новой в созвездии Лебедя, которая на Земле наблюдалась 29 августа 1975 г.

Сейчас на современных крупных телескопах удастся регистрировать гораздо более частые события – моменты вспышек сверхновых в соседних, видимых не с ребра, галактиках, что также может быть использовано для временной синхронизации процессов излучения и поиска.

Длина волны передачи и поиска разумных сигналов. Диапазон частот, в котором необходимо излучать МРП, совпадает с тем диапазоном, который ранее был обоснован для их поиска от 1 до 20 см, где достигается наибольшая дальность радиосвязи за счёт совокупности определяющих эту дальность параметров. Энергетический потенциал космической радиолинии определяется как произведение мощности передатчика и коэффициентов усиления передающей и приёмной антенн, делённое на шумовую температуру приёмной системы. При современном уровне развития нашей земной технологии это соотношение как раз максимально в сантиметровом диапазоне. Не исключено, что со временем по мере развития космической связи наилучший энергетический потенциал будет достигнут у систем ИК или оптического диапазона и тогда наши представления об оптимальной длине волны могут измениться.

Точное значение длины волны может иметь одно из «магических» значений, например, $3,36 \text{ см} = 21 \text{ см}/2\pi$, определяемых как отношение двух универсальных «мировых» констант: физической (радиолиния межзвездного водорода) и математической [20].

Какую поляризацию использовать? Параметры поляризации излучаемого колебания призваны показать его искусственное происхождение. Кроме того, направление вращения круговой поляризации или ориентация плоскости линейной поляризации можно менять дискретно или непрерывно, вводя то или иное разумное соотношение (поляризационная модуляция). Кстати, в научно-фантастическом романе Карла Сагана «Контакт» радиопослание с Веги имело именно поляризационную модуляцию.

Мощность излучаемых радиосигналов. В том случае, если со временем будет поставлен вопрос о мощности передатчиков специальных радиостанций для непрерывного и планомерного осуществления МЕТИ, произвести такие оценки не составит большого труда. А если речь идет о том, чтобы проводить

МЕТИ уже сейчас, на тех инструментах, которые есть или появятся в обозримом будущем, правильной ставить вопрос не о мощности передатчика, а об энергии радионизлучения, которая должна быть затрачена нами на каждый бит передаваемой информации.

Соответствующие расчеты [21] дают значения скорости передачи информации для трех самых мощных из существующих в настоящее время передающих систем (числа в скобках – диаметр передающей антенны, средняя мощность и длина волны соответственно):

– радиолокационный телескоп в Аресибо, Пуэрто-Рико (300 м; 1000 кВт; 12.5 см) – 1000 бит/с;

– планетный радиолокатор в Голдстоуне, Калифорния (70 м; 480 кВт; 3.5 см) – 550 бит/с;

– планетный радиолокатор под Евпаторией, Крым (70 м; 150 кВт; 6 см) – 60 бит/с.

В расчётах было принято, что расстояние, на которое надо передавать наше сообщение, составляет 70 св. лет и что «их» приемная система располагает антенной решёткой типа SKA с эффективной поверхностью 1 млн м² и суммарной шумовой температурой 20 К. Проект такого радиотелескопа сейчас разрабатывается на Земле, и он может быть построен в ближайшие десятилетия [22].

Какую модуляцию можно ожидать при поисках и целесообразно применять при излучении разумных сигналов? Мы не знаем ничего о наших неведомых адресатах за исключением единственного предположения об их разумности. Поэтому, пытаясь синтезировать МРП, необходимо понимать, что «они» будут иметь дело главным образом с физическим явлением и лишь потом – с осмыслением информации. Сначала «их» приемная система обнаружит радиосигнал, и только позже встанет вопрос о выделении информации и об осмыслении полученного послания. Следовательно, прежде всего создатель МРП должен позаботиться о простоте обнаружения сигнала. Иными словами, сигнал должен быть максимально *открытым*, что трактуется здесь как антоним термина *скрытность*. Подобное направление в синтезе сигналов может быть названо *антикриптографией*. Возможный вариант такого синтеза представлен ниже. Он базируется на спектральном подходе [7].

Идущие уже почти 50 лет непрерывные поиски разумных сигналов других цивилизаций используют в подавляющем большинстве похожий алгоритм обнаружения. Принимаемое излучение подвергается цифровому спектральному анализу, при этом количество каналов анализа достигает сотен миллионов и даже нескольких миллиардов. Например, в проекте «Phoenix» американского Института SETI используется цифровой спектроанализатор на 2 млрд каналов с шириной 1 Гц, что позволяет в реальном времени анализировать полосу в 2 МГц, а в режиме обработки записей – 2 ГГц [23].

Предположив, что именно так и должен выглядеть оптимальный приемник поиска радиосигналов не только от других цивилизаций, но и тех, что мы

собираемся передавать «другим». Мы приходим к выводу, что модуляция должна иметь *ясный спектральный язык*, позволяющий с наименьшими потерями обнаружить излучаемые нами сигналы именно с помощью вышеупомянутых параллельных спектральных анализаторов [24]. Такая модуляция хорошо известна на Земле и широко здесь используется – это частотная модуляция (ЧМ).

Каковыми могли бы быть структура и методы кодирования передаваемых и принимаемых сообщений? Договорившись, что радиопослание может быть синтезировано на основе спектрального подхода, наиболее наглядного и физически обоснованного, мы приходим к нижеследующей структуре. В принципе возможны три типа поведения спектра излучаемого нами и принимаемого «ими» сигнала: его частота постоянно во времени либо хаотически скачет, принимая два или несколько фиксированных состояний, либо плавно дрейфует вверх и вниз, отображая некую гладкую и непрерывную функцию времени.

Смысл излучения монохроматического колебания с постоянной частотой состоит в том, что такое колебание оптимально для обнаружения описанным выше приемником. Поэтому этот сигнал наиболее рационально излучать в начале послания в качестве своеобразного позывного. Кроме того, именно такой сигнал «с нулевой информацией» может быть воспринят даже теми, кто, по мнению некоторых земных исследователей, не в состоянии ничего понять в наших информативных посланиях, имея гипотетический, абсолютно «иной» разум.

В данном случае мы можем говорить об использовании своеобразного «языка природы»: если «они» в состоянии познавать окружающий их (и нас) мир и его физические закономерности, то смогут понять и наш сигнал, не содержащий при излучении абсолютно никакой, в общепринятом земном смысле, семантической информации. Под действием межзвездной среды и других возможных факторов такой сигнал постепенно «обрастает» физической информацией в процессе распространения радиоволн в Галактике. В космической радиофизике такой метод, с высокой эффективностью применяемый для исследования атмосфер планет, солнечной короны и межпланетной плазмы, называется *радиопросвечиванием* [25]. Здесь же предлагается распространить его на радиозондирование межзвездного пространства.

Единственное, о чем «они» должны будут догадаться, так это о том, что мы действительно излучаем монохроматическое, немодулированное колебание. Для этого сам сигнал не должен содержать никакой «местной» информации – влияния земной атмосферы, доплеровского дрейфа, связанного с вращением Земли и движением по орбите вокруг Солнца.

Интересно отметить, что точность оценки частоты, а следовательно, и лучевой скорости даже для существующих радиолокационных систем оказывается весьма высокой. Так, например, если на расстоянии 70 св. лет от Евпаторийской антенны и передатчика расположены антенна и приемник, аналогичные евпаторийским, то отношение сигнал/шум в фильтре шириной 0.1 Гц соста-

многоканальные органы восприятия двухмерной информации, аналогичные земному зрению.

Во всех переданных МРП имеется вводная (обучающая) часть. В АМ вводится понятие двоичного представления чисел, в СС-1 и СС-2 это уже целая вводная глава, методологически восходящая к языку LINCOS, предложенному Гансом Фрейденталем [27]. Оригинальность радиопослания «там» заключается в том, что его вводная часть является двуязычной, построенной на основе «Русско-английского словаря понятий-образов».

Основные части всех реализованных МРП существенно отличаются друг от друга как по способам представления информации, так и по её объёму. Детальные описания этих радиопосланий можно найти в [4–8]. Отметим лишь, что к настоящему времени ещё не выработано ни какой-либо устоявшейся методологии синтеза МРП, ни общепринятого подхода к тому, как наиболее целесообразно и грамотно формировать содержание будущих МРП.

Одно из устоявшихся мнений: «передавать надо знания о себе самих и об окружающем нас мире», – нуждается в некотором уточнении. Ведь значительная часть наших знаний «им» наверняка известна, поэтому передавать надо то, чего они заведомо не знают. Например, – точные значения координат и собственных движений звезд на нашем небосводе; это позволит «им» радикально уточнить расстояния до множества звезд и их динамику, поскольку появится возможность для параллактических измерений на базе в десятки и сотни световых лет. Или сведения о земной жизни и разуме. О самобытности и неповторимости искусства каждой из цивилизаций уже упоминалось. Вот мнение академика Владимира Вернадского: «Я думаю, что глубже всего в понимании мира – музыка и те настроения, которые переживаются при творчестве...» [Дневник. 1932]. Наша музыка, наше искусство помогут «им» в достижении более глубокого «...понимания мира...».

Зачем передавать межзвёздные радиопослания? Считая вопрос о цели поисков разумных сигналов из космоса интуитивно ясным, попытаемся ответить на вопрос о смысле МЕТІ. Здесь мы ступаем на зыбкую почву «нечётких» доводов и предположений. Строгого обоснования необходимости МЕТІ дать практически невозможно. Эмоциональные и этические соображения мессиянского и альтруистического толка типа: «МЕТІ необходимо затем, чтобы принести «другим» долгожданную весть о том, что они не одиноки во Вселенной», убеждают и вдохновляют пока лишь немногих. И тем не менее нам следует понять, что если в космосе есть лишь одни цивилизации-искатели и нет цивилизаций-излучателей, то Вселенная обречена на молчание и любые поиски попросту лишены всякого смысла. А поскольку все земные программы поиска разумных сигналов во Вселенной исходят из молчаливого предположения о том, что «они» передают межзвёздные радиопослания, то и наши передачи также не должны вызывать недоумения.

В 2006 г. в контексте поиска ответа на вопрос о смысле МЕТІ была опубликована наша статья «The SETI Paradox» [28], в которой анализируется зем-

ная ситуация, где парадоксальным образом уживаются две противоположные тенденции: настойчивое стремление к поискам разумных сигналов других цивилизаций и стойкое неприятие любых попыток излучения аналогичных сигналов с Земли в адрес предполагаемых братьев по разуму. Если в нашей Вселенной такие проявления разума являются типичными и повсеместными, то поиски других цивилизаций не имеют никакого смысла [29].

Статья интенсивно обсуждалась в блогах [30, 31], где в сумме насчитывается более 90 комментариев, и на сайте SETI League [32]. Раз мы сами не испытываем такой потребности передавать информацию вовне, в адрес предполагаемых «братьев по Разуму», то как можно обосновать, что такую потребность испытывают «другие» и как следствие, какой смысл имеют поиски того, чего не существует в природе, а именно разумных сигналов ВЦ? В иной, более сжатой формулировке парадокс SETI звучит так: «Либо мы проводим как МЕТІ, так и SETI, либо не делаем ни то, ни другое». Впоследствии в Wikipedia анонимным автором была предложена еще одна несколько отличная от первоначальной трактовка: «SETI's Paradox refers to an apparent «paradox» where two distant civilizations capable of interstellar communication will always remain silent unless one of them contacts the other first, resulting in a deadlock of silence» («Парадокс SETI касается кажущегося «парадокса», когда две разнесённые цивилизации, способные к межзвёздной связи, хранят молчание до тех пор, пока одна из них первой не предпримет попытку установления контакта, что в результате заводит в тупик молчания»).

Пока о свойствах разума в нашей Вселенной можно судить на примере лишь одной земной цивилизации. Нас в данном случае интересует отношение нашего планетарного сознания к передаче информации другим цивилизациям. Для численной оценки такого отношения и его учёта при определении числа коммуникативных цивилизаций в Галактике, основанного на использовании формулы Дрейка, было предложено дополнительно ввести в неё так называемый *МЕТІ-коэффициент* f_m . С учетом этого коэффициента классическая формула Дрейка принимает следующий вид:

$$N = R * f_p * f_i * f_c * f_m * L,$$

где f_m – доля действительно коммуникативных цивилизаций (МЕТІ-цивилизаций), т. е. цивилизаций с ясным планетарным сознанием непаранормального, мессиянского типа, таких, которые на практике осуществляют плановые и целенаправленные межзвёздные передачи [33].

Как уже отмечалось выше, находиться в коммуникативной фазе и проводить МЕТІ – это не одно и то же. Вот мы, например, хоть и находимся в коммуникативной фазе, но не являемся коммуникативной цивилизацией, не занимаемся такого рода деятельностью, как целенаправленные и регулярные межзвёздные передачи.

Можно попытаться оценить МЕТІ-коэффициент f_m применительно к единственно известной нам цивилизации, земной. Да, как уже было сказано,

наша цивилизация находится в коммуникативной фазе. Да, наша цивилизация проводит SETI. Но соотношение METI/SETI у нас составляет менее одного процента: эти данные следуют из обзора Джил Тартер в недавно вышедшем сборнике «SETI-2020» [34]. Там перечислено 100 различных программ SETI, начиная с первого проекта OZMA и до наших дней. Общее время поиска исчисляется годами. А общее время излучения составило лишь 41 ч. Это то, что касается учёных. Но есть еще и METI-фобия, присущая нашему планетарному сознанию как целому. В результате, если оценивать коэффициент f_m на основе единственно известной нам цивилизации (а мы, если не одиноки, то, скорее всего, не слишком оригинальны), то он стремится к нулю. А следовательно, стремится к нулю и количество потенциально обнаружимых цивилизаций в нашей Галактике.

Отсюда и следует парадокс SETI: «Поиски бессмысленны, если не ощущается потребность в излучении...». Иными словами, SETI имеет смысл лишь во Вселенной, свойства которой таковы, что она порождает разум, осознающий необходимость и испытывающий потребность не только в поисках, но и в передаче разумных сигналов в адрес других предполагаемых очагов самознания.

В том случае, если одной из отличительных особенностей разума в нашей Вселенной как раз является мессианская потребность нести другим благою весть об «их» неодиочестве в космосе, установление контакта становится возможным. Специфика контактов следующая: при таких громадных расстояниях и, следовательно, больших временах распространения сигналов, преобладают в основном односторонние связи – нас принимают наши адресаты, а мы, в свою очередь, обнаруживаем тех, для кого сами являлись адресатами. Именно таким способом Вселенная на определённом этапе своего развития предстает перед наблюдателями обитаемой. В противном случае очагам разума уготавана участь одиноких, ненаблюдаемых цивилизаций, что ведёт к их угасанию.

Не опасно ли получать и передавать межзвездные послания? Сравнение общего количества передач, произведенных традиционной радиолокационной астрономией с тем, что было послано предполагаемым «братьям по разуму» в виде МРП, показывает, что вероятность обнаружения инопланетянами наших зондирующих радиолокационных радиосигналов почти в миллион раз выше, чем переданных с Земли МРП.

Как известно, всего есть лишь три радиолокатора, использующих большие зеркальные антенны и мощные передатчики, которые в настоящее время служат для радиолокационных исследований планет, астероидов и комет [35]: Аресибский радиолокационный телескоп, Голдстоунский радар и Евпаторийский планетарный радиолокатор. Излучаемая мощность и усиление антенн этих инструментов настолько велики, что позволяют нам передавать с их помощью также и межзвездные радиосообщения, которые обнаружимы практически всюду в нашей Галактике.

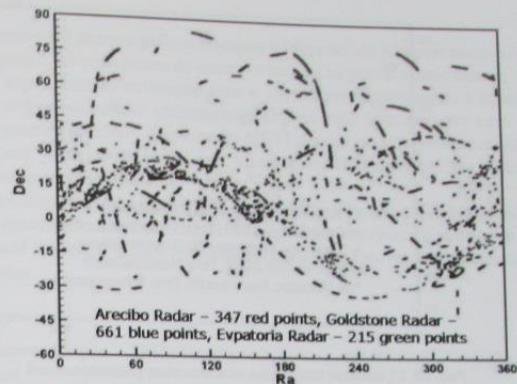


Рис. 9. Засветка неба сеансами излучения при радиолокации небесных тел

Недавно некоторые ученые и авторы научно-фантастической беллетристики выразили свое беспокойство [36] по поводу того, что посылка радиосообщений к звездам в нашей Галактике подвергает опасности само существование нашей собственной цивилизации, потому что наши сигналы помогают враждебным суперцивилизациям обнаружить наше существование. Почему-то считается, что агрессивные суперцивилизация, которые, может быть, существуют, пошлют космический флот на Землю для того, чтобы или разрушить нашу юную цивилизацию, или обратить нас в рабов.

За всю историю радиолокационной астрономии проведено не менее 1400 сеансов излучения зондирующих сигналов. Их распределение по небу приведено на рис. 9 [37].

Общая площадь небосвода, засвеченная этими передачами, составляет примерно 0.022 ср, а общее количество передач METI – всего 17 сеансов (рис. 10), засветивших лишь 10^{-3} ср, т. е. 2200 раз меньше, чем радарными передачами.

Суммарная продолжительность излучения зондирующих сигналов радиолокационной астрономии превышает полный временной интервал передач METI примерно в 450 раз. Следовательно, мы можем заключить, что вероятность обнаружения наших радарных передач враждебной суперцивилизацией в $(2200 \cdot 450) \approx 1$ млн раз выше, чем передач METI! [38].

Поэтому, если кто-то обеспокоен опасностью нашего возможного обнаружения агрессивной суперцивилизацией (так называемая METI-фобия [28]), то он/она должны бороться прежде всего за запрет не METI, а радиолокационной астрономии. Её, однако, никто не собирается запрещать по той простой причине, что радиолокация – важная и незаменимая составляющая системы

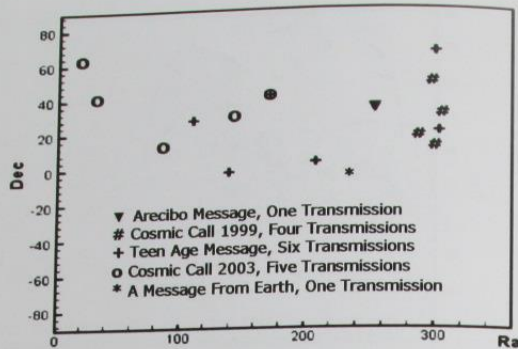


Рис. 10. 17 сеансов излучения межзвездных радиопосланий

обеспечения противостероидной защиты [39]. Так что следует признать как бессмысленность периодически возникающих разговоров об опасности именно МЕТІ для нашей цивилизации, так и необходимость того, чтобы радиолокационные телескопы Аресибо, Голдстоуна и Евпатория оставались открытыми для дальнейшего освоения межзвездного пространства и нашей Галактики в целом с помощью методов МЕТІ.

Что же касается источников страха, о которых первым заговорил английский радиоастроном нобелевский лауреат Мартин Райл [3], то, если они действительно существуют, наша цивилизация обречена. Всомогущие и безжалостные сверхцивилизации неизбежно нас обнаружат (если уже не обнаружили) по аномальной атмосфере, содержащей молекулярный кислород, свидетельствующий о наличии на Земле процессов жизнедеятельности. А обнаружив косвенные признаки жизни, «они» установят непрерывное наблюдение за нашей планетой уже на предмет обнаружения активности, связанной с разумной деятельностью. И, вне всякого сомнения, неизбежно обнаружат эту деятельность по изотропному излучению множества радиостанций и телецентров.

Вероятность же нашего обнаружения агрессивными суперцивилизациями именно по сеансам МЕТІ ничтожна. Поэтому все разговоры об опасности МЕТІ надуманы и антинаучны, а сама МЕТІ-фобия есть не что иное, как чрезмерная впечатлительность любителей фантастики, суеверие и предрассудок. Всегда были, есть и будут находиться люди, которые вопреки здравому смыслу, научным доводам и оценкам полагаются не на знания, а на веру в привидения, лстающие тарелки, астрологию, вечный двигатель, в опасность МЕТІ или Большого адронного коллайдера.

Заключение

Приведенный довод в работе Коккони и Моррисона: «Вероятность успеха оценить трудно, но если никто не ищет, то шансы на успех равны нулю», – конечно же, верен, однако возможно ведь и случайное обнаружение в процессе обычных астрономических наблюдений. Но это при условии, что есть объект обнаружения. Поэтому в контексте МЕТІ можно сказать несколько иначе: «Вероятность успеха оценить трудно, но если никто не излучает, то шансы на успех равны нулю в принципе».

И как следствие парадокса SETI – два варианта одного тезиса: «лишь Вселенная, порождающая обшительный склад разума, обретает со временем свой собственный голос», и «голос Вселенной услышит лишь тот, кто преодолевает её молчание».

Литература

1. Pioneer Plaque. – URL: <http://grin.hq.nasa.gov/ABSTRACTS/GPN-2000-001623.html>.
2. Voyager Record. – URL: <http://voyager.jpl.nasa.gov/spacecraft/goldenrec.html>.
3. Sagan C., Drake Frank, Druyan Ann et al. Murmurs of Earth. – Random House, 1978.
4. Arecibo Message. – URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Arecibo_message.
5. Zaitsev A. L., Ignatov S. P. Report on Cosmic Call 1999. – URL: <http://www.cplire.ru/html/ra&sr/irm/report-1999.html>.
6. Гиндилис Л. М., Гурьянов С. Е., Зайцев А. Л. и др. Сигнал отпавлен: 1-е Детское радиопослание внеземным цивилизациям // Вестник SETI. – М., 2002. – № 3/20. – (ИС РАН «Астрономия»). – URL: <http://Infm1.sai.msu.ru/SETI/koi/bulletin/20/articles/1.html>.
7. Зайцев А. Л. Первое музыкальное радиопослание к звёздам // Радиотехника и электроника. – 2008. – Т. 53, № 9. – С. 1169–1175. – URL: http://fire.relarn.ru/126/docs/e-offprint_rde1169.pdf.
8. Зайцев А. Л., Браастад П. Синтез и передача межзвёздного радиопослания «Cosmic Call 2003». – URL: <http://www.cplire.ru/rus/ra&sr/CosmicCall-2003.html>.
9. A Message From Earth. – URL: http://en.wikipedia.org/wiki/A_Message_From_Earth.
10. Зайцев А. Л. Проект МЕТІ@home: Радиопослания внеземным цивилизациям из дома. – URL: <http://www.cplire.ru/rus/ra&sr/reti.html>.
11. NASA Beatles Transmission. URL: http://www.nasa.gov/home/hqnews/2008/jan/HQ_08032_NASA_Beatles.html.
12. Hello From Earth. – URL: http://en.wikipedia.org/wiki/HELLO_FROM_EARTH.
13. Тарпер Д. «Космический стог сена» и современные программы SETI в США. Проблема поиска жизни во Вселенной. – М.: Наука, 1986.

14. *Зайцев А. Л., Браасмад Р.* METI-арт. – URL: <http://www.cplire.ru/rus/ra&sr/METI-Art-transl.html>.
15. *Zaitsev A. L.* Transforming SETI to METI. – URL: <http://www.cplire.ru/html/ra&sr/irm/metitran.html>.
16. *Zaitsev A. L.* Sending and Searching for Interstellar Messages // *Acta Astronautica*. – Vol. 63, Issues 5-6, Sept 2008. – P. 614-617. – URL: <http://arxiv.org/abs/0711.2368>.
17. *Michel Mayor, Didier Queloz.* A Jupiter-mass companion to a solar-type star // *Nature*. – 1995. – Vol. 378. – P. 355–359. – URL: <http://www.nature.com/nature/journal/v378/n6555/abs/378355a0.html>.
18. *Марочник Л. С., Мухин Л. М.* Галактический «пояс жизни» // Проблема поиска жизни во Вселенной. – М.: Наука, 1986. – С. 41–46.
19. *Маковецкий П. В.* Новая Лебеда – синхросигнал для внеземных цивилизаций // *Астрон. журн.* – 1977. – Т. 54, № 2. – С. 449–451.
20. *Маковецкий П. В.* О структуре позывных внеземных цивилизаций // *Астрон. журн.* – 1976. – Т. 53, № 1. – С. 222–224.
21. *Zaitsev A. L.* Limitations on Volume of Interstellar Radio Messages. – URL: <http://www.cplire.ru/html/ra&sr/irm/limitations.html>.
22. SKA – Square Kilometer Array. – URL: <http://www.skatelescope.org>.
23. Project Phoenix General Overview. – URL: <http://www.seti.org/Page.aspx?pid=583>.
24. *Зайцев А. Л.* Язык радиопосланий к другим цивилизациям // *Вестник SETI*. – 2002. – № 2/19. – С. 73–82. – URL: <http://lnfm1.sai.msu.ru/SETI/koi/bulletin/19/articles/1.html>.
25. *Phinney R. A., Anderson D. L.* On the Radio Occultation Method for Studing Planetary Atmospheres // *J. Geophys. Res.* – 1968. – Vol. 73. – P. 1819–1927.
26. *Идлис Г. М.* В поисках истины. – М.: Агар, 2004.
27. Lincos. – URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/Lincos_\(language\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Lincos_(language)).
28. *A. L. Zaitsev.* The SETI Paradox. – URL: <http://arxiv.org/abs/physics/0611283>.
29. *Зайцев А. Л.* Парадокс SETI // *Бюллетень Специальной астрофизической обсерватории*. – Т. 60–61. – С. 226–229. – URL: <http://fire.relarn.ru/126/paradox.htm>.
30. SETI's Paradox and the Great Silence. – URL: <http://www.centauri-dreams.org/?p=928>.
31. Overflow Thread: SETI's Paradox. – URL: <http://www.centauri-dreams.org/?p=933>.
32. *Paul Gilster.* SETI's Paradox and the Great Silence. – URL: <http://www.setileague.org/editor/silence.htm>.
33. *Zaitsev A.* The Drake Equation: Adding a METI Factor. – URL: <http://www.setileague.org/editor/metifact.htm>.
34. SETI 2020: A Roadmap for the Search for Extraterrestrial Intelligence. – SETI Press, 2003.
35. Radar Astronomy. – URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Radar_astronomy.
36. The San Marino Scale. – URL: <http://iaaseti.org/smiscale.htm>.
37. *Чураков Д. А.* Анализ работы планетных радаров применительно к SETI и METI // *Журн. радиоэлектроники*. – 2009. – № 3. – URL: <http://jre.cplire.ru/jre/mar09/index.html>.
38. *Зайцев А. Л.* Вероятность обнаружения земных радиосигналов враждебной суперцивилизацией // *Журн. радиоэлектроники*. – 2008. – № 5. – URL: <http://jre.cplire.ru/jre/may08/index.html>.
39. Asteroid and Comet Impact Hazard. – URL: <http://impact.arc.nasa.gov/index.cfm>.

METI: Messaging to Extra-Terrestrial Intelligence

A. Zaitsev

METI (Messaging to Extra-Terrestrial Intelligence) represents a cardinal new kind of human activity. Some argue that the Search for Extra-Terrestrial Intelligence (SETI) also is cardinal new. Yes, it is new, but not cardinal so, because people have always passively surveyed the heavens in the hope of detecting something unknown, whether natural or artificial. However, a purposeful effort directed toward converting terrestrial civilizations into the object of detection by possible extraterrestrial civilizations, which is the focus of METI, is a substantially new activity.

The scientific program known as SETI endeavors as its main goal to search for any kind of electromagnetic radiation from aliens. In contrast, METI's main goal is to create and to send intelligent messages from humans to aliens. SETI scientists sometimes ask whether Active SETI (as METI is sometimes called) makes sense. Would it be reasonable, in the context of ensuring SETI success, to transmit messages with the express intention of attracting ETI's attention, thus eliciting a response?

Although this question is a valid one, the overall goal of METI is much broader: to overcome the Great Silence in the Universe by conveying to ETI the long-awaited news: "You are not alone!" Indeed, since a basic tenet of SETI science is the tacit assumption that civilizations transmitting interstellar messages do indeed exist, the scientists who are involved in SETI should unavoidably accept that messaging to ETI is a reasonable and fully complementary activity.

ГИПОТЕЗА ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЖИЗНИ В ГАЛАКТИКЕ

Предбиологическая панспермия и гипотеза самосогласованного происхождения жизни в Галактике

А. Д. Панов

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Россия

Панспермия может означать не только другое место происхождения жизни, как это обычно считается, но и другой механизм возникновения жизни, который увеличивает вероятность возникновения жизни на много порядков величины по сравнению с предбиологической эволюцией на любой изолированной планете. Предбиологическая эволюция благодаря предбиологической панспермии может быть общегалактическим когерентным процессом, а происхождение жизни тогда напоминает фазовый переход второго рода в масштабах Галактики. Этот механизм предсказывает, что жизнь везде в Галактике должна иметь одну и ту же химическую основу, одинаковую киральность, и первый раз появляется сразу во многих местах почти одновременно по всей Галактике.

Жизнь должна была возникнуть в процессе естественной химической предбиологической эволюции. Никто пока не может оценить «естественную» продолжительность предбиологической эволюции на одиночных планетах земного типа исходя из первых принципов или на основе эксперимента. Покажем, как используя шкалу времени биологической эволюции на Земле можно получить независимую феноменологическую оценку длительности предбиологической эволюции.

Рассмотрим несколько первых больших шагов биологической эволюции (в дальнейшем – «фазовые переходы»).

Фазовый переход 0. Появление жизни на Земле. произошло около 3.9×10^9 лет назад [1]. После возникновения биосферы она была представлена безядерными анаэробными одноклеточными организмами – прокариотами (и, возможно, вирусами). По всей видимости, эта система находилась без существенных потрясений в течении 2 – 2.5 млрд лет.

Фазовый переход 1. Неопротерозойская революция [2]. Анаэробные цианобактерии обогатили атмосферу кислородом, который был сильным ядом для анаэробных прокариот. Это вызвало экологический кризис – возможно, пер-

вый в истории Земли. Началось вымирание анаэробных прокариот, и анаэробная прокариотная фауна уступила место аэробным эукариотам и примитивным многоклеточным.

Фазовый переход 2. Кембрийский взрыв (начало Палеозойской эры) – 570·10⁶ лет назад [3, Т. 1]. В течение нескольких десятков миллионов лет возникли все основные типы современных многоклеточных организмов (включая позвоночных). На протяжении палеозойской эры живые организмы постепенно освоили сушу. Когда она была полностью заселена и все экологические ниши заняты, произошел следующий биосферный переворот.

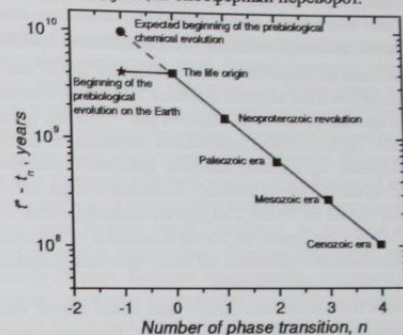


Рис. 1. Чрезвычайно короткая предбиологическая химическая эволюция на Земле приводит к аномалии «кнопка» в экспоненциальной шкале времени эволюции

Фазовый переход 3. Революция пресмыкающихся (начало мезозойской эры) – 235·10⁶ лет назад [3, т. 1, 2]. Вымерли практически все виды палеозойских амфибий. Пресмыкающиеся становятся лидерами эволюции на суше.

Фазовый переход 4. Революция млекопитающих (начало кайнозойской эры) – 66·10⁶ лет назад [3, т. 2, 3]. Вымирают динозавры. Млекопитающие и птицы становятся лидерами эволюции на суше.

Таким образом, продолжительность фаз биосферной эволюции стабильно сокращалась от прошлого к настоящему. Кроме того, последовательность длительностей фаз в хорошем приближении составляет геометрическую прогрессию T_0/α^n с показателем $\alpha \approx 2.7$ (и предельная точка t^* очень хорошо фиксирует настоящий момент времени – мы живем около точки сингулярности эволюции [4]). Видно, что чем выше уровень организации биосферы, тем быстрее она эволюционирует. Так как любая предбиологическая система имеет более низкую организацию, чем биологическая, то кажется, что скорость предбиологической эволюции должна быть ниже скорости последующей биологической эволюции биосферы. Вполне логично предположить, что продолжительность предбиологической эволюции принадлежит той же самой геометрической про-

грессии фаз биосферной эволюции, что позволяет оценить ожидаемую продолжительность предбиологической эволюции экстраполяцией прогрессии вспять по времени. Ясно, что это всего лишь неполная индукция, такая спекуляция не является доказательством, поэтому полученная таким способом оценка может рассматриваться только как гипотеза. Используя длительность первой фазы биологической эволюции $3.9 \cdot 10^9 - 1.5 \cdot 10^9 = 2.4 \cdot 10^9$ лет, мы получаем оценку длительности последней фазы предбиологической химической эволюции как $\tau_{chem} = 2.4 \cdot 10^9 \cdot 2.7 = 6.4 \cdot 10^9$ years. Это есть нижняя граница на полную продолжительность предбиологической эволюции, так как она, как и биологическая эволюция, может состоять из многих фаз.

В то же время имеются указания, что длительность предбиологической химической эволюции на Земле не может превышать $0.2 \cdot 10^9$ лет [1] — она весьма коротка по геологическим меркам. Имеется очевидное противоречие с нашей оценкой, и это противоречие ясно видно на рис. 1, где оно принимает вид «аномалии клоушки». Противоречие может быть разрешено следующим образом.

«Естественная» продолжительность предбиологической эволюции на планетах действительно очень велика — масштаба 6 млрд лет или даже больше, но происходила она не на Земле, а на других планетах, около звезд много более старых, чем Солнце. На Земле же жизнь появилась не в результате естественной предбиологической эволюции, но была занесена в процессе панспермии с этих на много более старых планет.

Однако если биологическая панспермия имеет место, тогда и предбиологическая панспермия должна быть возможна. Продукты предбиологической химической эволюции должны быть менее чувствительны к трудностям космического путешествия (жесткое излучение, холод, вакуум), чем любая биологическая система. Возможность предбиологической панспермии приводит к интересным следствиям.

Начнем обсуждение со следующего вопроса: какова типичная шкала времени для распространения предбиологической (или биологической) «инфекции» по Галактике?

Уточним сначала некоторые детали механизма панспермии. Предположим, что вопрос касается распространения некоторого биологического или предбиологического продукта, характеризующегося высокой гибкостью и конкурентоспособностью по сравнению с другими подобными системами. Попав на планету, пригодную для адаптации, такой продукт может быстро (тысячи лет или даже быстрее) распространиться по всей планете, вытесняя более слабые местные системы. В результате планета сама становится источником панспермии такого продвинутого продукта эволюции. Родительская звезда этой планеты будет окружена облаком «инфекции», содержащим соответствующий продукт эволюции. Здесь необходимо пояснить, что с поверхности планеты биологические или предбиологические продукты могут попадать в космос вместе с осколками породы, выбиваемыми с планеты крупными мете-

оритами (известны такие марсианские метеориты), а идеальным переносчиком инфекции могут быть рыхлые ядра комет [5], которые сами могут заражаться такими инфицированными осколками породы или даже принимать активное участие в предбиологической эволюции [5]. Внутри ядер комет биологические или предбиологические системы надежно защищены от жесткого космического излучения, и, выпадая на поверхность других планет, ядра комет могут переносить космическую инфекцию на очень большие, в том числе и межзвездные, расстояния.

Если родительская звезда пролетает неподалеку от другой звезды, то последняя может быть заражена инфицированным облаком, и сама станет источником панспермии. Скорость распространения инфекции по космосу будет определяться пекулярной скоростью звезд. Распространение волны панспермии не будет иметь диффузионного характера, но будет иметь характер распространения автоволнового процесса со средней постоянной скоростью примерно так, как и распространяются эпидемии. Типичная скорость пекулярного хаотического движения звезд имеет решающее значение. Ее величина — масштаба 30 км/с — и есть типичная скорость волны панспермии в Галактике.

Для моделирования волны панспермии может быть использован принцип Гюйгенса в чистом виде. Каждая точка Галактики, до которой дошла волна панспермии, сама становится источником сферической волны, распространяющейся со скоростью 30 км/с. Конечно, такая модель содержит много упрощений. Так, например, типичные пекулярные скорости различны для разных расстояний от центра Галактики и т.д. Но такая модель вполне пригодна для получения грубой оценки шкалы времени процесса.

На рис. 2 показаны результаты численного моделирования волны панспермии, распространяющейся через Галактику с учетом дифференциального характера ее вращения. Из рис. 2 видно, что из-за дифференциального характера ее вращения процесс охвата волной панспермии Галактики полностью завершён за два галактических года (один галактический год — период обращения Солнца вокруг центра Галактики — равен 216 млн лет), а заселение ее на 70 % произошло за 300 млн лет. Это и есть характерное время галактической панспермии. Возможно, правильнее было бы даже считать таковой несколько меньшую величину — один галактический год. Это подчеркивало бы то, что именно дифференциальное вращение Галактики является определяющим фактором для формирования шкалы времени. 300 млн лет — это, скорее, верхняя граница оценки шкалы времени панспермии.

Таким образом, мы имеем две шкалы времени: одна длинная — $\tau_{chem} \approx 6 \cdot 10^9$ лет (или больше), это масштаб естественной длительности химической предбиологической эволюции на изолированных планетах, другая — короткая — $\tau_{пансп} \approx 0.3 \cdot 10^9$ (или меньше), это масштаб продолжительности галактической панспермии. Из существования этих двух очень различающихся шкал времени следует, что предбиологическая химическая эволюция на отдельных планетах не могла протекать независимо от других планет, так как

каждая планета находится под непрерывным давлением гораздо более быстро, чем местные процессы предбиологической эволюции, инфицирования со стороны всей остальной Галактики.

Предположим, что устойчивая и конкурентоспособная предбиологическая система появляется на некоторой планете, находящейся в стадии предбиологической эволюции. Это совершенно случайное событие. Затем в течение короткого времени, порядка $\tau_{\text{пансп}}$, эта предбиологическая система распространяется по всему объему Галактики, вытесняя менее эффективные локальные предбиологические системы благодаря механизму обычного естественного отбора. Это механизм естественного отбора, действующий на предбиологическом уровне и в масштабе всей Галактики.

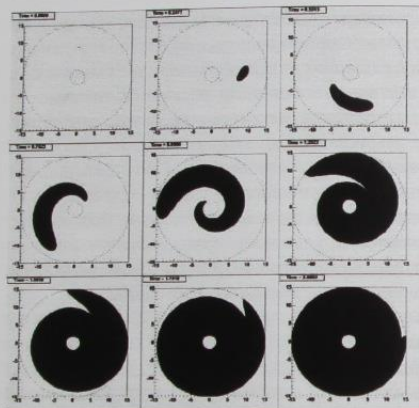


Рис. 2. Численная модель распространения волны панспермии по галактическому диску. Время указано в галактических годах. Последовательные времена, соответствующие приведенным фазам эволюции волны (слева направо и сверху вниз): 0.0060, 0.2477, 0.5015, 0.7522, 0.9996, 1.2522, 1.5019, 1.7518, 2.0053. Галактика вращается против часовой стрелки. В качестве начальной точки для волны панспермии выбрано реальное положение Солнца в Галактике (8,5 кпс от центра)

Благодаря условию $\tau_{\text{пансп}} \ll \tau_{\text{хим}}$ этот процесс должен синхронизировать (с точностью $\tau_{\text{пансп}}$) предбиологическую эволюцию во всем объеме Галактики. В результате жизнь в конце концов появляется почти одновременно на всех планетах, имеющих подходящие условия для ее существования, на одной молекулярной основе (в смысле основ генетического кода и набора аминокислот) и с одной и той же киральностью. Возникновение жизни напоминает фазовый переход второго рода в масштабе Галактики. Таким образом, предбиологиче-

ская химическая эволюция и возникновение жизни могут быть самосогласованным коллективным процессом в масштабе всей Галактики, но не процессом, локализованным на отдельных планетах.

Если механизм самосогласованного галактического происхождения жизни действительно работает то, вскоре, после того как жизнь где-то появилась в первый раз, в Галактике должен был иметь место гигантский взрыв населенности планет жизнью («большой взрыв» жизни). После этого жизнь уже нигде не могла возникнуть в процессе естественной предбиологической эволюции, так как естественные предбиологические процессы неконкурентоспособны по сравнению с гораздо более быстрым процессом панспермии. Как только на планете складываются условия, пригодные для жизни, она немедленно оказывается инфицированной из космоса. Возможно, именно это и произошло на Земле, чем и объясняется невероятно быстрое появление жизни на ней после формирования планеты.

Широко распространено убеждение, что вероятность самопроизвольного возникновения жизни исчезающе мала. Для спонтанного возникновения жизни на планете земного типа с подходящими условиями может потребоваться миллиард миллиардов лет или какое-нибудь столь же абсурдно-большое время. Если бы жизнь возникла спонтанно в результате предбиологической эволюции, то жизнь не могла бы существовать во Вселенной совсем или была бы в лучшем случае совершенно уникальным феноменом. Такие убеждения подпитывают креационистские гипотезы.

Однако если эффективный процесс предбиологической панспермии возможен, то любой случайный успех предбиологической эволюции на одной из 10^9 планет Галактики (или даже больше) становится достоянием и всех остальных планет практически немедленно. Другими словами, вероятность такого события по сравнению с эволюцией на отдельной планете увеличивается в 10^9 раз (или даже больше)! Следующее удачное случайное событие произойдет уже совсем на другой планете, снова немедленно станет достоянием всех и т. д. Таким образом, скорость предбиологической эволюции увеличивается в миллиард раз (или около того) по сравнению с тем, что имело бы место на отдельной планете. Следовательно, даже если самопроизвольное зарождение жизни на отдельных планетах крайне маловероятно, оно становится вполне возможным в общегалактическом когерентном процессе предбиологической эволюции благодаря предбиологической панспермии (идея об ускорении эволюции принадлежит Г.А. Скоробогатову). *Панспермия* означает вовсе не только «перенесение вопроса о возникновении жизни в другое место», как часто считается, но другой механизм возникновения жизни, который может увеличить вероятность ее появления в миллиарды раз.

В заключение заметим, что описанный выше механизм самосогласования предбиологической эволюции на уровне Галактики может быть только частью реально действующего механизма. Хорошо известно, что синтез сложных органических соединений может происходить не только на поверхности планет,

но и в космосе, в молекулярных облаках. Не вызывает сомнений, что химические процессы в водном растворе при нормальной температуре протекают гораздо быстрее, чем в условиях космоса, но и масса эволюционирующего вещества (H, C, N, O), заключенная в молекулярных облаках, на много порядков превосходит массу органического вещества на поверхности всех планет Галактики, вместе взятых. В случае планет имеются как бы единичные быстрые химические процессоры, а в космосе имеется намного более медленный, но многократно распараллеленный процессор. Поэтому предбиологическая эволюция в космическом пространстве может оказаться в каких-то отношениях не менее эффективной, чем на поверхности планет. Роль химических реакторов предбиологической эволюции могут выполнять и кометы [5]. Реальная предбиологическая эволюция может быть результатом сложного взаимодействия и конкуренции процессов, происходящих в открытом космосе, в ядрах комет и на планетах при участии межзвездной предбиологической панспермии разных типов.

Литература

1. Orgel L. E. // *Origins Life Evol. Biosph.* – 1998. Vol. 28. – P. 91.
2. Rozanov A. Yu. // *Paleontology magazine.* – 2003. – № 6. – P. 41.
3. Кэрролл Р. Палеонтология и эволюция позвоночных. – М.: Мир, 1992–1993. – Т. 1–3.
4. Panov A. D. // *Advances in Space Research.* – 2005. – Vol. 36. – P. 220–225.
5. Язев С. А. // *Бюлл. Спец. астрофиз. обсерв.* – 2007. – Т. 60–61. – С. 100–105.

Prebiological Hanspermia and the Hypothesis of the Self-consistent Galaxy Origin of Life

A. D. Panov

We argue that the panspermia may mean not only other place of the origin of life but the prebiological panspermia may mean other mechanism of the origin of life that increases the probability of the origin of life to many orders compare to a single-planet prebiological evolution. The prebiological evolution may be an all-Galaxy coherent process due to the prebiological panspermia and the origin of life is similar to Galaxy-scale second-order phase transition. This mechanism predicts life to have the same chemical base and the same chirality everywhere in the Galaxy.

ФОРМУЛА ДРЕЙКА: ОБОБЩЕНИЕ

Динамические обобщения формулы Дрейка: линейная и нелинейная теории

А. Д. Панов

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Россия

Формула Дрейка описывает существенно равновесную ситуацию в популяции коммуникативных цивилизаций (КЦ) Галактики, но не описывает динамические процессы, которые могут иметь место. В статье развивается и обсуждается линейный и нелинейный популяционный анализ, обобщающий формулу Дрейка.

Введение

Важнейшим вопросом для проблемы SETI является то, как далеко от нас находится ближайшая КЦ. Ответ на этот вопрос зависит от числа КЦ в настоящее время в Галактике. На рис. 1 показана зависимость ожидаемого расстояния от Солнца до ближайшей КЦ от количества КЦ в Галактике. Расчет проведен методом Монте-Карло с использованием реалистичной модели распределения звезд в Галактике [1, с. 405] и с учетом реального положения Солнца (8.5 кпк от центра Галактики, вблизи плоскости симметрии галактического диска).

Наиболее известным способом ответа на вопрос о числе КЦ является использование формулы, предложенной Ф. Д. Дрейком:

$$N_c = R_* f_p n_e f_i f_c L, \quad (1)$$

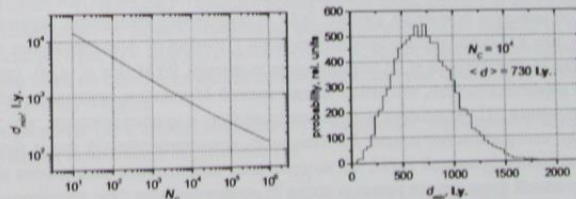


Рис. 1. Ожидаемое расстояние до ближайшей КЦ в зависимости от количества КЦ в Галактике и распределение вероятностей расстояний до ближайшей КЦ для случая $N_c = 10\,000$. Профиль функции распределения для других значений N_c аналогичен, отличается лишь наиболее вероятное значение расстояния

где R_* – скорость образования звезд в Галактике, усредненная по всему времени ее существования; f_p – доля звезд, обладающих планетными системами; n_e – среднее число планет, входящих в планетные системы и пригодных для жизни; f_i – доля планет, на которых действительно возникла жизнь; f_l – доля планет, на которых после возникновения жизни развились ее разумные формы; f_c – доля планет, на которых разумная жизнь достигла коммуникативной фазы; L – средняя продолжительность существования коммуникативной фазы.

Формула Дрейка решает проблему числа КЦ только в довольно грубом приближении. Прежде всего в соответствии с формулой N_C не зависит от времени. Между тем очевидно, что когда-то КЦ в Галактике не было совсем; затем был переходный период, когда их количество каким-то образом росло. Фактически формула Дрейка описывает лишь существование стационарную ситуацию, что может оказаться очень далеко от истины. Реальное количество КЦ может сильно зависеть от того, на какую фазу динамических процессов в популяции КЦ приходится текущий момент времени. Оценка числа КЦ зависит от понимания природы этих процессов.

Необходимо такое динамическое обобщение формулы Дрейка, которое учитывало бы времена развития, непостоянство скорости звездообразования, конечное время жизни звезд. В настоящей статье такой подход развивается в рамках как линейной, так и нелинейной теорий.

Линейный популяционный анализ

В линейной теории (линейный популяционный анализ) предполагается, что КЦ развиваются независимо друг от друга и они не могут влиять на скорость звездообразования и эволюцию жизни на других планетах в Галактике. В модели используются следующие модельные функции и параметры. $R(M, T)$ есть скорость звездообразования как функция массы звезды M и галактического времени T . Время жизни звезд определяется вероятностью выживания $L_S(M, \tau)$ звезды массой M на главной последовательности в момент времени τ , считая от момента рождения звезды. $B(M, \tau)$ определяет плотность вероятности того, что КЦ появляется в момент времени τ , считая от формирования звезды массы M . Функция $B(M, \tau)$ нормирована условием $\int B(M, \tau) d\tau = \alpha(M)$, где $\alpha(M)$ дает вероятность того, что около звезды массой M условия, пригодные для возникновения КЦ, возникнут хотя бы когда-нибудь в предположении, что звезда живет неограниченно долго. Длительность коммуникативной фазы развития КЦ задается функцией $L_C(M, \omega)$, которая дает вероятность выживания коммуникативной фазы спустя время ω после ее возникновения. Это достаточно произвольная функция, монотонно падающая от нуля, когда $\omega \rightarrow \infty$ при каждом значении M . Популяция звезд описывается распределением $n_S(M, \tau, T)$, показывающим число звезд с массой M и возрастом τ в момент галактического времени T . Популяция КЦ описывается распределением $n_C(M, \tau, \omega, T)$, дающим число КЦ с возрастом ω в момент галактического времени T , локализованных около звезды с массой M и возрастом τ .

Полное число цивилизаций в Галактике N_C :

$$N_C(T) = \int_0^\infty dM \int_0^\infty d\tau \int_0^\infty d\omega n_C(M, \tau, \omega, T). \quad (2)$$

Полная система уравнений вместе с граничными и начальными условиями, которая определяет распределения $n_S(M, \tau, T)$ и $n_C(M, \tau, \omega, T)$, имеет следующий вид:

$$\frac{\partial n_S}{\partial T} = -\frac{\partial n_S}{\partial \tau} - \Lambda_S(M, \tau)n_S, \quad -\Lambda_S(M, \tau) \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\partial \ln L_S(M, \tau)}{\partial \tau}, \quad (3)$$

$$n_S(M, \tau, 0) = 0, \quad (4)$$

$$n_S(M, 0, T) = R(M, T), \quad (5)$$

$$\frac{\partial n_C}{\partial T} = -\frac{\partial n_C}{\partial \omega} - [\Lambda_C(M, \omega) + \Lambda_S(M, \tau + \omega)]n_C, \quad (6)$$

$$n_C(M, \tau, \omega, 0) = 0, \quad (7)$$

$$n_C(M, \tau, 0, T) = n_S(M, \tau, T)B(M, \tau). \quad (8)$$

Определение Λ_C в формуле (6) очевидно из (3). Система (3) – (8) имеет точное решение для распределения плотности числа КЦ:

$$n_C(M, \tau, \omega, T) = R(M, T - \tau - \omega)L_S(M, \tau + \omega)L_C(M, \omega). \quad (9)$$

Полученное решение (9) позволяет аналитически исследовать огромное количество различных задач для разнообразных модельных функций. Это разнообразие имеет смысл сразу ограничить некоторыми рамками, которые кажутся разумными. С этой целью в дальнейшем анализе будут использованы небольшие упрощения технического характера.

Мы предположим дополнительно, что скорость звездообразования может быть факторизована $R(M, T) = R_*(T)F(M)$, где предполагается, что начальный спектр масс звезд $F(M)$ не зависит от времени; вероятность выживания звезд на главной последовательности представляет собой функцию ступеньки $L_S(M, \tau) = \Theta[\tau_0(M) - \tau]$, где $\tau_0(M)$ – среднее время жизни звезд массой M на Главной последовательности. Время развития до формирования КЦ не зависит от массы звезды M : $B(M, \tau) = \alpha(M)b(\tau)$, здесь $\int b(\tau)d\tau = 1$; время жизни коммуникативной фазы тоже не зависит от массы звезды, около которой существует цивилизация: $L_C(M, \omega) = L_C(\omega)$.

Выражение (2) с использованием (9) и введенных упрощений в модельные функции может быть переписано как

$$N_C = \int_0^\infty dM \alpha(M) F(M) \int_0^\tau d\tau b(\tau) \int_0^{\omega_{\max}(M)} d\omega R_*(T - \tau - \omega) L_C(\omega). \quad (10)$$

где $\omega_{\max}(M) = \min[T - \tau, \tau_0(M) - \tau]$.

Формула Дрейка (1) может быть получена из уравнения (10) с использованием дополнительных упрощений: $R_* = \text{const}$, $\tau_0(M) \equiv \infty$; время развития КЦ,

считая от момента образования звезды, мало. Но мы будем исследовать более реалистичные сценарии.

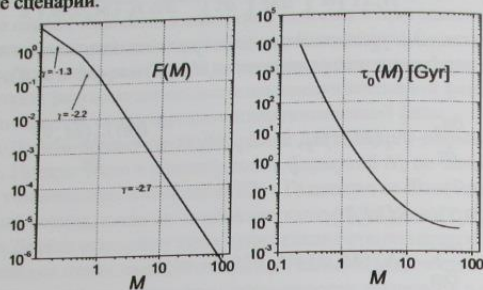


Рис. 2. Начальный спектр масс звезд (слева) и время жизни звезд (справа). Массы звезд измеряются в массах Солнца; величина γ на диаграмме $F(M)$ показатель степени функции, соответствующей различным частям спектра начальных масс

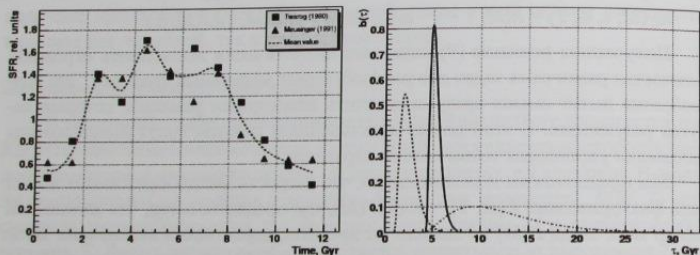


Рис. 3. Скорость звездообразования как функция галактического времени (слева) и выбор плотности вероятности для времен развития до возникновения КЦ (справа). Сплошная линия соответствует случаю, который субъективно представляется наиболее вероятным

В расчетах использовались начальный спектр масс в соответствии с [2] и связь времени жизни звезд на главной последовательности с массой, аппроксимированная в [3, с. 58]. На рис. 2 показаны соответствующие функции $F(M)$ и $\tau_0(M)$. Для скорости звездообразования $R_*(T)$ в вычислениях использовались усредненные и интерполированные данные статей [4] и [5] (точечная линия на левом графике рис. 3). Относительные данные статей [3, 4] были нормированы так, чтобы получить правильное число звезд в Галактике в настоящее время. В качестве вероятности реализации подходящих условий для возникновения КЦ в зависимости от массы звезды была взята линейная функция: равная нулю при $M = 0.5M_\odot$, равная единице при $M = 2M_\odot$ и $\alpha(M) = 1$ при $M > 2M_\odot$. Значение

$\alpha(M) = 1$ для $2M_\odot$ было выбрано достаточно произвольно, но это не ограничивает общности результатов по причине линейности теории. С таким выбором $\alpha(M)$ – средняя вероятность реализации подходящих условий для звезд с массами между $0.5M_\odot$ и $2M_\odot$ – оказывается около 0.02. Для функции распределения времен развития КЦ $b(t)$ мы здесь исследуем три разные функции, показанные на рис. 3 (правый график). Функция распределения для продолжительности коммуникативной фазы бралась в форме падающей экспоненты $L_C(\omega) = \exp(-\omega/L_0)$ с $L_0 = 1000$ лет. Выбор L_0 практически не ограничивает общности результатов (из-за линейности теории).

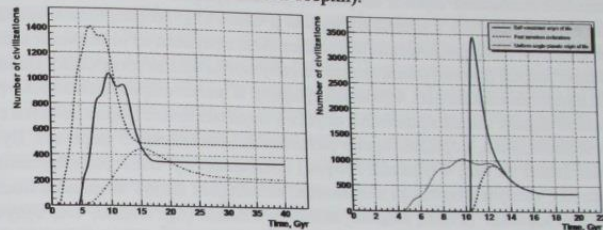


Рис. 4. Результаты расчетов простой линейной теории, отвечающие разным распределениям $b(t)$ времен развития КЦ (слева) и линейная динамика популяции КЦ при возникновении жизни в Галактике путем самосогласованного фазового перехода [6] спустя 6 млрд лет после начала формирования галактического диска и ее сравнение с простой линейной динамикой при постоянном формировании КЦ и временем развития 5 млрд лет (для сравнения: возраст галактического диска – около 12 млрд лет)

На рис. 4 (левый график) показан результат вычислений, проведенных в описанных выше предположениях с использованием формул (9), (10). Типы линий на этом графике соответствуют линиям, использованным на рис. 3 с различными функциями $b(t)$. Разные результаты соответствуют различным распределениям времени развития КЦ. Все кривые имеют хорошо выраженный максимум, отвечающий пику в скорости звездообразования вблизи галактического времени $T \approx 5$ млрд лет (см. рис. 3). Пик в числе цивилизаций является линейным отклонением от него и может быть назван *линейной демографической волной*. Для основного варианта вычислений (сплошная линия) настоящее время (12 млрд лет) попадает внутрь области максимума линейной демографической волны.

Отметим, что хотя кривые на рис. 4 (левый график) построены для очень ограниченного набора параметров, они могут быть использованы для оценок в контексте многих других сценариев. Так, амплитуда кривых будет пропорциональна среднему времени жизни КЦ (параметр L_0) и также будет пропорциональна максимуму плотности вероятности реализации подходящих условий (максимальное значение функции $\alpha(M)$, см. выше).

Пока предполагалось, что условия, которые приводят к возникновению КЦ, остаются неизменными на протяжении истории галактического диска. В действительности их вариации возможны по целому ряду причин (изменение фона космических лучей и т.д.). Условия изменялись, если верна гипотеза о самосогласованном возникновении жизни в Галактике и о соответствующем фазовом переходе [6]. В таком случае в истории Галактики имел место «большой взрыв» жизни, и если время развития от появления жизни на планете до возникновения КЦ более или менее стандартно (как для функции $b(\tau)$, представленной сплошной линией на рис. 3, (левый график — около 5 млрд лет), то должен последовать и «большой взрыв» в числе КЦ. Теория, описывающая такой *фазовый демографический пик* может быть получена из описанной выше линейной теории (мы опускаем детали) и результаты соответствующих вычислений представлены на рис. 4 (правый график). В расчете предполагалось, что «большой взрыв» жизни произошел спустя 6 млрд лет после формирования галактического диска, а среднее время развития КЦ составляет 5 млрд лет. Пунктирная линия на рис. 4 (правый график) показывает ту часть распределения в числе КЦ, которая относится к планетам, на которых жизнь появилась после «большого взрыва» (какой, видимо, является и Земля [6]). Видно, что, будучи жителями одной из таких «поздних» планет, мы можем жить как до, так и после фазового пика в числе КЦ.

Таким образом, популяционный анализ, основанный на линейной теории и реальных астрофизических данных, предсказывает такую нетривиальную динамику эволюции числа КЦ, как линейная демографическая волна и фазовый пик. Нелинейное обобщение формализма приводит к еще более интересной картине.

Нелинейный популяционный анализ

В развитой выше линейной теории распределения $B(M, \tau)$ и $L_c(\omega)$, описывающие возникновение и жизнь коммуникативных цивилизаций, предполагались не зависящими от числа имеющихся в Галактике цивилизаций. Функция $R(M, T)$, описывающая «естественную» скорость звездообразования, также предполагается не зависящей от числа КЦ. Это верно до тех пор, пока цивилизации не влияют ни друг на друга, ни на условия возникновения других цивилизаций, ни на условия возникновения новых звезд. Теория, учитывающая эти эффекты, перестает быть линейной.

Первая возможность для нелинейной теории связана с возможностью влияния на функцию $R(M, T)$ — «искусственное создание звезд». Вторая возможность — влияние на распределение $B(M, \tau)$ — подразумевает некоторый вид направленной панспермии жизни или разумной жизни.¹ Третий тип нелинейных явлений связан с изменением вероятности $L_c(\omega)$ благодаря взаимному влия-

¹ В предельном случае единственной КЦ в Галактике в начале эволюции, такая нелинейная динамика могут описывать постепенное расселение этой цивилизации по Галактике с последующей автономизацией колоний и превращением их в самостоятельные КЦ.

нию цивилизаций через контакты по каналам связи (прямые контакты здесь тоже не исключаются, но все типы контактов могут быть описаны единообразно). Мы подробно изучаем только последнюю возможность. Другие возможности могут быть изучены аналогичными методами и, как мы ожидаем, приведут к похожему общим результатам.

Без ограничения общности КЦ можно разделить на три категории: КЦ, для которых контакт «вреден», так как он сокращает длительность их коммуникативной фазы; нейтральные по отношению к контакту КЦ; цивилизации, для которых контакт полезен в том смысле, что он удлиняет их время жизни в коммуникативной фазе. Каждая из категорий может, вообще говоря, оказаться и пустой, но мы будем предполагать, что цивилизации последней разновидности существуют. Мы будем называть такие КЦ экстравертными и использовать для них аббревиатуру ЭКЦ. Рассмотрим динамику субпопуляции только ЭКЦ.

Дополнительно можно предположить, что одним из важных свойств ЭКЦ является увеличение эффективности поиска партнеров и установление контактов с использованием опыта уже найденных ранее партнеров по контакту. По причинам, которые станут понятны ниже, эффективность поиска новых партнеров по контакту мы будем называть *дальностью* в установлении космической связи. Рост дальности под влиянием уже установленных контактов будет существенно использована в модели.

Важно, что если ЭКЦ вообще существуют, то в их популяции могут происходить интересные нелинейные явления. Нетрудно понять, что здесь может начаться процесс с положительной обратной связью. Чем больше в Галактике ЭКЦ, тем выше становится вероятность контакта; контакт увеличивает продолжительность жизни ЭКЦ, а это ведет к росту популяции ЭКЦ, а это еще более увеличивает вероятность контакта и т. д. Петля положительной обратной связи может привести к лавинообразному переходу в масштабе Галактики, сопровождаемому мощной вспышкой числа ЭКЦ с последующей стабилизацией плотности популяции на очень высоком уровне. ЭКЦ становятся преобладающим типом цивилизаций в Галактике, даже если до перехода это было не так. Некоторые детали этого явления и другие важные особенности динамики популяции ЭКЦ с учетом взаимного влияния по каналам связи описывает предлагаемый ниже формализм. В линейной теории текущее состояние отдельной цивилизации описывалось только возрастом ее коммуникативной фазы ω , которая вместе с временем жизни звезды и моментом рождения цивилизации позволяла статистически предсказать ее судьбу. Для описания взаимного влияния по каналам связи КЦ должны быть описаны более детально. Мы предположим, что каждая цивилизация описывается возрастом ω (как и раньше) и дополнительно вектором параметров q , которые мы будем называть «качеством». Это набор параметров, которые влияют прежде всего на ожидаемую продолжительность жизни цивилизации и ее дальность. Предполагается, что контакт в определенном смысле повышает качество ЭКЦ, благодаря чему увеличиваются ее ожидаемое время жизни и дальность. Таким образом,

вероятность выживания цивилизации должна рассматриваться зависящей от качества, которое также должно стать одним из аргументов в функции распределения цивилизаций:

$$L_c(M, \omega) \rightarrow L_c(M, q, \omega); \quad n_c(M, \tau, \omega, T) \rightarrow n_c(M, \tau, q, \omega, T).$$

Для описания влияния контактов цивилизация А с набором цивилизаций B_1, B_2 на качество цивилизации А будем предполагать, что суммарный эффект аддитивен:

$$\frac{dq_A}{dt} = \sum_i K(q_A, \omega_A, q_{B_i}, \omega_{B_i}), \quad (11)$$

где $K(q_A, \omega_A, q_{B_i}, \omega_{B_i})$ есть некоторая универсальная функция, описывающая модель контакта.

Очевидно, что аддитивная модель контакта есть существенное упрощение, которое может быть верным только в случае небольшого среднего числа контактов на цивилизацию. Однако есть основания ожидать, что такая модель должна разумно описывать по крайней мере начальные фазы важных переходных процессов.

Уравнения (3)–(5) для функции распределения звезд и уравнения (6)–(8) для распределения цивилизаций остаются верными и для нелинейной динамики. Единственное отличие заключается в том, что появляется новый член, описывающий «поток» качества цивилизаций в q -пространстве из-за взаимодействия между цивилизациями. Кроме того, красивые условия должны теперь описывать распределение по параметру качества для цивилизаций, только входящих в коммуникативную фазу. Полная система уравнений для функции распределения $n_c(M, \tau, q, \omega, T)$ имеет следующий вид:

$$\frac{\partial n_c}{\partial T} = -\frac{\partial n_c}{\partial \omega} - [\Lambda_c(M, q, \omega) + \Lambda_B(M, \tau + \omega)] n_c - \nabla_q [j(q, \omega, T) n_c], \quad (12)$$

$$n_c(M, \tau, q, 0, T) = 0, \quad (13)$$

$$n_c(M, \tau, q, 0, T) = n_c(M, \tau, T) B(M, \tau, q). \quad (14)$$

Проблема вычисления q -потока $j(q, \omega, T)$ очень сложна, но она может быть решена для аддитивной модели контактов (11) и для модели большой однородной галактики (соответственно можно пренебречь красивыми эффектами):

$$j(q, \omega, T) = \frac{4\pi c^3}{V_G} \int d\omega' \int d\mathbf{q}' K(q, \omega, \mathbf{q}', \omega') \int_{T-\tau(q, \omega, \mathbf{q}', \omega')/c}^T dT' (T-T')^2 \times \int dM \int d\tau n_c(M, \tau, \mathbf{q}', \omega', T'), \quad (15)$$

где V_G – объем галактики; c – скорость света; $n_c(q, \omega, \mathbf{q}', \omega')$ – предельное расстояние, на котором возможно осуществление контактов между цивилизациями с возрастными и качествами (q, ω) и (\mathbf{q}', ω') .

Данное предельное расстояние в точности отвечает понятию «дальнобойность», о котором говорилось ранее. Формула (15) показывает, что дальнобойность зависит от параметров двух цивилизаций, а не одной (порядок аргументов тоже может быть важен, но мы будем пренебрегать этим обстоятельством).

Из-за члена, соответствующего потоку качества, уравнение (12) оказывается очень сложным нелинейным интегро-дифференциальным уравнением. Однако оно может быть численно решено для простых моделей контактов при некоторых дополнительных упрощающих предположениях, как описано ниже.

Будем считать, что качество цивилизации представляется единственным скалярным параметром q . Предполагается, что среднее значение для качества изолированной цивилизации (без каких-либо контактов) есть $q = 1$. Мы перейдем от детального описания цивилизации ее качеством и возрастом к усредненному значению качества по всему времени жизни и по всем массам звезд (или пренебрежем зависимостью чего бы то ни было от массы звезды). Далее удобнее будет рассматривать среднее количество цивилизаций на единицу объема однородной галактики: обратный переход к полному числу цивилизаций очевиден, т. е. вместо точного распределения $n_c(M, \tau, q, \omega, T)$ мы рассмотрим усредненное распределение $\rho(q, T)$, так что $V_G \int \rho(q, T) dq = N_c(T)$. Будем считать, что скорость возникновения цивилизаций в расчете на единицу объема галактики представляется заданной функцией времени $f(T)$, а функция распределения параметра качества q для изолированных цивилизаций есть $\phi(q)$, так что $\int \phi(q) dq = 1$ и среднее значение для $\phi(q)$ равно единице. Тогда уравнения (12)–(14) могут быть переписаны в форме единственного уравнения:

$$\frac{\partial \rho(q, T)}{\partial T} = -\Lambda_c(q) \rho(q, T) + f(T) \phi(q) - \frac{\partial}{\partial q} [j(q, T) \rho(q, T)]. \quad (16)$$

Начальное условие на функцию $\rho(q, T)$ может быть задано для любого момента времени $T = T_0$, и уравнение (16) может быть решено как начальная задача Коши.

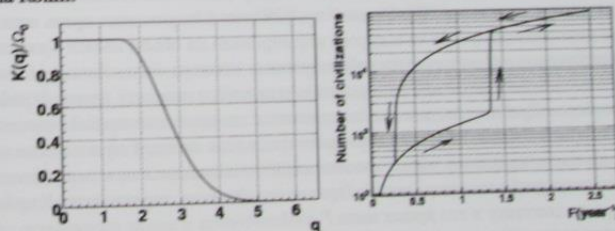


Рис. 5. Функция $K(q)$, использованная в вычислениях (слева) и бистабильность в популяции ЭКЦ, полученная численным решением уравнения (16) (справа)

Для вычисления дивергентного члена в уравнении (16) мы использовали

следующую модель контакта:

$$\frac{dq_A}{df} = k(q_A)q_A \sum_i q_{B_i}, \quad (17)$$

где функция $k(q)$ показана на рис. 5 (слева) с параметром $\Omega_0 = 0.001 \text{ лет}^{-1}$. Опустив некоторые подробности, укажем, что значение параметра Ω_0 соответствует тому, что под действием единичного контакта качество цивилизации возрастает в e раз при длительности контакта 1000 лет, а спад функции $k(q)$ при больших значениях q соответствует тому, что рост качества цивилизации под влиянием контактов не беспредельно – способность «обучаться» входит в насыщение. Модель (17) упрощает уравнение (15) до

$$j(q, T) = 4\pi c^3 q k(q) \int dq' q' \int_{T-r(q, q')} dT' (T-T')^2 \rho(q', T'). \quad (18)$$

Для обратной функции времени жизни $\Lambda_C(q)$ и для функции дальнобойности $r(q, q')$ могли бы рассматриваться различные предположения, но мы использовали следующие:

$$\Lambda_C(q) = \Omega_0 / q^2, \quad \Omega_0 = 0.001 \text{ years}^{-1}, \quad (20)$$

$$r(q_A, q_B) = r_0 \times (q_A q_B)^{1/5}, \quad r_0 = 400 \text{ l.y.} \quad (21)$$

Выражение для $r(q_A, q_B)$ было получено в предположении, что как передача, так и прием сигналов производятся только остро направленными антеннами (никаких изотропных излучателей). Предполагалось, что распределение $\phi_0(q)$ является нормальным со средним значением 1 и стандартным отклонением 0.2.

Некоторые результаты вычислений отражены на рис. 5 (справа). Объясним технику вычисления и смысл полученных результатов.

Предполагается, что в некоторый начальный момент времени $T = 0$ в галактике нет цивилизаций и скорость рождения цивилизаций равна нулю. После этого скорость рождения цивилизаций F начинает медленно увеличиваться, так что в любой момент времени в галактике устанавливается почти полное равновесие в популяции ЭКЦ. Правый график рис. 5 показывает связь между числом цивилизаций и F (и то и другое нормировано на объем нашей Галактики). Равновесное число цивилизаций возрастает по мере того, как возрастает F . Фактически здесь локально для каждого отдельного момента времени работает формула Дрейка, так как рассматривается квазистационарный процесс. По мере роста F точка на диаграмме движется вдоль нижней ветки петли гистерезиса слева направо и число цивилизаций остается малым, а вероятность контакта между ними очень низкой. Это *эпоха молчания*, вероятность P найти партнера по контакту в это время мала $P \ll 1$.

Однако из-за увеличения числа цивилизаций вероятность контакта постепенно увеличивается и ситуация становится нестабильной. Когда F достигает значения 1.35 цивилизаций в год, а вероятность контакта составляет величину $P \approx 0.05$, равновесие нарушается. Из-за положительной обратной связи между числом контактов, временем жизни цивилизаций и их дальнобойностью, чис-

ло цивилизаций и вероятность контакта начинают расти лавинообразно. Когда это происходит, число цивилизаций резко возрастает примерно на порядок и среднее число партнеров по контакту на одну цивилизацию достигает 10. Эти цифры могут зависеть от деталей принятых моделей, но качественное поведение достаточно стабильно. Этот фазовый переход (лавинообразный рост числа цивилизаций) завершается из-за того, что возможность «обучаемости» цивилизаций ограничена (см. рис. 5, слева). Наступает эра насыщения контактов ($F > 1.4$).

Затем в проводимом вычислении скорость возникновения новых цивилизаций искусственно останавливается и начинает уменьшаться.² Сначала точка на диаграмме движется в обратном направлении, повторяя траекторию роста F . Однако, когда достигается критическое значение $F = 1.35$ в год, обратного перехода из эры насыщения контактов в эру молчания не происходит, как можно было бы ожидать. Обратный переход предотвращается положительной обратной связью «число контактов – время жизни и дальнобойность». Происходит «закалка» популяции на очень высоком уровне, и эпоха насыщения контактов продолжается, несмотря на низкую скорость рождения новых цивилизаций. Здесь каждому значению F соответствует два разных стабильных состояния популяции цивилизаций: одно на нижней ветви петли гистерезиса и одно на верхней ветви. Это хорошо известное явление бистабильности, которое часто возникает в нелинейных системах. Когда вероятность контакта P опускается к значениям около 0.5, положительная обратная связь не может далее поддерживать состояние насыщения контактов от разрушения, число цивилизаций резко падает и возвращается эпоха молчания.

Существенно, что обратный переход наступает при значении F , много меньшем, чем прямой. Кроме того, прямой переход начинается при значении P , много меньшем единицы, поэтому непосредственно накануне перехода подавляющему числу цивилизаций должно казаться, что они единственные обитатели галактики. После перехода каждая КЦ, готовая потратить адекватные усилия на решение проблемы SETI, обеспечена несколькими партнерами по контакту.

Эффект бистабильности может быть крайне важным для судеб популяции КЦ нашей Галактики. Если переход в эру насыщения контактов когда-нибудь произойдет, то полученное состояние Галактики будет очень стабильным и может быть разрушено только при катастрофическом падении скорости возникновения новых цивилизаций. Но галактическое сообщество может этому воспрепятствовать, если прибегнет к стратегии направленной панспермии, как уже отмечалось выше в примечании.

Таким образом, с точки зрения возможности перехода Галактики в состояние насыщения контактов критически важно, каково максимально достигаемое значение скорости возникновения новых цивилизаций. Здесь ситуация

² Необходимо отметить: в реальности сообщество цивилизаций Галактики может этого и не допустить, занявшись направленной панспермией!

может оказаться радикально различной для сценариев постоянного происхождения жизни и происхождения жизни в фазовом переходе Галактики, так как в последнем случае может иметь место сильный, хотя и не очень продолжительный, скачок скорости образования цивилизаций. Его непродолжительность не играет существенной роли, так как во время скачка может произойти закалка популяции в состоянии насыщения контактов по механизму бистабильности, описанному выше, и после падения скорости возникновения цивилизаций количество их не упадет пропорциональным образом.

В заключение обратим внимание на одно слабое место представленной здесь нелинейной теории. В рассмотренной модели совершенно не учитываются флуктуации пространственной плотности КЦ, которые могут иметь очень большое значение. Предположим, что скорость рождения цивилизаций никогда не достигает критического значения, при котором происходит переход в эру насыщения контактов в нашей модели. Означает ли это реально, что переход в эру насыщения никогда не произойдет? Нет, не означает. Благодаря флуктуациям плотности случайно может образоваться локальное скопление нескольких цивилизаций, которые окажутся в зоне досягаемости друг друга. Тогда фаза насыщения контактов может возникнуть сначала локально, в зоне скопления. Благодаря положительной обратной связи остров фазы насыщения контактов может оказаться не только стабильным, но из-за увеличения предельного расстояния контакта будет вовлекать в сферу своего влияния более удаленные цивилизации, благодаря чему начнет расти. Так он со временем может охватить всю Галактику. Такими остовами избыточной плотности цивилизаций могут оказаться старые звездные скопления галактического диска. Большой интерес представляла бы количественная теория этого явления.

Литература

1. Аллен К. У. *Астрофизические величины*. – М.: Мир, 1977.
2. Meyer M. R., Adams F. C., Hillenbrandt L. A., Carpenter J. M., Larson R. B. // arXiv:astro-ph/9902198, 1999.
3. Сурдин В. Г. *Рождение звезд*. – М., 2001.
4. Twarog B. A. // *Astrophys. J.* 1980. – Vol. 242. – P. 242.
5. Meusinger H. // *Astrophys. Space Sci.* – 1991. – Vol. 182. – P. 19.
6. Панов А. Д. Prebiological panspermia and the hypothesis of the self-consistent Galaxy origin of life. Предбиологическая панспермия и гипотеза самосогласованного происхождения жизни в Галактике // *См. наст. сб.* – С. 36–41.

Dynamical Generalizations of the Drake Equation: the Linear and Non-linear Theories

A. D. Panov

The Drake equation pertains to the essentially equilibrium situation in a population of communicative civilizations (CCs) of the Galaxy, but it does not describe dynamical processes which can occur in it. Both linear and non-linear dynamical population analysis is build out and discussed instead of the Drake equation.

КРАСНЫЕ КАРЛИКИ И SETI

Планетные системы красных карликов и их цивилизации

Н. Сокулина¹, А. Фионов²

¹ООО «Геостройком», Россия

²Московский государственный Технический университет им. Н. Э. Баумана, Россия

Введение

Одна из главных проблем современной науки – проблема поиска жизни во Вселенной. В последние годы привлекает внимание изучение возможной обитаемости планетных систем красных карликов (M Dwarf Stars), характеризующихся малой звездной массой. Исследователи рассматривают преимущественно молодые звезды, их развитие и определяющие его процессы, обитаемые зоны около звезд, их формирование, а также условия и возможности жизни на планетах.

Авторов представленной статьи интересуют красные карлики, на которых могут существовать цивилизации в технологической фазе. Предполагаются некоторые природные особенности таких звезд и намечаются усовершенствование методики установления контакта со зрелыми цивилизациями, учитывающее уровень их развития.

Уже 50 лет многочисленные попытки исследователей установить контакт с внесезными цивилизациями (ВЦ) путем «подслушивания» сигналов Галактики положительных результатов не принесли.

Проблеме поиска ВЦ посвящена обширная литература. Основными положениями для большинства работ, разделяемых и авторами доклада, является признание самого существования ВЦ; их высокого технологического уровня; желания и возможности вступить в контакт с другими цивилизациями. Обмен информацией может стать дополнительным источником знаний для оптимизации пути их развития.

Успешное продвижение SETI требует решения двух первоочередных вопросов: поиск партнера по контакту и используемые каналы связи. Проводимые в настоящее время наблюдения SETI ориентированы на контакты с планетами звездных систем солнечного типа и опираются на опыт и представления земной цивилизации.

Выбор партнера по контакту в ВЦ

Наша планета относительно молода, а радиосвязь на ней существует чуть больше столетия. Но в Галактике могут существовать зрелые цивилизации с возрастом несколько миллиардов лет, накопившие знания о Вселенной, космических и физических законах [6]. К ним могут относиться и цивилизации, принадлежащие планетам звездных систем красных карликов, которые, по мнению автора, в дальнейшем могут быть объектами исследования.

На состоявшемся в июле 2005 г. заседании Междисциплинарной рабочей группы по изучению планет М-звезд, созданной Институтом SETI, были подведены итоги исследований и намечены актуальные теоретические и экспериментальные работы на будущее [9]. Принято решение о включении М-карликовых звезд в программы поиска обитаемых миров и доказательства жизни в них [14]. Некоторые ученые [1] предполагают, что М-карлики могут занять привилегированное положение при исследовании происхождения и развития жизни.

Кроме того, красные карлики могут быть предпочтительными объектами исследования и при поисках в ВЦ. Для Земли был бы важен опыт в изучении и применении альтернативных источников энергии, решении экологических проблем, улучшении здоровья населения, путей установления коммуникационных связей и др.

В пользу целесообразности исследований М-звезд свидетельствует следующее:

- красные карлики составляют большинство звезд в Галактике и вблизи Солнечной системы;
- возраст красных карликов может достигать 7–10 млрд лет, что позволяет предположить их стабильное развитие и присутствие зрелых цивилизаций на планетах;
- в системах красных карликов обнаружены экзопланеты, часть которых может находиться в обитаемой зоне (Gl 581);
- найдены экзопланеты, масса которых составляет 5.5–7.5 масс Земли [12], [2].

Сейчас известны примерно 110 М-карликовых звездных систем в пределах 8 пк от Солнца. Предполагается, что на расстояниях 150 пк находится около 700 000 звезд. Однако и сейчас на расстояниях 10–20 пк от Солнца остается множество М-звезд, не вошедших в каталоги.

Примерно 30 % известных М-звезд являются двойными, половина из которых представлена звездами почти равной массы [14]. Авторы рекомендуют включать в объекты исследований по поиску обитаемых планет звезды спектральных классов от М3 до М5.5, расположенные на расстоянии от Солнца до 10 пк, входящие в кратные системы со звездами более позднего спектрального класса.

Последнее обусловлено тем, что если возле звезд возраста 7–10 млрд лет существует более молодая звезда, то ее излучения могут поддержать жизнь

звезды и цивилизации стареющего красного карлика. Поэтому наиболее перспективными среди красных карликов нужно считать не одинокие звезды и не двойные звезды с равными массами, а звезды двойных и тройных систем и в первую очередь тех, в состав которых входят звезды поздних спектральных классов.

Условия обитаемости на планетах красных карликов

Обитаемая зона (Hz) на планетах М-звезд определяется как область вокруг звезды, в которой планета с атмосферой может содержать жидкую воду на поверхности. Это – основное требование жизни на Земле и самый важный критерий при поиске жизни, фиксируемой при астрономических наблюдениях [14]. Поверхностная вода должна существовать в течение длительного времени, чтобы успела возникнуть жизнь, а до периода появления ВЦ это время составляет более 4.5 млрд лет. Однако вода необходима на начальной стадии развития жизни и цивилизации, затем планета в продолжении своей жизни постепенно теряет атмосферу и поверхностную воду. Сроков этой потери мы не знаем, кроме качественной оценки влияния массы планеты на скорость процесса. У более массивных планет атмосфера и поверхностная вода сохраняются дольше (Земля и Марс).

Тем не менее развитые цивилизации должны представлять перспективы изменения условий на планете и подготовиться к ним. Можно предположить, что пока на планете и родительской звезде достаточно тепла и света для поддержания жизни, развитая цивилизация может обеспечить свое существование, например под поверхностью планеты, добывая воду и необходимые элементы из окружающих пород. Но такую развитую цивилизацию, находящуюся под поверхностью планеты, невозможно обнаружить привычными земным астрономическими методами.

Самая важная характеристика М-звезд заключается в их массе – от 0.8 до 0.08 солнечной массы. Она определяет основные свойства звезд и характеризуется относительно низкой температурой, малой светимостью, трудно определяемыми спектрами, особенно в УФ и рентгеновском диапазонах, затрудненным определением возраста звезд. Важным фактором, влияющим на обитаемые зоны планет, служит продолжительность жизни их звезд. Для звезд с массой 0.50, 0.20, 0.08 масс Солнца Лафлином, Боденхеймером и др. [11] была определена продолжительность жизни методом экстраполяции; она составила примерно 100, 1000 и 10000 млрд лет соответственно.

На основании этого были сделаны выводы, что продолжительность жизни звезд настолько превосходит планетную, что ее влияние может не учитываться при оценке сроков существования обитаемой зоны и жизни на планете [14].

Однако жизнь звезд представляет собой процесс, основанный на сложных ядерных реакциях, связанных с превращением водорода в гелий. Можно, по-видимому, надеяться, что последующие исследования в изучении физических процессов этих явлений позволят уточнить продолжительность жизни

М-звезд, что имеет важное значение для поисков ВЦ. Если для М-звезд с массой более 0.1 Солнца она не будет превышать 15–16 млрд лет, то постепенное снижение температуры и их излучения будут влиять на звезды старше 10 млрд лет и их цивилизации.

Корректировка стратегии поисков сигнала

Применительно к зрелым цивилизациям планетных систем красных карликов желательна корректировка стратегии наблюдений. Поскольку земная цивилизация выражает намерение выйти на контакт с ВЦ и достигла определенного технологического и духовного уровня развития (последнее – с долей условности), то развитые цивилизации могут пойти навстречу и передать сигнал землянам.

Есть несколько примеров предполагаемого приема сигналов от ВЦ. Об одном из них сообщил Ален Леабек [8]. Он опирался на наблюдения в июле 1957 г. экипажа боинга RB-47 ВВС США, согласно которым неотожествленный объект больше часа преследовал самолет на протяжении 1000 км. Электронное оборудование Боинга зарегистрировало излучение от неизвестного объекта в диапазоне частот 3 ГГц. Объект выполнял разумные маневры. Этот объект был зафиксирован и наземным радиолокатором. Основываясь на этом событии, Ален Леабек предложил ученым послать сигнал на частоте 3 ГГц при круговом обзоре и посмотреть, будет ли получен ответ от инопланетной цивилизации. Ниже предлагается несколько дополнить и уточнить постановку такого эксперимента.

Интересные данные были получены NASA в 2006 г. с помощью радиометра ARCADE при исследовании реликтового излучения Вселенной под руководством Алана Когута [7] (<http://estimateofthesituation.blogspot.com/2008/09/something-is-here.html>).

Во время исследования аппаратура находилась в стратосфере на высоте порядка 37 км над Землей. Измерения проводились в диапазонах частот 3, 5, 8, 10, 30 и 90 ГГц в течение 4 ч. Было обнаружено увеличение уровня реликтового излучения. Интенсивность сигналов оказалась в 5–10 раз выше ожидаемого излучения от других галактик. Наблюдался подъем температуры от 2.724 до 2.730 К в течение 87 с. Мы выдвинули гипотезу, что этот сигнал мог быть получен от ВЦ.

Учитывая опыт приведенных выше исследований применительно к зрелым цивилизациям планетных систем красных карликов (М-звезд), предлагается корректировка стратегии наблюдений для регистрации сигналов от ВЦ. Целесообразно использовать несколько (два–три) приемников субмиллиметрового диапазона, вынесенных за пределы земной атмосферы на высоту 40 км в течение 4 ч с проведением двух–трех сеансов приема. Это позволило бы отличить искусственные сигналы от шумовых. После получения сигнала предполагается его декодировка. Предполагается также, что сигнал идет от объекта, которым является цивилизация одной из планет звездной системы красного

карлика. Рассматриваемая методика получения сигнала относительно проста в применении и не требует больших финансовых затрат.

В качестве первоочередных объектов наблюдений можно предложить следующие звездные системы.

α Centauri C, спектральный класс M5.5V, две другие звезды системы (α Centauri A и B) принадлежат соответственно к спектральным классам G2V и K0V.

Сириус C, спектральный класс M5.5, обнаружен Д. Бенз и Ж. Л. Дюваном в 1995 [3], когда методом лучевых скоростей было зафиксировано возмущение двух других звезд системы сириуса. Сириус A относится к спектральному классу A1V, Сириус B – белый карлик – к классу D2A. Можно наметить звездную систему Gl 783, звезду Gl 783B, спектральный класс 4.0V, и звезду Gl 783A, спектральный класс K3V. Список может быть уточнен и расширен с появлением более подробных каталогов.

Передаче информации со сверхсветовыми скоростями посвящен ряд исследований. В классической физике вопрос о передаче информации со сверхсветовыми скоростями полностью закрыт. Теоретические и экспериментальные исследования в квантово-механических системах утверждают, что передача информации со скоростью, превышающей скорость света в вакууме возможна.

Б.Б. Кадомцев, базируясь на экспериментальных работах Ю.Л. Соколова, показывает возможность распространения сигнала со сверхсветовой скоростью [5].

В работе Б.А. Векленко на примере рассеяния возбужденным атомом квантованного электромагнитного поля теоретически показана возможность наличия сверхсветовых сигналов, передающих информацию [4]. В настоящее время не существует общепризнанных теорий и экспериментов по передаче информации со сверхсветовыми скоростями, но можно надеяться, что развитые цивилизации владеют средствами сверхсветовой коммуникации.

В данный момент земная наука не видит возможности сверхсветовой коммуникации в космическом пространстве. Исследования физики элементарных частиц и вакуума могут дать новые важные открытия.

Заключение

Предлагается изучение планет красных карликов. Авторы рекомендуют включить в объекты исследований по поиску обитаемых планет звезды спектральных классов от M3 до M5.5, расположенные на расстоянии от Солнца до 10 пк, входящие в кратные системы со звездами более позднего спектрального класса. Предполагается, что планеты звезд, имеющие возраст 7–10 млрд лет, могут лишиться атмосферы и поверхностной воды, что изменит условия существования и образ жизни цивилизаций и методику их поиска.

Возможно, имеет смысл по обнаружению цивилизаций около красных карликов, отправив за пределы земной атмосферы аппаратуру, способную принимать сигналы в субмиллиметровом диапазоне. Возможно, что ВЦ передают ин-

формацию в космическое пространство со сверхсветовой скоростью и можно будет принять сигнал от ВЦ.

Литература

1. *Basri G., Stassun K., Ardila D.* // The origin of X-rays in pre-main-sequence stars: poster 105.09 presented at the AAS 205th Meeting. – San Diego, CA, 2004.
2. *Beaulieu J., Bennett D., Fouque P.* et al. Discovery of a cool planet of 5.5 Earth masses through gravitational microlensing // *Nature*. – 2006. – 439. – P. 437–440.
3. *Benest D., Duventy L.* Is Sirius a Triple star? // *Astron and Astrophys* – 1995. – Vol. 299. – P. 621–628.
4. *Векленко Б.А.* Прикладная физика. – 2010. – № 3. – С. 10–17.
5. *Кадомцев Б.Б.* Успехи физических наук. – 1994. – Т. 164. №5. – С. 449–530.
6. *Кардашев Н.С.* // Земля и Вселенная. – 2002. – № 4.
7. *Kogut A., Fixsen D., Levin S., Limon M.* et al. ARCADE 2 Observations of Galactic Radio Emission 2011 *ApJ* 734 4/
8. *Korbitz Adam.* Paris SETI Conference at UNESCO. «Something is Here» September 25, 2008.
9. *Lammer H., M Stars planet Habitology* // *Astrobiology*. – 2007. Vol. 7, № 1. – P. 27–29.
10. *Laughlin G., Bodenheimer P.* Luminosity functions for very low mass stars and brown dwarfs // *Astrophys. J.* – 1993. – 403. – P. 303–314.
11. *Laughlin G., Bodenheimer P., Adams F.C.* The end of the main sequence // *Astrophys. J.* – 1997. – 482. – P. 420–432.
12. *Rivera E., Lissauer J.* et al. A 7.5 Earth-mass planet orbiting the nearby star, GJ 876 // *Astrophys. J.* – 2005. – 634. – P. 625–640.
13. *Scalo J.M., Kaltenegger L.* et al. M stars as targets for terrestrial exoplanet searches and biosignature detection // *Astrobiology*. – 2007. – Vol. 7, № 1. – P. 85–166.
14. *Tarter J., Baskus P.* et al. A Reappraisal of the Habitability of Planets Around M Dwarf Stars // *Astrobiology*. – 2007. – Vol. 7, № 1. – P. 30–65.

Red Dwarves' Planetary Systems and Their Civilisations

N. Sokulina¹, A. Fionov

For 50 years the researchers' numerous attempts to establish contacts with Extraterrestrial Civilizations (EC) by "tapping" Galaxy's signals have not any positive results. Observations carried out by the SETI now are focused on contacts

with planets of solar type stellar systems, with the use of the terrestrial civilization experience and conceptions.

The choice of stars-objects of researches is up for discussion. According to the author, Red Dwarves can be further preferable research objects of the SETI. Following points are indicative of this fact:

- Red dwarves belong to the majority of stars in the vicinity of the Sun,
- Exoplanets have been discovered in Red dwarves' systems, a part of them can be located in the inhabited zone (Gl 581),
- Exoplanets with low metallicity have been discovered in Red dwarves' systems,
- Red Dwarves can attain the age of 7–11 gigayears, which allows assuming the presence of mature civilizations.

The author suggests that stars of spectral types from M3 to M5.5 located up to 10 parsecs away from the Sun and forming binary systems with stars of a later spectral type should be put on research objects lists. The latter fact can be explained in the following way: if there is a younger star near stars, which are 8–10 gigayears old, its energy can support life of a civilization of the aging Red Dwarf. That's why not solitary stars, but stars of binary systems, stars of late spectral types in the first place, are to be considered to be the most promising ones among the Red Dwarves. It's reasonable to search for systems with Red Dwarves close to giant stars.

In respect to mature civilizations of Red Dwarves' planetary systems observation strategy correction is advisable. Particularly, it's reasonable to use several receivers of submillimetric range carried outside the terrestrial atmosphere for simultaneous signals registration. It will help distinguish artificial signals from noise signals.

In quantum-mechanical systems information can be transmitted with speed exceeding light speed to endlessly high speed [1, 2]. Hopefully, the ancient civilizations on the planets in the vicinity of Red Dwarves possess superluminal communications, which will help to establish informational contact with them. The considered possibilities in principle can yield real results after minor amendments.

КРАСНЫЕ КАРЛИКИ И SETI

Конец социума и проблема SETI

С. А. Язев^{1,2}

¹Астрономическая обсерватория Иркутского государственного университета,
Россия

²Институт солнечно-земной физики СО РАН, Россия

Тенденции быстрого развития технических возможностей земной цивилизации свидетельствуют о том, что в обозримом будущем станет возможной расшифровка пока еще во многом загадочного способа кодирования информации, который реализован человеческим мозгом. Проблемы, связанные с этими тенденциями, рассматривались, в частности, в футурологических работах Станислава Лема [1] и других авторов. На самом деле, основные принципы указанного способа кодирования уже становятся понятными, и есть надежда, что успех не за горами. Цель настоящей работы – оценить возможные следствия будущих технических достижений на этом пути в контексте проблематики SETI.

Близкое ожидаемое будущее

Нет сомнений, что на основе ожидаемой расшифровки способа, применяемого мозгом для кодирования информации, возникнут новые типы компьютеров, реализующие на практике этот принцип. При этом не так уж важно, будут ли эти новые компьютеры обладать более высоким быстродействием по сравнению с современными. Гораздо более существенно то, что в отличие от ситуации с нашими сегодняшними представлениями о механизмах работы мозга алгоритмы работы новых компьютеров будут полностью известны. В результате станут возможными сопряжение блоков памяти, взаимодействие процессоров и обмен информацией для компьютеров нового и старого типов. По сути это означает, что появится возможность сопрягать компьютер и человеческий мозг (наглядный образ – USB-порт на виске человека). Новый тип компьютера сможет работать как своеобразный модем для обмена информацией между компьютером и мозгом. Это будущее открытие в техносфере должно радикально изменить нашу цивилизацию. Понятно, что объединение мозга с компьютером на самом деле открывает путь к революционному событию – непосредственному объединению сознаний многих людей в единую сеть, минуя промежуточные и опосредованные способы типа интернета.

Еще одно быстро развивающееся направление научно-технического прогресса подводит нас к порогу овладения технологиями манипуляций с геномом человека. На смену нынешней эпохе проб и ошибок придет эпоха, когда будут освоены успешные генетические операции с планируемыми (и практически достижимыми) результатами. Эти технологии, очевидно, обеспечат возможность реализовать на практике евгенические процедуры, позволяющие, например, повышать возможности интеллекта личности до уровня гения, а также изменять физиологию и анатомию человека в заданном направлении. Примеры наблюдаемых в природе мутаций показывают, что в принципе возможны самые разнообразные варианты форсирования возможностей организмов. Это означает, что подобные изменения возможны, причем не только благодаря случайным неконтролируемым процессам, но и в итоге сознательного планирования и развития соответствующих технологий. По-видимому, на пути такого развития стоят не принципиальные, а чисто технические, а следовательно временные и в целом преодолимые трудности.

Безусловно, есть и этические проблемы: речь идет о том, что впервые за всю историю земной биосферы у нас на глазах начинается сознательное вмешательство в природу человека, причем на уровне не фенотипа, а генотипа [2]. При этом можно ожидать лавинообразной дифференциации генотипа человека.

Несомненно, как и бывает на рубеже новых революционных научных достижений, должны возникнуть политические и социальные силы, препятствующие этим исследованиям, подобно распространенной тенденции запрещать работы по клонированию человека. Тем не менее опыт показывает, что любые технические достижения, которые становились возможными на той или иной стадии развития человечества, всегда немедленно реализовывались, несмотря на противодействие [2]. Характерное время решения большинства технических проблем на отмеченных базовых направлениях развития, начиная от сегодняшнего уровня, оценивается автором в период от 50 до 200 лет, что пренебрежимо мало по сравнению с продолжительностью жизни человечества. Весьма вероятно, что именно на этот революционный скачок указывают С.П. Капица, А.Д. Панов и Г.М. Бескин, прогнозирующие глубокие качественные изменения в жизни человечества в ближайшем будущем [3–5].

Следствия ожидаемых изменений

Следствием обсуждаемых достижений явится исчезновение социума в привычном смысле этого слова. Объединение сознаний отдельных личностей сначала через компьютерные сети, а затем, возможно, и напрямую приведет к возникновению единого сознания и единой памяти личностей, желавших объединиться (либо вынужденно оказавшихся) в brain-net. Это означает, с одной стороны, создание единой бессмертной надличности с фактически неограниченной и вечной памятью, а с другой стороны – появление нового типа сознания на базе объединения многих генетически форсированных сознаний отдельных индивидуумов.

Свойства такого сознания трудно себе представить. Будет ли похоже новое сознание на сознание сегодняшнего человека? Как будут взаимодействовать в едином сознании воспоминания разных личностей и их собственные личные качества? Какими будут личностные качества нового типа сознания и будут ли они вообще существовать в привычном смысле этого слова? Можно попытаться построить модель такого состояния, но трудно сказать, какое отношение эта модель будет иметь к действительности. По-видимому, только будущий опыт сможет дать корректный ответ на эти вопросы.

Эвристические возможности нового сознания также трудно себе представить. Очевидно, что они должны многократно превосходить возможности отдельного индивидуума. То, что мы называем интуицией (неосознанное решение задач с участием подкорковых областей мозга), возможно, также получит развитие при совместной направленной работе системы объединенных сознаний.

В результате такого варианта развития социум и традиционная культура должны исчезнуть, объединившись в единый разум. В итоге исчезнут политика и экономика, по сути, представляющие собой способы организации взаимодействия отдельных личностей. Следует ожидать, что при исчезновении отдельных личностей исчезнет и их взаимодействие.

Чрезвычайно важным и неопределенным является при переходе к единому сознанию вопрос о трансформации половой природы личности отдельного человека, которая во многом определяет поведение, жизненную стратегию, культурные коды, ценности и стимулы. Можно утверждать, что большинство человеческих проблем в широком смысле порождается недостатком информации о том, что думают и чувствуют другие люди. При возникновении феномена единого сознания эта проблема исчезает (вероятно, порождая новые). Что будет инстинктивной и эмоциональной сферой в целом, будет ли она каким-то образом замещаться, трансформироваться или исчезнет – остается (автору) непонятным. Вероятнее всего, эта сфера также станет рационально управляемой.

Очевидно, для повышения эффективности единого сознания будут осуществляться реконструкции строения мозга. Для одновременного участия множества сознаний в едином процессе мышления, по-видимому, потребуется некий аналог центрального процессора с повышенными характеристиками (супермозг), который способен «запрашивать» и «подключать» отдельные сознания. Не исключен и альтернативный вариант – разветвленное параллельное мышление отдельных сознаний. Эти оценки очень грубы и отражают наши сегодняшние алгоритмы решения задач на сегодняшних электронных устройствах. По-видимому, будущая структура единого мышления может оказаться организованной иным, не известным в настоящее время.

Можно ожидать, что новое сознание сделает возможным преобразование физиологии носителей элементов сознания (людей) адекватно новому состоянию. Если сознание будет сопряжено с новыми (а через них и старыми) компьютерами, мозг как единственный пример материального носителя сознания

может оказаться не самым эффективным и не самым удобным вариантом реализации «мыслительного процессора». Другие варианты воплощения физиологии могут быть самыми разнообразными, включая, например отказ от биологического тела, использование в качестве материального носителя сознания структурированных физических полей и т. д. По-видимому, станет возможным использование разных биологических объектов как своеобразных интерфейсов единого сознания, когда его подключение, например к мозгу дельфина, летучей мыши или птицы, даст возможность чувственного восприятия ультразвука или магнитного поля. Может стать частной инженерной задачей создание новых органов чувств, способных воспринимать, например, радиацию, радиоволны, направление градиента магнитного поля, низкочастотные и высокочастотные колебания, потоки элементарных частиц и т. д. При появлении новых сенсоров должна существенно измениться картина мира.

В контексте проблемы SETI это означает, что способный к контакту разум (возникший на основе земной либо некой иной цивилизации) с высокой степенью вероятности будет представлять собой не социум, а некий объединенный разум второго поколения на неизвестной нам материальной основе с неизвестными пространственно-временными характеристиками. Цивилизация, не достигшая этого уровня, неспособна на межзвездные контакты (пример – человечество в XIX в.). Продолжительность переходного периода к новому состоянию на этапе научно-технической революции, по-видимому, очень невелика (мгновение по космологической шкале времени), поэтому вероятность контакта на этой стадии представляется исчезающе малой. После перехода должны появиться совершенно новые способы восприятия окружающего мира и новые приемы существования в нем.

В любом случае можно быть уверенными, что цивилизации, способные к контакту, – это не зеленые человечки, летающие на межзвездных крейсерах, и даже не общество, обладающее сверхмощными радиотелескопами для приема/посылки сигналов. Такие образы экстраполируют в будущее наши представления о современном состоянии социума, который в цивилизациях нового поколения, вероятнее всего, просто отсутствует.

В связи с указанными выше соображениями поиск в рамках программ SETI признаков существования внеземных цивилизаций в виде социумов, подобных земному, выглядит, с точки зрения автора, стратегически ущербным, поскольку высока вероятность крайне быстрой трансформации развитого социума в новое состояние объединенного сознания. Внешние проявления деятельности такого нового поколения разума должны сильно отличаться от таковых для социума. Вероятнее всего, на этом этапе развития должен прекратиться технологический режим развития цивилизации, поскольку становятся возможными более тонкие и эффективные способы взаимодействия со средой обитания, чем сооружение машин и механизмов.

Выводы

Можно ожидать гигантский разрыв между уровнем интеллекта отдельной личности и обсуждаемого разума второго поколения, миновавшего стадию объединения индивидуальных сознаний. Вероятнее всего, проблема SETI будет немедленно решена после перехода социума к состоянию единого сознания, когда наша сегодняшняя неспособность адекватно проанализировать и понять окружающую реальность, включающую в себя проявления иных разумов во Вселенной, микромире и даже в нашем непосредственном окружении [6, 7], с легкостью будет преодолена.

Сегодня мы оперируем выражениями типа «великое молчание космоса» и «величайшая проблема астрономии» [7] и считаем, что проблема Ферми есть, – это одна из серьезнейших проблем в картине мира человечества, что, видимо, по большому счету правильно. Однако можно себе представить, что после растворения социума в будущем едином сознании проблема SETI также растворится, поскольку перестанет быть проблемой: скорее всего, новый разум легко обнаружит многочисленные проявления подобных сознаний и в микромире, и в масштабах Метагалактики.

Появление единых сознаний в результате объединения индивидуальных разумов можно рассматривать как естественный эволюционный этап в развитии Вселенной. Возможно, мы не воспринимаем проявления другого разума подобно младенцу, не осознающему существования огромного количества предметов вокруг себя, помимо жизненно важных для себя (собственных родителей). По мере развития младенца, его восприятие мира меняется, хотя практически не успевает измениться сам окружающий его мир. Не исключено, что в обозримом будущем наше новое сознание сможет с легкостью воспринять смысл того, по чему сегодня наш взгляд лишь равнодушно скользит.

Автор чрезвычайно признателен Сергею Александровичу Шумскому (ФИАН) за полезные дискуссии и обсуждения.

Литература

1. Лем С. Молох. – М.: АСТ; Транзиткнига, 2005. – 781 с.
2. Язев С.А. Феномен гипотетических цивилизаций-функций / Бюл. САО. – 2007. – Т.60–61. – С.195–199.
3. Kapitsa S.P. Global Population Blow up and After. The demographic revolution and information society. A Report to the Club of Rome. Hamburg: Global Marsall Plan Initiative; Moscow: Tolleganza, 2007.
4. Panov A.D. Scaling law of the biological evolution and the hypothesis of self-consistent galaxy origin of life // Advances in Space Research. – 2005. – Vol. 36. – P. 220–225.
5. Beskin G.M. The demographic transition and great silence – does sociocosmological constant exist? // Бюл. САО. – 2007. – Vol. 60–61. – P.187–194.

6. *Efremov Yu.N.* Where are they? // Bull. SAO – 2007. – Vol. 60–61. – P.158–161.
7. *Ефремов Ю.И.* Величайшая проблема астрономии // Земля и Вселенная. – 2011. – № 3. – С. 3–23.

The End of Socium and the SETI Challenge

S. A. Yazev

Evolution trends of terrestrial civilization testify that information encoding methods typical of human brain will be accessible in the foreseeable future. This implies that development of a uniform network of people's mind (brain-net) will be possible. These achievements will lead to disappearance of socium (in the common sense of the word), since all this will give rise to common mind and common base of human memory united in the brain-net. On the one hand this implies creation of an immortal supraperson with unlimited memory, but on the other, this will result in a new type of mind based on genetically accelerated minds of many people united together. This development will cause disappearance of socium and traditional culture, giving rise to the common mind of the second generation. The SETI problem will most probably be solved after transition to the common mind, when we tackle an issue related to our inability to analyze and understand the surrounding reality (including existence of other civilizations) on the new level.

Содержание

Опасно ли посылать сигналы внеземным цивилизациям? <i>Л. М. Гиндилис</i>	3
Звезда радиосигнала «Wow!» и другие объекты в этой области неба <i>Г. А. Гончаров</i>	10
Пишем послания внеземным цивилизациям <i>С. Дюма</i>	21
Метод главных компонент и его применение <i>С. Дюма</i>	31
Вероятность создания межзвездной империи <i>С. Дюма, Ю. Дутил</i>	42
Величайшая загадка Вселенной <i>Ю. Н. Ефремов</i>	53
МЕТИ: Послания внеземным цивилизациям <i>А. Л. Зайцев</i>	69
Предбиологическая панспермия и гипотеза самосогласованного происхождения жизни в Галактике <i>А. Д. Панов</i>	94
Динамические обобщения формулы Дрейка: линейная и нелинейная теории <i>А. Д. Панов</i>	101
Планетные системы красных карликов и их цивилизации <i>Н. Сокулина, А. Фионов</i>	114
Конец социума и проблема SETI <i>С. А. Язев</i>	121

Научное издание

**Труды Института прикладной астрономии РАН
Выпуск 22**

Издано по решению Ученого совета
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт прикладной астрономии Российской академии наук
от 19 марта 2012 г. Протокол № 4

Контрольное редактирование Л. С. Тихомирова (изд-во «Наука»)
Редактор С. Н. Кокарева
Компьютерная верстка И. В. Прокофьева

Печатается с оригинал-макета, подготовленного в ИПА РАН
Подписано к печати 28.06.2012. Формат 70 × 100/16
Печать офсетная. Тираж 100 экз. Тип. зак. № 296
Усл. печ. л. 28.6. Уч.-изд. л. 9.0

Санкт-Петербургская издательская фирма «Наука» РАН
199034, Санкт-Петербург, Менделеевская линия, 1
main@nauka.nw.ru
www.naukaspb.com

Отпечатано в ЗАО «Полиграфическое предприятие № 3»
191014, Санкт-Петербург, Литейный проспект, д. 55

ISBN 978-5-02-038182-7



9 785020 381827