

1555 792

ВНЕЗЕМНЫЕ ЦИВИЛИЗАЦИИ

ЕРЕВАН - 1965

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՍՍՏ ԳԵՏՈՐԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
ԲՅՈՐԱԿԱՆ ԱՍՏՐՈՖԻԶԻԿԵՍԿԱՅԱ ՕԲՍԵՐՎԱՏՈՐԻԱ

ԱՐՏԱԵՐԿՐԱՅԻՆ ՔԱՂԱՔԱԿՐԹՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

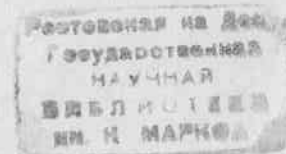
1964 թ. ՄԱՅԻՍԻ 20--23 ԲՅՈՒՐԱԿԱՆՈՒՄ ԿԱՅԱՑԱԾ
ԽՈՐՀՐԴԱԿՑՈՒԹՅԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԸ

ՀՍՍՏ ԳԵՏՈՐԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՀՐԱՏՈՐԱԿՉՈՒԹՅՈՒՆ
ԵՐԵՎԱՆ 1965

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
БЮРАКАНСКАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ

ВНЕЗЕМНЫЕ ЦИВИЛИЗАЦИИ

ТРУДЫ СОВЕЩАНИЯ
БЮРАКАН, 20—23 МАЯ 1964 г.



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
ЕРЕВАН 1965

Сборник «Внеземные цивилизации» содержит труды Первого всесоюзного совещания, посвященного проблеме внеземных цивилизаций, состоявшегося в Бюраканской астрофизической обсерватории Академии наук Армянской ССР в мае 1964 г.

Исходя из множественности обитаемых миров во Вселенной, в сборнике дискутируются возможности существования инопланетных цивилизаций с различными уровнями развития и рассматриваются возможные способы установления с ними связи. При этом признано, что наиболее целесообразным средством связи являются передача и прием радиосигналов. Детально обсуждены критерии распознавания среди множества естественных радиосигналов, принимаемых из Вселенной радиоастрономами, искусственных радиосигналов, посылаемых технически развитыми внеземными цивилизациями, и методы их выделения. Затронуты также вопросы космической лингвистики.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Проблема существования и развития разумной жизни во Вселенной имеет важнейшее научное и мировоззренческое значение. На определенном этапе, в связи с возможностью осуществления контактов с внеземными цивилизациями, эта проблема неизбежно приобретет исключительное значение и для общественной практики человечества.

Современным астрономическим приборам доступна область пространства радиусом около 10 миллиардов световых лет. В этой части Вселенной находится около 10^{10} галактик или примерно 10^{20} звезд. В пределах этой области материя наблюдается в тех же формах, которые известны нам на Земле. Все данные современной астрофизики показывают, что в пределах наблюдаемой области Вселенной справедливы основные законы физики. Почти всюду наблюдается примерно одинаковый химический состав материи. Не существует каких-либо причин, которые позволили бы выделить Солнечную систему среди 10^{20} звезд в доступной наблюдениям области Вселенной. И нет каких-либо аргументов, опровергающих возможность существования разумной жизни на других планетных системах. По весьма грубым и гипотетическим оценкам одна цивилизация во Вселенной должна приходиться на 10^6 — 10^{12} звезд. Следовательно, среднее расстояние между цивилизациями должно быть не менее нескольких сотен световых лет, а возможно, даже больше тысячи световых лет.

В настоящее время успехи астрономии и биологии позволяют поставить изучение вопроса о множественности обитаемых миров во Вселенной на прочные научные основы. Современный уровень радиотехники позволяет обеспечить дальнейшую межзвездную радиосвязь. Радиоастрономия накопила богатый опыт обнаружения и анализа источников космическо-

го радиоизлучения вплоть до расстояний в миллиарды световых лет. Развитие кибернетики, общей теории языка и математических методов исследования дает необходимые средства для изучения закономерностей передачи и приема информации от внеземных цивилизаций и для объективного анализа кодированных сигналов и разработки вопросов космической лингвистики.

Итак, если до последнего времени задача установления связи с внеземными цивилизациями была практически невыполнима, то в настоящее время имеются серьезные предпосылки для решения этой крупной научно-технической задачи.

Настоящий сборник содержит материалы Первого все-союзного совещания, посвященного проблеме внеземных цивилизаций и установления связи с ними. Это совещание явилось первым опытом разностороннего обсуждения данного вопроса.

Совещание состоялось в мае 1964 года в Бюраканской астрофизической обсерватории Академии наук Армянской ССР. На совещании с содержательными и интересными докладами выступили и активно участвовали в развернувшихся дискуссиях академик В. А. Амбарцумян, академик Я. Б. Зельдович, академик В. А. Котельников, член-корр. АН СССР А. А. Пистолькорс, член-корр. АН СССР В. И. Сифоров, видные ученые Н. Л. Кайдановский, Б. В. Кукаркин, Д. Я. Мартынов, В. С. Троицкий, С. Э. Хайкин, И. С. Шкловский и многие другие представители различных научных учреждений Москвы, Ленинграда, Еревана, Горького, Новосибирска.

Сборник представляет большой интерес как для научных работников и инженеров в области астрономии, радиоастрономии, радиосвязи и других смежных наук, так и для широкого круга читателей.

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО

В. А. АМБАРЦУМЯН

Бюраканская астрофизическая обсерватория АН Армянской ССР

Настоящее совещание посвящается проблеме внеземных цивилизаций (ВЦ). Оно является первым опытом разностороннего обсуждения данного вопроса. Рассматриваемая проблема принадлежит к числу таких, которые еще находятся в стадии оформления. Во многих отношениях еще не ясна постановка вопроса.

Однако мы все чувствуем, что наука, в частности советская наука, не может пройти мимо вопроса о существовании внеземных цивилизаций и возможности установления связи с ними. Если на нашем совещании нам удастся добиться правильной постановки хотя бы некоторых вопросов, относящихся к ВЦ, наметить первые шаги, необходимые для разрешения проблемы, словом, сделать ее менее аморфной, чем она представляется нам сейчас, то совещание оправдает себя. Во всяком случае, я надеюсь, что после совещания мы сможем сказать, что оно было созвано не преждевременно.

Нам представляется, что проблема ВЦ может быть разделена на три части: а) вопрос о существовании ВЦ в аспекте астрономических предпосылок для развития жизни и цивилизации в отдаленных планетных системах; б) задача обнаружения ВЦ и связи между ними, а в первую очередь нашей связи с ними; в) проблема языка и содержания информации, которая может передаваться. При этом очевидно, что эта последняя проблема должна ставиться по-разному, в зависимости от того, имеем ли мы дело с односторонней или двусторонней связью. Ведь необходимо иметь в виду, что при

больших расстояниях, превосходящих, скажем, тысячи световых лет, я уже не говорю о связи с другими галактиками, практически можно говорить лишь об односторонней связи, что в значительной мере ограничивает возможные цели этой связи и характер передаваемой информации.

Прежде чем говорить по вопросу о существовании цивилизаций в отдаленных планетных системах (мы уверены, что в нашей планетной системе нет развитых цивилизаций, кроме земной), следует остановиться на представлениях о возможных матеральных системах, являющихся носителями таких цивилизаций.

В нашем обычном представлении носителем цивилизации может быть общество, состоящее из членов, более или менее подобных друг другу, каждый из которых способен принимать, накапливать, хранить, перерабатывать и выдавать информацию.

Предполагается также, что сами эти члены являются биологическими организмами. Связь с ВЦ рассматривается как связь с подобными обществами.

Однако можно вообразить себе и другие типы носителей ВЦ. Предварительные соображения показывают, что заранее нельзя отвергать возможность существования подобных носителей. Например, можно представить случай, когда носителем ВЦ является единая кибернетическая система, *не состоящая* из автономных частей, каждая из которых может быть в свою очередь носителем цивилизации. Другим примером носителя, не похожего на человеческое общество, может служить система, состоящая из совокупности автономных, но строго специализированных кибернетических машин и автоматов.

Мы не будем продолжать фантазировать о возможных моделях носителей ВЦ, но отметим, что, конечно, биологическое развитие, по-видимому, может повести на первых порах лишь к образованию систем, состоящих из отдельных членов, однако вслед за этапом биологического развития могут появиться условия для возникновения носителей иного рода.

На настоящем этапе наших знаний следует считать все же, что биологическое развитие является важнейшим усло-

вием для появления цивилизации, независимо от тех форм, которые она в дальнейшем может принять. Поэтому вопрос об астрономических предпосылках существования ВЦ является прежде всего вопросом о диапазоне астрономических условий, при которых возможно возникновение жизни и последующее весьма длительное развитие, ведущее к появлению разумных существ и достижению тех или иных ступеней цивилизации. Если этот диапазон будет определен, то имеющиеся уже данные звездной астрономии могут служить основой для серьезных статистических расчетов о частоте встречаемости благоприятных условий. Правда, для этих расчетов не достает важного звена: мы еще не знаем *общих закономерностей* строения планетных систем, поскольку нам известно строение лишь нашей планетной системы. Ведь вполне возможно, что такие свойства нашей планетной системы, как приблизительная компланарность и почти круговой характер планетных орбит, закон Боде-Тициуса, являются характерными лишь для солнечной системы или же являются частными проявлениями более общих закономерностей.

Повышение точности изучения собственных движений ближайших звезд на один порядок значительно улучшило бы положение дела. Но все же на примере солнечной системы мы уже знаем, каковы возможные диаметры планетных орбит и размеры планет, что очень существенно для пояснения возможных условий вокруг других звезд.

Каковы же важнейшие астрономические параметры, значения которых определяют наличие предпосылок для появления жизни и цивилизации? Конечно, при этом имеется в виду жизнь на той же приблизительно химической основе, которая реализована на Земле.

Таковыми параметрами в первую очередь, по нашему мнению, являются: а) звездная постоянная, являющаяся для данной планеты аналогом солнечной постоянной и характеризующая поток энергии, падающей на единицу поверхности планеты; б) цветовая температура звезды, имеющая огромное значение, поскольку фотохимические процессы весьма существенны для развития жизни; в) длительность жизни звезды.

Наряду с этими параметрами необходимо учитывать и такие, которые кажутся менее существенными, но значение которых в определенных условиях может быть решающим. Такими дополнительными параметрами являются, например, а) наклон экватора планеты к плоскости ее орбиты, б) период вращения планеты вокруг своей оси, в) ускорение силы тяжести, г) двойственность или переменность звезды. Можно, например, думать, что сильная переменность является фактором, затрудняющим нормальное развитие жизни.

Наряду с астрономическими параметрами весьма существенны различные планетографические и планетохимические характеристики. Очевидно, что большую роль должно играть наличие атмосферы, ее состав и мощность. Как известно, для развития жизни весьма важную роль играло море, поэтому наличие или отсутствие океанов тоже имеет большое значение. Наконец, для развития цивилизации на ее первоначальных ступенях может иметь значение изрезанность рельефа, размеры материков и другие факторы, относящиеся к суше.

Не питая никаких сомнений относительно многочисленности космических объектов, на которых в данный момент существует жизнь и цивилизация, мы должны продумать более глубоко вопрос о возможных различиях в техническом уровне цивилизации. Хотя возраст человеческой цивилизации, в широком смысле этого слова, должен оцениваться несколькими тысячелетиями, все же современная техническая цивилизация имеет всего лишь двухвековую историю. С точки зрения рассматриваемого предмета весьма существенно также, что представления о звездной системе, т. е. те представления, на которых основаны идеи о множественности возможных цивилизаций, возникли и развились за последние два века. Между тем, возрасты планет могут отличаться друг от друга на миллионы лет. Отсюда, по-видимому, следует, что и уровни цивилизаций могут отличаться друг от друга на миллионы лет. С этой точки зрения следует считать, что земная цивилизация имеет колыбельный возраст и что должны существовать огромные различия в уровне возможных ВЦ.

Поэтому проблема связи между ВЦ есть по существу проблема связи между цивилизациями, находящимися на

совершенно различных уровнях развития. Каждый понимает, что уровень и характер цивилизаций, начиная с определенного этапа, сильно меняются даже за одно столетие. Трудно представить поэтому изменения, которые могут произойти за сотни тысяч и миллионы лет.

Практическая задача состоит в том, чтобы, находясь в колыбельном возрасте, найти наиболее разумные технические решения, а также язык для связи с ВЦ, находящимися на гораздо более высоком уровне. Всем этим проблемам будут посвящены доклады и выступления на нашем совещании.

ПРОБЛЕМА ВНЕЗЕМНЫХ ЦИВИЛИЗАЦИЙ

МНОЖЕСТВЕННОСТЬ ОБИТАЕМЫХ МИРОВ И ПРОБЛЕМА УСТАНОВЛЕНИЯ КОНТАКТОВ МЕЖДУ НИМИ

И. С. ШКЛОВСКИЙ

Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга,
МГУ, Москва

Проблема, сформулированная в заглавии этой статьи, имеет многовековую историю. (См. нашу книгу «Вселенная, жизнь, разум», Изд-во АН СССР, Москва, 1962). Однако только в наши дни эта одна из важнейших проблем, когда-либо стоявших перед человечеством, может быть поставлена на научную основу.

Это объясняется теми исключительными успехами, которые были достигнуты в астрофизике, радиоастрономии, кибернетике, биологии на молекулярном уровне и смежных науках за последние 1—2 десятилетия. Само развитие наук о природе и обществе с необходимостью ставит эту проблему именно в наши дни. Нельзя считать случайностью тот факт, что за последние 3—4 года появилось уже свыше 100 работ, посвященных различным аспектам этой проблемы. Выходят сборники статей, устраиваются первые конференции. Имеются все основания утверждать, что мы являемся свидетелями возникновения новой науки, находящейся на стыке таких наук, как астрофизика, радиоастрономия, биология, техника и... социология, науки, еще не получившей своего названия, но уже привлекающей самое пристальное внимание не только специалистов, но и широких слоев общества.

Каковы же те конкретные достижения науки, которые сделали возможной в наши дни серьезную постановку во-

проса о множественности обитаемых миров во Вселенной и о типах возможных контактов между ними?

1. Установление с большой вероятностью важнейшего факта огромной распространенности планетных систем в Галактике. Помимо хотя и косвенных, но достаточно убедительных аргументов, связанных с особенностями вращения звезд различных спектральных классов вокруг своей оси (подробно об этом см. цитированную выше мою книгу, которая в дальнейшем будет обозначаться символом [1]), в самое последнее время появилось прямое доказательство. Известный американский специалист по фотографической астрометрии ван де Камп в прошлом году нашел, что одна из самых близких к нам звезд — «летающая звезда Барнарда» имеет невидимого спутника рекордно малой массы. Измерение ничтожно малых колебаний в собственном движении этой звезды (равном $10''$ в год — наибольшая величина из всех известных) позволило сделать вывод, что масса вызывающего эти малые колебания невидимого спутника всего лишь в 1.5 раза больше массы Юпитера, большая полуось довольно эксцентричной орбиты равна 4.4 астрономической единицы, а период обращения составляет 24 года. Сама звезда Барнарда представляет собой красный карлик спектрального класса M5, ее радиус составляет $\frac{1}{6}$ солнечного, а масса — 0.15 солнечной.

Объект с массой всего лишь в 1.5 раза большей массы Юпитера не может быть самосветящимся телом. Слишком низка температура его недр — всего лишь несколько сот тысяч градусов. Поэтому термоядерные реакции, являющиеся источником энергии подавляющего большинства звезд, там почти не будут происходить. Такое космическое тело почти наверняка является планетой-гигантом, сходной с нашим Юпитером.

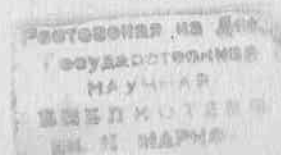
Тот факт, что около одной из самых близких к нам звезд оказалась планета, со всей убедительностью говорит об огромной распространенности планетных систем в Галактике, и в этом величайшее значение открытия ван де Кампа. Правда, следует иметь в виду, что орбита гигантской планеты, движущейся вокруг звезды Барнарда, является резко эллиптической, в то время как орбиты почти всех планет Солнечной

системы, в том числе планет-гигантов Юпитера и Сатурна, близки к круговым. Неясно, может ли такое различие иметь качественный характер.

Во всяком случае, множественность планетных систем в Галактике представляется установленной с весьма высокой степенью вероятности.

2. Большое значение для обсуждаемой проблемы имеют недавние общеизвестные успехи биологии на молекулярном уровне, биофизики и биохимии, которые впервые приоткрыли завесу над тайной происхождения и сущностью жизни. Без этих успехов биологических и химических наук не может быть и речи о понимании возникновения жизни на Земле и других планетах. Следует, однако, подчеркнуть, что пока только намечены пути решения этой проблемы. Еще предстоит решить с научных позиций проблему закономерности возникновения жизни на Земле, для чего надо иметь четкое представление о догеологическом периоде эволюции нашей планеты. Это требует поднятия уровня планетной космогонии хотя бы до уровня звездной, чего пока заведомо нет. Следует, однако, заметить, что и здесь в настоящее время намечаются сдвиги, связанные, например, с выяснением решающей роли электромагнитных процессов.

3. Для проблемы установления контактов с внеземными цивилизациями решающее значение имеют исключительные достижения радиоастрономии за последние годы. Следует, в этой связи, подчеркнуть важность технической революции в радиофизике, связанной с появлением квантовых усилителей излучения (мазеров) и сооружением антенных устройств с большой эквивалентной поверхностью. Все это привело к такому увеличению потенциальных возможностей радиофизики, что уже в наши дни оказывается, в принципе, возможной радиосвязь на расстояния в несколько десятков световых лет. В сфере такого радиуса уже можно насчитать несколько сот звезд. Вполне реальной перспективой ближайшего десятилетия является увеличение потенциальной дальности связи еще на порядок, что соответствует уже достаточно «солидному» расстоянию около 100 парсек. Заметим, что в пределах сферы такого радиуса насчитывается уже несколько сот тысяч звезд.



4. Важнейшим фактором при исследовании проблем установления контактов с внеземными цивилизациями будут успехи кибернетики. Использование идей и методов кибернетики совершенно необходимо при анализе таких проблем, как поиски характеристик сигналов оптимального характера и проблемы автоматов. Кибернетика уже в наши дни ставит вопрос о возможности новых форм жизни (в том числе разумной) искусственного происхождения. Эта последняя проблема в будущем может приобрести совершенно исключительное значение.

5. Проникновение человека в Космос и освоение космического пространства является важнейшей причиной, стимулирующей исследования в обсуждаемой области. Неодолимый и закономерный процесс экспансии человечества в Космос самым наглядным образом демонстрирует возможность разумной жизни. Мы с полным правом можем рассматривать этот процесс как качественно новый этап в развитии человечества. За какие-нибудь пять лет сфера деятельности человечества увеличилась во много тысяч раз. Но мы являемся свидетелями только самой начальной стадии этого процесса и трудно даже представить, к каким радикальным изменениям в жизни человеческого общества это приведет в перспективе ближайших нескольких столетий. Неудержимое распространение активной, преобразующей деятельности человечества на все околосолнечное пространство неизбежно должно привести к созданию искусственной биосферы, объем которой на 10—15 порядков больше, чем естественной. О некоторых важных последствиях этого закономерного процесса я буду говорить ниже. Теперь же я позволю себе процитировать одного довольно известного писателя: «... Впрочем, никто не понимает истинного значения того времени, в котором он живет. Старинные мастера рисовали харчевни и святых Севастьянов, когда Колумб на их глазах открыл Новый Свет» (А. Конан-Дойл «Магическая Дверь»).

Самое непосредственное отношение к интересующей нас проблеме имеет вполне реальная возможность решить вопрос о наличии жизни на ближайших к нам планетах путем прямого биологического эксперимента. Имеются все основания

полагать, что эта проблема будет решена в течение ближайшего пятилетия. Если, например, будет экспериментально установлено наличие хотя бы самых примитивных форм жизни на Марсе, с его крайне суровыми условиями, это будет фактически подтверждением концепции, что жизнь как высшая форма существования материи *закономерно* возникает на планетах. Ибо в Галактике могут быть миллиарды планет, расположенных на подходящих расстояниях вокруг звезд спектральных типов F8—K0, условия на которых гораздо более благоприятны, чем на Марсе. Например, согласно последним американским и советским наблюдениям в инфракрасной части спектра, атмосферное давление на Марсе примерно в 50 раз меньше земного. Если даже будет доказано, что примитивные формы жизни на Марсе были когда-то занесены с Земли спорами, это не умалит значения сделанного вывода. Кстати, в современных условиях проблема панспермии должна быть поставлена заново. Доказана поразительная стойкость и приспособляемость простейших микроорганизмов и их спор к чудовищным дозам облучения. В идее панспермии никакого философского «жупела» нет, если, конечно, не придерживаться антинаучного взгляда на извечность жизни. Ибо Вселенная эволюционирует и ее ранние стадии эволюции исключают возможность жизни. Мне представляется нелепым утверждение, что «автономное» возникновение жизни на планетах есть утверждение материализма, а «опыление» их спорами из мирового пространства — идеализм. Только научные аргументы, и прежде всего — эксперимент, наблюдения — могут решить этот вопрос.

Чрезвычайно существенным является следующий вопрос: *когда* скоро жизнь на какой-нибудь планете возникла и прошла сложный и длинный эволюционный путь, непрерывно совершенствуясь, должна ли она с *необходимостью* на каком-то этапе стать разумной? Я полагаю, что это совершенно не обязательно. Более того, приходится считаться с возможностью, что вероятность появления *разумной* жизни на данной планете очень мала. Наконец, имеется кардинальной важности вопрос о *длительности* эры разумной жизни на какой-нибудь планете (обозначим эту величину *t*). Эта проблема

довольно неопределенна. Почти все зарубежные исследователи и многие в нашей стране обоснованно полагают, что эта продолжительность во всяком случае меньше космогонических шкал времени ($T \sim 10^9 - 10^{10}$ лет). Следует подчеркнуть, что для рассматриваемой проблемы вопрос этот имеет отнюдь не академический интерес. Легко получить, например, формулу, дающую среднее расстояние между двумя «цивилизациями-современницами»,

$$d = 5.2 \left(\frac{T}{t} \right)^{1/2} \text{ парсек.}$$

Хотя зависимость от t слабая, все же, если $t \sim 10^5 - 10^6$ лет, то при самых оптимистических предположениях (число планетных систем в Галактике порядка многих миллиардов и на каждой планете обязательно возникает разумная жизнь) получается, что $d \sim 100$ пс.

Следует, однако, иметь в виду возможность того, что некоторые цивилизации, достигнув весьма высокого уровня развития и преодолев неизбежные кризисы и противоречия, могут иметь гораздо большие временные шкалы развития, может быть даже близкие к космогоническим. Кстати замечу, что длительность *технологической* стадии развития цивилизации даже в 10^5 лет — величина огромная, которая может привести к самым радикальным последствиям. Об этом подробнее речь будет идти дальше.

Мы теперь резюмируем исходные данные, необходимые для научного анализа проблемы возможности установления контактов между планетными цивилизациями. В самом благоприятном случае расстояния между цивилизациями порядка межзвездных, т. е. $3 - 5$ пс. Это, однако, крайне маловероятно, ибо при такой оценке не учитывается огромное количество факторов. Наконец, отрицательный результат недавних наблюдений по проекту «Озма» вероятно противоречит этой оптимистической оценке.

1. Минимальное среднее расстояние до ближайшей инопланетной цивилизации должно быть, скорее всего, ~ 30 парсек. Это следует из предположений: а) все звезды спектральных классов F8—K0 имеют планетные системы, причем по край-

ней мере одна планета в системе пригодна для развития жизни, каковая на ней с неизбежностью возникает; б) произведение $\alpha \frac{t}{T} \sim 10^{-5}$ (где α — вероятность того, что жизнь, эволюционируя, станет разумной, t — длительность психозойской эры, T — возраст звезды). Следует, однако, считаться с возможностью, что d может быть много больше, чем 300 пс, причем не исключено, что наша цивилизация — единственная в Галактике, но, конечно, не во Вселенной.

Коль скоро представляется достаточно обоснованным утверждение, что мы не одиноки во Вселенной, возникает проблема возможности установления контактов между цивилизациями.

Мыслимы следующие типы контактов:

а) Межзвездные перелеты, в частности, посылка автоматических кибернетических зондов.

б) Сигналы электромагнитного излучения.

По-видимому, первый способ (по крайней мере, для установления контактов) бесперспективен. Не говоря уже о том, что он недоступен технике сегодняшнего дня, он не имеет будущего (см. статью фон Хорнера в сборнике „Interstellar communication“).

Вопреки мнению писателей-фантастов межзвездные фотонные ракеты, движущиеся с релятивистской скоростью, вероятнее всего, никогда не будут построены. Каждой эпохе свойственно переоценивать свои технические возможности. Вспомним в этой связи, что в XIX столетии серьезно обсуждались проекты полета на Луну с помощью... парового двигателя. Еще раньше некоторые писатели-фантасты надеялись совершить такое путешествие... на воздушном шаре. В наши дни мы являемся свидетелями явной переоценки возможностей реактивной техники. Эта техника является идеальной при полетах на межпланетные расстояния и для будущего преобразования околосолнечного пространства. Более того, ракеты могут быть мощным средством *постепенной* экспансии цивилизации от одной планетной системы к другой, находящейся в непосредственной близости. В последнем случае, однако, движение ракет будет происходить с нерелятивистской скоростью.

Однако как средство установления контактов между разделенными межзвездными расстояниями цивилизациями даже фотонные ракеты непригодны.

Коль скоро это так, следует искать другие возможности.

Идея установления контактов путем организации каналов связи на электромагнитных волнах впервые была высказана Коккони и Моррисоном в 1960 г. Их работа, собственно говоря, и послужила стимулом для всех дальнейших исследований в этой области. Анализ показывает, что наиболее целесообразным, экономичным и перспективным является использование волн радиодиапазона. В пределах этого диапазона наиболее целесообразно использовать диапазон сантиметровых и коротких дециметровых волн. Коккони и Моррисон исходят из возможности связи на волне 21 см (см. [1]). Вскоре Дрэйк попытался обнаружить сигналы искусственного происхождения от ближайших подходящих звезд ϵ — Эридана и τ — Кита (проект «Озма»). Нам, однако, представляется, что проект «Озма» порочен в своей основе. Причины этому следующие:

а) Предполагается, что цивилизации могут быть около ближайших звезд, что крайне маловероятно. Если же $d \sim 100\text{--}300$ пс, задача связи путем направленных пучков становится весьма затруднительной, ибо на таком расстоянии находится, по крайней мере, 10^5 звезд.

б) Основным, на наш взгляд, дефектом идеи Коккони — Моррисона и ее реализации Дрэйком является их предположение, что уровень технологического развития внеземных цивилизаций примерно такой же, как и нашей. Поэтому и считается, что мощность приемников и передатчиков, применяемых внеземными цивилизациями, примерно такая же, как современная. Но такое утверждение принципиально неверно. Общеизвестно, что шкала времени технологического развития цивилизации исключительно коротка. Поэтому, если во Вселенной имеются цивилизации, уровни их развития должны быть самые различные. Подавляющее большинство цивилизаций должно иметь уровень технологического развития неизмеримо выше нашего. Ибо мы еще младенцы в технологии и науке. Еще нет 70 лет, например, после открытия возможности

радиосвязи. Еще не прошло 20 лет после открытия ядерной энергии. Еще не освоен термоядерный синтез.

Поэтому, анализируя проблему установления контактов между цивилизациями, необходимо уже «в нулевом приближении» учитывать весьма высокий уровень технологического развития инопланетных цивилизаций. Такой учет диктуется потребностями *практики*, ибо техническая сторона реализации проектов определяется исходными предпосылками. Единственным способом оценки технического уровня внеземных цивилизаций является анализ возможностей технологического развития нашей цивилизации. Это нелегкая, а главное — неопределенная задача. Однако без такого анализа продвижение невозможно. До некоторой степени задача облегчается тем, что бессмысленно давать какую бы то ни было детализацию картины. Важно только оценить темпы и масштабы деятельности цивилизации.

Решающее значение имеет исключительно короткая шкала времени развития технологии. Полезно напомнить, что наука и технология в современном смысле этого слова возникли всего лишь 10 поколений тому назад. Галилей заложил основы механики и это, конечно, послужило началом развития. И вот теперь, спустя всего лишь 350 лет, технология стала фактором космического значения, ибо ее возможности уже сегодня перешагнули скромные масштабы земного шара. Я остановлюсь только на двух примерах:

а) По причине телевидения и пр. Земля на метровых волнах излучает в мировое пространство примерно 1 *ватт/герц* (на Земле имеется несколько тысяч телепередатчиков со средней мощностью ~ 20 *квт*). Яркостная температура Земли на метровых волнах около 10^8 градусов. Земля по мощности радиоизлучения на метровом диапазоне — второе тело в солнечной системе после Солнца. Мощность ее излучения в 10^6 раз больше, чем у Венеры и Марса.

б) Высотные ядерные взрывы совершенно исказили такую важнейшую космическую характеристику Земли, как радиационные пояса. Это изменение, возможно, не «рассосется», а, по-видимому, останется.

Далеко не всегда человечество сознает последствия своей

деятельности. Я позволю обратить внимание еще на один аспект деятельности человечества, который для интересующей нас проблемы может иметь решающее значение. Речь идет о производстве энергии и стремительных темпах его увеличения. В настоящее время человечество производит примерно $3 \cdot 10^{19}$ эрг/сек. Сейчас удвоение производства энергии происходит каждые 20 лет. Эта тенденция довольно устойчива. С течением времени темпы производства энергии растут. При таких темпах через 200 лет производство энергии достигнет уровня $3 \cdot 10^{22}$ эрг/сек или $\sim 1\%$ потока солнечной энергии, падающего на Землю. Учитывая рост темпов производства энергии, это может произойти даже раньше. Дальнейшее увеличение производства энергии повлечет за собой изменение теплового режима Земли. Разумеется, до этого начинается широкое использование солнечной энергии, но здесь есть предел—вероятнее всего можно будет использовать $\sim 10\%$ от всего потока. Так или иначе, меньше чем через 300 лет вопрос будет стоять исключительно остро. Некоторые зарубежные авторы считают, что придется строжайше запретить дальнейшее развитие и заставить стабилизировать энергетику. Вряд ли, однако, это возможно. Скорее всего мощные энергетические системы будут вынесены в космическое пространство и здесь человечество получит огромные (хотя все-таки ограниченные) возможности развития.

Процесс вынесения в космос мощных агрегатов неизбежно начнется гораздо раньше, в связи с большой радиационной опасностью, которую представляет размещение таких установок на Земле, а также в связи с необходимостью постановки экспериментов и организаций новых видов производства, требующих больших пространственных масштабов. Характерно, что уже сейчас выдвигаются смелые, но вполне реальные проекты важных экспериментов, использующих космические базы. Например, проект Кардашева—Слыша установки на искусственном спутнике Луны радиointерферометра. Именно по этим причинам пионерские исследования космоса и выход туда человека имеют всемирно-историческое значение, намного превосходящее подвиги Колумба и других отважных первооткрывателей эпохи великих открытий.

Коль скоро человечество с неизбежностью начнет осваивать и преобразовывать Солнечную систему, его энергетические и материальные ресурсы неимоверно возрастут. Величина $\sim 10^{33}$ эрг/сек не является пределом, так как часть массы планет может быть использована как горючее для термоядерных реакций синтеза. По разным критериям, можно считать, что шкала времени освоения и преобразования человечеством Солнечной системы порядка нескольких тысяч лет, во всяком случае $< 10^4$ лет, т. е. ничтожно мала по сравнению с космическими шкалами. Отсюда следует важнейший вывод: если в Галактике имеются цивилизации, то очень многие, если не большинство, достигли уровня технологического развития, который характеризуется освоением производства энергии $\sim 10^{33}$ эрг/сек и серьезным преобразованием «своих» планетных систем. Линейные размеры искусственной биосферы $\sim 10^{13}$ — 10^{15} см вполне возможны. Мы ничего здесь не говорим о всяких конкретных проектах переустройства планетных систем, которые уже имеются, например, о сфере Дайсона (см. [1]). Дело совсем не в этом. Важна только оценка потенциальных энергетических возможностей такой «сверхцивилизации».

Но можно ли ограничить развитие и распространение разумной жизни только данной планетной системой? Я думаю, что нет. Нет и не может быть ограничений возможностей такой высокоорганизованной форме существования материи, какой является жизнь.

В принципе возможна, например, такая ситуация. Освоив свою планетную систему, высокоразвитая цивилизация начнет процесс «диффузии» к соседним звездам. Необязательно даже, чтобы они имели свои планетные системы. Ведь разумные существа вполне освоили технику создания искусственной биосферы. Преобразование окрестностей соседней звезды может занять несколько тысяч лет. Транспортировка туда материалов и пр. займет несколько сот лет, т. е. меньше, чем время, потребное для преобразования звезды-соседки. «Организованная» таким образом звезда-соседка в свою очередь станет центром диффузии. Можно ожидать, что такой диффузный процесс, совершенный по единому плану, охватит всю галактику за время порядка нескольких десятков миллионов

лет. Скорее всего, это будет даже быстрее, ибо развитие такой сверхцивилизации будет идти не только количественно, но и качественно.

Реализация такого проекта позволит повысить уровень производства энергии до $\sim 10^{43}$ эрг/сек или даже больше. Существование, что не видно причин, почему бы в некоторых галактиках развитие цивилизации не пошло таким образом. Отсюда следует второй вывод: мыслимы такие цивилизации, которые освоили производство энергии на уровне $\sim 10^{43}$ эрг/сек и создали искусственную биосферу в масштабах звездной системы, т. е. в пределах $\sim 10^{22}$ — 10^{23} см.

Мы далеки от утверждения, что обрисованная выше картина есть неизбежный путь развития всякой цивилизации. Нужно ясно понимать, что на этом пути развивающуюся цивилизацию ожидают глубокие кризисы. И очень вероятно, что какой-либо из них окажется роковым. Можно указать на несколько таких возможных кризисов-противоречий, которые видны уже сейчас.

а) Самоуничтожение в результате термоядерной катастрофы или вообще открытие, которое может привести к непредвидимым и неконтролируемым последствиям.

б) Генетическая опасность.

в) Перепроизводство информации.

г) Ограниченная емкость мозга индивидуумов, что может привести к чрезмерной специализации. Такая ситуация чревата вырождением.

д) Кризис, связанный с появлением искусственных разумных существ. Должны быть и другие типы кризисов и противоречий, о существовании которых мы сейчас и не подозреваем.

Наконец, общество может и не пойти по пути «количественной» экспансии. Законсервировав уровень энергетики, затренировав выход (неконтролируемый) в Космос, цивилизация может пойти по некоему пути «качественного самоусовершенствования», появятся совершенно новые интересы.

С моей точки зрения, такая ситуация равносильна вырождению. Но допустим, что это не так. В таком случае, я полагаю,

никто все же не станет утверждать, что такая «потеря интереса» есть единственно возможный тип развития.

Обсуждаемые вопросы не носят такого уж схоластического содержания, как это может на первый взгляд показаться. Для проблемы установления радиоконтактов (что является предметом нашей конференции) возможность существования сверхцивилизаций, располагающих энергетикой $\sim 10^{43}$ и даже $\sim 10^{43}$ эрг/сек, имеет решающее значение, как это будет видно из следующего доклада Н. С. Кардашева.

Остается обсудить еще один вопрос: будут ли такие сверхцивилизации вообще посылать радиосигналы с целью установления контактов? Вопрос этот в значительной степени риторический. Следует, прежде всего, иметь в виду, что для сверхцивилизации наша и подобные ей цивилизации, находящиеся на эмбриональном уровне, представляют огромный интерес. Ведь интересно же для нас не только первобытное общество, но даже общества муравьев, пчел и пр. Не менее интересны и важны для нас детали структуры и организации простейших микроорганизмов. Радиосвязь возникла совсем недавно. Имеется еще вопрос — будет ли и в дальнейшем радиосвязь играть определяющую роль. Скорее всего — да, если наши представления о природе и ее основных закономерностях верны. Ибо доказано, что из всех мыслимых типов связи радиосвязь является наиболее экономичной и информативной.

Наконец, мы чисто объективно, путем наблюдений, можем заметить весьма удаленные от нас сверхцивилизации потому, что связанные с ними объекты не подчиняются закономерностям неживой материи или приводят к характеристикам удивительным и даже неестественным. Мы подошли к проблеме «космического чуда» — наблюдаемые издалека проявления космических масштабов деятельности разумных существ (см. [1]).

Так обстоит дело с постановкой вопроса о внеземных цивилизациях и о возможностях установления контактов с ними. Следует подчеркнуть, что решающее слово принадлежит теперь эксперименту, наблюдениям, разумно и планомерно поставленным. В этой связи возникает такой вопрос. Почему,

например, проблема термоядерного синтеза привлекает к себе и всеобщее внимание, и огромные средства, а проблема внеземных цивилизаций, значение которой для всех аспектов деятельности человечества трудно даже переоценить, находится до настоящего времени в зачаточном состоянии? А между тем, уже сейчас, затратив средства, хотя и немалые, но находящиеся в разумных пределах, мы можем существенно приблизиться к решению проблемы. Ведь и термоядерщики, расходуя огромные средства, вовсе не берутся сразу же осуществлять термоядерный синтез и дать энергию с приемлемым КПД. Они постепенно и планомерно решают отдельные физические задачи, приближающие их к решению основной проблемы в неопределенно далеком будущем.

Не видно серьезных причин рассматривать проблему внеземных цивилизаций менее важной, чем осуществление управляемой термоядерной реакции.

В заключение я хотел бы подчеркнуть, что для меня величайшим, подлинным чудом было бы доказательство, что никаких «космических чудес» нет. Только специалист астроном может с ясностью понять значение того факта, что из 10^{21} звезд, образующих наблюдаемую нами часть Вселенной ($\sim 10^{10}$ галактик по $\sim 10^{11}$ звезд каждая), ни одна не имеет около себя достаточно развитой цивилизации, хотя процент звезд, имеющих вокруг себя планетные системы, должен быть достаточно высок.

ДИСКУССИЯ

Г. А. Гурзадян. Непонятно, на каком основании И. С. Шкловский принимает продолжительность цивилизации на данной планете или в планетной системе вокруг данной звезды порядка 10^4 лет? Почему эта продолжительность не может быть, скажем, около миллиарда лет, т. е. порядка продолжительности жизни самой звезды. Поскольку мы не можем указать тех причин или факторов, естественного или искусственного характера, которые могли бы ставить предел продолжительности цивилизации на планете, то вероятность встречаемости цивилизаций вокруг окружающих Солнце звезд должна резко повыситься. Это обстоятельство может внести существенные изменения в приведенные в докладе рассуждения.

И. С. Шкловский. Трудно допустить, что цивилизации могут существовать очень долго. По-видимому, за время 10^9 лет цивилизации деградируют (известно, например, что муравьи существуют 200 миллионов лет).

Я. Б. Зельдович. Это безосновательная точка зрения. Никто а priori не может утверждать, как пойдет развитие общества через тысячи лет. Тем более это относится к внеземным цивилизациям, о которых мы пока что ничего не знаем.

В. А. Котельников. Я полностью согласен с тем, что незначем «уничтожать» внеземные цивилизации. Их нужно искать.

Б. В. Кукаркин. Не лишено интереса высказать несколько соображений о той информации, которую может дать оптическая астрономия в отношении выбора объектов для поисков среди них возможных планетных систем, могущих оказаться носителями других цивилизаций.

Наличие так называемых «невидимых спутников», обнаруженных у некоторых ближайших звезд на основании периодических колебаний около прямолинейно движущегося цен-

тра тяжести системы, может стать гораздо более надежным свидетельством наличия планетных систем, чем это принято думать. Так, считается, что многие особенности «невидимых спутников» свидетельствуют не в пользу их идентификации с планетными системами типа нашей Солнечной системы. Действительно, массы получаются обычно значительно больше массы Юпитера, орбиты заметно эксцентричными (это вряд ли способствует возникновению высокоразвитой органической жизни), а сами «невидимые спутники» обнаруживаются преимущественно у звезд-карликов поздних спектральных классов (обычно М, что тоже не в пользу возникновения жизни в связи с низкой температурой на возможных планетах). Хочется высказать несколько возражений против этих распространенных аргументов.

Еще в 1951 году были высказаны соображения о том, что нельзя так упрощенно подходить к проблеме «невидимых спутников», как это обычно делается (см. Труды первого совещания по вопросам космогонии, стр. 352, Изд. АН СССР, М., 1951). Обычно путем измерений, проведенных методами фотографической астрометрии, обнаруживаются колебания звезды около центра тяжести системы. Эти колебания объясняются простым кеплеровским движением (задача двух гравитирующих тел). Однако мы в действительности можем иметь дело не с одним «невидимым спутником», а с системой нескольких планетоподобных тел. Приближенная соизмеримость периодов обращения таких планет неизбежно приведет к цикличности, определяемой периодом биений. Такая цикличность будет, естественно, интерпретироваться как движение *одного* тела. Комбинация нескольких круговых периодических движений может создать видимость значительного эксцентриситета.

В качестве иллюстрации я привожу в произвольном линейном масштабе графики движения Солнца относительно центра тяжести Солнечной системы за семьдесят лет в прямоугольной системе координат, подобно тому, как это делают астрометристы в отношении движения звезд с «невидимыми спутниками». Я искусственно осреднял близкие по времени положения, как это почти всегда делается при исследовании

«невидимых спутников». Осреднение привело к значительному сглаживанию довольно заметной (хотя и сильно меняющейся со временем) волны, вызванной гравитационным воздействием Юпитера. Как видно, отдельные «нормальные» точки характеризуются значительной дисперсией, но их совокупность достаточно удовлетворительно представляется орби-

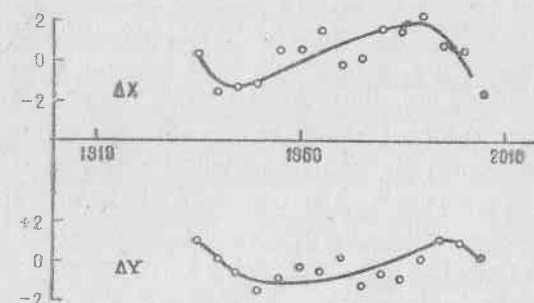


Рис. 1.

той с значительным эксцентриситетом и с периодом около 60 лет. Объяснение этому легко найти в приближенной соизмеримости периодов обращения Юпитера и Сатурна—двух наиболее массивных планет нашей Солнечной системы. Пять периодов обращения Юпитера составляют 59.315 лет, а два периода Сатурна 58.915 лет.

Сравните график движения Солнца с соответствующим графиком движения «летающей звезды Барнарда», которую демонстрировал И. С. Шкловский в своем докладе. Легко убедиться, что дисперсия отдельных точек там так же сравнима с амплитудой самого явления. Велика вероятность того, что мы здесь имеем дело не с одним спутником, а с системой ряда тел. Это приложимо и к другим системам звезд с «невидимыми спутниками».

Необходимо отметить, что смещения звезд относительно центра тяжести находятся внутри современной точности астрометрических измерений и что лишь многочисленность измеряемых снимков, насчитывающихся десятками, а иногда сотнями, позволяет выявлять такие колебания.

К сожалению, современная астрометрия пользуется старыми методами измерения длины (линейная шкала и микро-

метр). Кроме того, зерно фотоэмульсии и турбулентция земной атмосферы ставят естественный предел точности измерений.

В связи со сказанным совершенно необходимы работы в следующих направлениях.

(1) Разработка новых методов измерения длины (напр., интерференционных).

(2) Поиски возможностей измерять взаимные расстояния близких (в картинной плоскости) звезд, помимо измерений на фотографиях.

(3) Вынесение подобных измерений за предел атмосферы.

При удачном разрешении поставленных задач точность измерений возрастет на два или даже на три порядка, а это даст возможность уверенно измерять и разделять интерферирующие колебания. Вероятно, массы отдельных спутников будут получаться меньше, чем масса гипотетического тела гравитационным воздействием которого мы подменяем суммарное воздействие нескольких планет. Таким образом, два возражения (эксцентриситеты орбит и большие массы) отпадают.

«Невидимые спутники» обнаружены не только у карликов спектрального класса М, но и у некоторых звезд класса К. Нет никаких оснований отвергать возможность их обнаружения и у звезд солнечного типа. Успешное решение сформулированных выше проблем неизбежно приведет к возможности весьма легко обнаруживать планетные системы у сотен ближайших к нам звезд.

Возможен и фотометрический способ обнаружения планет. Если бы воображаемый наблюдатель, находящийся на одной из не очень удаленных звезд, расположенной в плоскости орбиты Юпитера, начал систематически фотометрировать наше Солнце, то он обнаружил бы, что через каждые 11314.84 суток происходит ослабление Солнца на 0.01 звездной величины. Эти ослабления, естественно, вызываются периодически повторяющимися прохождениями Юпитера по диску Солнца. Продолжительность кольцеобразного затмения составит всего лишь трое суток с четвертью, а нисходящая и восходящая ветви будут длиться менее часа каждая (небольшое изменение блеска, связанное с потемнением солнечного диска к краю,

немного искривит плоский минимум). В земных условиях, когда из-за турбулентности атмосферы и невозможности точного учета поглощения в ней света нельзя добиться точности измерения выше 0.01 звездной величины, задача фотометрического обнаружения планет довольно безнадежна. Но во внеатмосферных условиях, уже при современной методике электрофотометрических измерений, точность может быть повышена более чем на порядок и «затмения», вызываемые прохождением планет, смогут быть надежно зарегистрированы. Необходимо уже сейчас более подробно разрабатывать программу подобных поисков.

Очевидно, что оптическая астрономия, особенно в условиях внеатмосферных наблюдений, может дать ценнейшую информацию о возможных планетных системах, а следовательно, и о возможных внеземных цивилизациях.

Д. Я. Мартынов. При выборе возможных объектов для двухсторонней связи с внеземными цивилизациями довольно уверенно исключается ряд объектов. Это, прежде всего, горячие звезды. Для развития разумной жизни на планете нужны очень большие промежутки времени для подготовительных этапов—развития жизни вообще, начиная от самых примитивных форм. Между тем, горячие звезды—молодые объекты. С другой стороны, холодные звезды, карлики класса М, тоже вряд ли имеют около себя планеты, заселенные разумными формами жизни, так как они излучают очень мало энергии. Лишь в непосредственной близости от такой звезды «солнечная постоянная» достаточна. Между тем, темные спутники с большой (относительно) массой находятся вдали от звезды (о чем говорят длинные периоды их обращения). Кроме того, их орбиты сильно эксцентричны, т. е. совершенно непланетного типа.

Вероятность совпадения по времени и близко в пространстве двух сходных по уровню цивилизаций, конечно, очень мала. Но если обе эти цивилизации будут сознательно искать друг друга, шансы встретиться будут возрастать в высокой степени (предположительно, пропорционально степени $1/2$ вероятности совпадения).

Очень помогло бы сознательным поискам сигналов знание того, каким образом возникают планетные системы у звезд.

К сожалению, наши успехи в области планетной космогонии слабы. Говоря о вращении звезд, И. С. Шкловский уже предполагал определенный механизм—образование планет из материнской звезды в результате ротационной неустойчивости. Но планеты могли также образоваться из протопланетного облака путем конденсации холодной материи. Условия возникновения их в том и другом случае совершенно разные, равно как и зависимость их от физических характеристик самой звезды.

Технологическая стадия развития цивилизации может быть короткой. Человеческое общество развивается согласно диалектическим законам. В частности, внутри каждой социальной формации возникают антагонистические силы, стремящиеся изменить или заменить эту формацию другой. Но при этом катастрофа совсем необязательна, и даже современная фаза экспоненциального развития человечества (по численности и по энергетическим затратам) может, по достижении бесклассовой формы, перейти к более спокойному развитию, основанному на более разумном и экономичном расходовании ресурсов.

Человечество имеет еще в своем распоряжении не используемые им сейчас запасы тепла земных недр и гравитационной энергии. Так, например, энергия даже малого землетрясения значительно превосходит энергию взрыва водородной бомбы (соответственно 10^{26} и 10^{24} эрг). Важно сделать выход этих грандиозных запасов управляемым.

Вероятно, всем цивилизациям (в том числе и нашей) свойственно стремиться заявить о своем существовании по мотивам, составляющим сложный комплекс из любознательности (научного интереса), тщеславия и альтруизма. Это облегчает задачу установления связи между ними.

ПРОБЛЕМА СВЯЗИ С ВНЕЗЕМНЫМИ ЦИВИЛИЗАЦИЯМИ

ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ ВНЕЗЕМНЫМИ ЦИВИЛИЗАЦИЯМИ

Н. С. КАРДАШЕВ

Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга,
МГУ, Москва

Главной, наиболее перспективной стороной поисков сигналов от внеземных цивилизаций является вопрос о возможности получения с помощью этих сигналов большого количества информации. Наиболее пессимистические оценки в этом отношении в настоящее время сводятся к тому, что внеземных цивилизаций вообще во Вселенной нет и, следовательно, вероятность получить информацию равна нулю. Такая точка зрения в настоящее время не противоречит совокупности наблюдаемых фактов, хотя и кажется крайне маловероятной. Мы здесь рассмотрим другой предельный случай, наиболее оптимистический в смысле возможности приема информации в ближайшее время и также не противоречащий наблюдательным данным.

По-видимому, уже в настоящее время можно оценить возможности передачи информации на космические расстояния, исходя из известных нам параметров космических объектов, среды и условий оптимальности системы связи. Разумеется, в отдельных случаях возможно указать лишь более или менее вероятные предположения, но некоторые из соображений являются уже бесспорными.

Мы будем говорить только о возможности передачи информации с помощью радиосвязи: имеется целый ряд соображений относительно того, что другие способы (непосред-

ственные перелеты, посылка зондов и т. д.) являются гораздо менее эффективными.

Важнейшим в рассматриваемой проблеме является вопрос о том, на каком уровне находятся цивилизации, от которых мы надеемся получить информацию. От решения этого вопроса существенным образом зависят такие важнейшие параметры, как мощность передатчика, объем передаваемой информации, вероятность обнаружения и надежность регистрации сигналов. Как будет показано в дальнейшем, вопрос о существовании в любой части Метагалактики суперцивилизаций (цивилизаций, преобразующих в кодированный радиосигнал мощности более 10^{33} эрг/сек) может быть решен в настоящее время при помощи обычных радиоастрономических наблюдений с помощью уже существующей аппаратуры. В то же время от таких цивилизаций может быть получено максимальное количество информации. Поиски сигналов от цивилизаций, находящихся примерно на нашем уровне, требуют привлечения очень сложных радиотехнических средств и в то же время вероятность установления контакта остается очень малой.

Как уже указывалось в докладе И. С. Шкловского, из экспоненциального развития технологии на Земле вытекает возможность проявления деятельности цивилизации в космических масштабах. Это в первую очередь связано с огромными энергетическими мощностями, которыми может располагать высокоразвитая цивилизация. Например, известно, что в настоящее время полное количество энергии, каждую секунду расходуемое человечеством, составляет более $4 \cdot 10^{29}$ эрг. Ежегодный прирост этой величины по статистическим данным за последние 60 лет составляет 3—4% [1]. В результате этого энергопотребление ежегодно возрастает в $1+x$ раз. Тогда за t лет увеличение произойдет в $(1+x)^t \approx e^{tx}$ раз ($x \ll 1$). Принимая $x = 1\%$, найдем, что ежесекундное потребление через 3200 лет будет равно ежесекундному энергетическому выходу Солнца, т. е. $4 \cdot 10^{33}$ эрг/сек, а через 5800 лет энергетическому выходу 10^{11} звезд типа Солнца. Полученные величины по сравнению с современным уровнем развития кажутся непомерно большими, однако мы не видим никаких принципиально

непреодолимых причин естественного или социального порядка, по которым темп роста энергопотребления в будущем был бы существенно ниже принятого.

В связи с приведенными оценками целесообразно технологически развитые цивилизации разбить на три типа:

I—технологический уровень близок к современному уровню на Земле; энергопотребление $\sim 4 \cdot 10^{29}$ эрг/сек.

II—цивилизация, овладевшая энергией, излучаемой своей звездой (например, этап построения «сферы Дайсона»); энергопотребление $\sim 4 \cdot 10^{33}$ эрг/сек.

III—цивилизация, овладевшая энергией в масштабах своей галактики; энергопотребление $\sim 4 \cdot 10^{44}$ эрг/сек.

Время, необходимое для возникновения цивилизации I типа (по опыту нашей планетной системы), составляет несколько миллиардов лет, в то время как для перехода от I к II типу потребуется не более нескольких тысяч лет, а от II-го к III-му (даже при учете минимальной скорости диффузии жизни в галактике) потребуется не более десятков миллионов лет. Исходя из того, что возраст галактик более 10 миллиардов лет, можно было бы предположить, что каждая галактика обладает цивилизацией III типа. В таком случае при астрономических наблюдениях мы должны были бы обнаружить большое количество явлений, совершенно необъяснимых естественным образом. Однако данные современной астрофизики, по-видимому, не дают никаких прямых указаний на существование подобных явлений. Из этого можно сделать два вывода: либо вероятность возникновения цивилизации ничтожно мала (так, что она возникает далеко не в каждой галактике), либо уровень технологического развития принципиально ограничен по каким-то неизвестным нам причинам. Что же касается существования цивилизаций III типа не в каждой, а только в некоторых галактиках, или цивилизаций II типа только около небольшого числа звезд в нашей Галактике, то экспериментальные данные, видимо, не исключают этой возможности.

Может возникнуть вопрос, не будет ли слишком расточительным расходование указанного количества энергии на радиосвязь цивилизациями II и III типа. Очевидно, что это

не так. Любая система с внутренними источниками энергии должна излучать ровно столько же, сколько дают эти источники, иначе ее температура будет возрастать. Так что излучение неизбежно, а на кодирование излучения, как известно, никакой существенной энергии не тратится. Поэтому никакого дополнительного расхода энергии на связь не требуется, вопрос заключается лишь в возможности создания передающей и кодирующей аппаратуры. Термодинамически равновесная с межзвездным излучением температура, как известно, составляет от нескольких единиц до нескольких десятков градусов, что соответствует диапазону миллиметровых-сантиметровых волн, т. е. и с точки зрения термодинамики искусственное излучение оправдано.

Таким образом, можно ожидать, что цивилизации II и III типа располагают передатчиками очень большой мощности. Можно высказать несколько соображений относительно тех задач, которые могут быть решены с помощью таких систем. Прежде всего, естественно предположить, что одной из основных задач связи между цивилизациями является передача информации от более развитой цивилизации к менее развитой, т. е. можно ожидать, что в основу таких передач положен принцип оптимального обучения. Обмен информацией между суперцивилизациями может осуществляться недоступными для нас методами (например, с помощью очень высоко направленных антенн).

Перейдем теперь к более конкретной оценке возможностей связи на основе изложенных выше общих соображений.

1. По-видимому, не вызывает сомнения, что современные средства связи и телевидения (при достаточной мощности передатчика) позволяют обеспечивать передачу любой информации. Вопросы лингвистики будут обсуждаться отдельно, подчеркнем лишь принципиальную возможность передачи любой информации с помощью радиотехнических средств.

2. Одним из важнейших положений в рассматриваемой проблеме является принципиальная односторонность связи. Это обуславливается большим временем распространения сигналов на межзвездные и межгалактические расстояния (т. е. вплоть до миллиардов световых лет). Разумеется, что в таких

условиях, когда время распространения существенно превышает характерное время развития цивилизации (например, время удвоения энергопотребления цивилизации), обмен вопросами и ответами между цивилизациями становится бесперспективным. В данном случае целесообразнее в качестве основы содержания передач положить принцип передачи максимума информации (каждая из сторон сообщает в каждый момент все, что знает).

3. Оптимальный диапазон для передачи информации в космическом пространстве. Основными факторами, определяющими дальность космической радиосвязи, является прозрачность межзвездной среды, величины аппаратурных и космических шумов, мощность передатчика и размеры антенн. Межзвездная пыль сильно поглощает электромагнитное излучение при распространении волны в плоскости Галактики для частот выше 10^{13} гц. Для частот ниже 10^8 гц становится существенным поглощение радиоволн в облаках ионизованного межзвездного водорода. В области высокой прозрачности располагается минимум космических шумов. Величина аппаратурных шумов и шумов атмосферы Земли, по-видимому, может быть существенно уменьшена с помощью применения маломощных усилителей и вынесения антенн за пределы атмосферы, следовательно, эти факторы не являются принципиальным ограничением. Эквивалентная температура принципиально неустранимого шума может быть представлена в виде $T_N = T_n + T_t + T_d$, где T_n и T_t — температуры, обусловленные синхротронным и тепловым космическим радиоизлучением фона, а $T_d = \frac{h\nu}{k}$ — эквивалентная температура шумов,

обусловленная квантовыми флуктуациями (h и k — постоянные Планка и Больцмана). На рис. 1 приведены зависимости T_N от частоты в соответствии с современными радиоастрономическими данными [2]. При установлении дальней связи в пределах нашей Галактики, по-видимому, основную роль будет играть тепловое и нетепловое радиоизлучение галактического диска. Сплошная кривая соответствует радиоизлучению галактического диска в пределах $\pm 50^\circ$ по долготе от центра Галактики. В этом случае

$$T_N \approx 2 \cdot 10^{27} \nu^{-2.9} + 10^{19} \nu^{-2} + 4.8 \cdot 10^{11} \nu. \quad (1)$$

При рассмотрении вопроса о возможности связи между галактиками надо принимать во внимание яркостную темпе-

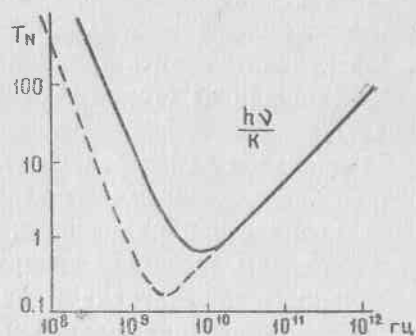


Рис. 1. Спектр шумов вне пределов земной атмосферы: — в направлении на центр, --- в направлении на полюс Галактики.

ратуру фона на высоких галактических широтах, обусловленную синхротронным излучением гало и Метагалактики. В этом случае

$$T_N \approx 10^{26} \nu^{-2.9} + 4.8 \cdot 10^{11} \nu. \quad (2)$$

В обоих случаях температура шумов имеет глубокий минимум, расположенный в диапазоне 3—10 см. Таким образом, по-видимому, область частот 10^9 — 10^{11} гц является оптимальной в рассматриваемой проблеме.

4. Оптимальный спектр излучения передатчика. Верхняя граница скорости передачи информации при заданной средней мощности передатчика и заданном спектре шумов определяется соответствующей теоремой Шеннона [3]

$$R = \int_{\nu_1}^{\nu_2} \log_2 \frac{s(\nu) + n(\nu)}{n(\nu)} d\nu, \quad (3)$$

где R — количество принимаемой информации, выраженное в двоичных единицах в секунду, $s(\nu)$ и $n(\nu)$ — функции спектральной плотности полезного сигнала и шумов. Решая

соответствующую вариационную задачу, можно показать, что максимальная скорость передачи информации реализуется при условии

$$s(\nu) + n(\nu) = n(\nu_1) = n(\nu_2). \quad (4)$$

Здесь везде ν_1 и ν_2 — границы полосы пропускания передатчика. Таким образом, видно, что спектр искусственного источника должен иметь вид кривой рис. 1, но с обратным знаком

$$s(\nu) = n(\nu_1) - n(\nu),$$

т. е. спектр искусственного радиои источника должен иметь максимум в диапазоне 3—10 см (если не учитывать красного смещения). В области более низких частот по сравнению с частотой максимума спектр будет меняться, как $a - b\nu^{-2.9}$, а в области более высоких частот, как $a - c\nu$ (a , b и c — некоторые постоянные, зависящие от мощности и полосы передатчика и распределения шумов). Таким образом, из соображений максимума передаваемой информации однозначно определяется наиболее выгодная форма спектра передатчика. Если ширина этого спектра достаточно велика, так что ν_2 много больше частоты максимума, то в высокочастотной области содержится большая часть энергии и поэтому форма спектра в низкочастотной области более или менее произвольна. В то же время линейный вид спектра для высокочастотной области, по-видимому, обязателен во всех случаях.

5. Надежность обнаружения сигнала и приема информации. Одним из важнейших методов повышения надежности обнаружения и приема является увеличение отношения α сигнала к шуму в точке приема. Будем считать передачу надежной, если выполнено условие

$$\alpha k T_N = F_v A_2, \quad \alpha > 1, \quad (5)$$

где T_N — температура шумов, приведенная ко входу антенны, F_v — поток радиоизлучения в единичном интервале частот в точке приема, A_2 — эффективная площадь приемной антенны. Величина F_v определяется соотношением

$$F_v = \frac{P G_1}{4\pi r^2 \Delta\nu}, \quad (6)$$

где P — мощность передатчика, $G_1 = \frac{4\pi A_1}{\lambda^2}$ — коэффициент усиления и A_1 — эффективная площадь передающей антенны, r — расстояние между приемником и передатчиком, $\Delta\nu$ и λ — эффективные полоса и длина волны передатчика. Таким образом, повышение надежности связано с увеличением фактора

$$\alpha = \frac{PG_1G_2\lambda^2}{16\pi^2 r^2 \Delta\nu k T_N} = \frac{PA_1A_2}{\lambda^2 r^2 \Delta\nu k T_N}, \quad (7)$$

т. е. с увеличением мощности передатчика, направленности передающей и приемной антенн, с сокращением радиуса действия системы и сужением полосы. Скорость передачи информации определяется следующим соотношением

$$R \approx \Delta\nu \log_2(1 + \alpha), \quad (8)$$

откуда следует, что повышение надежности, путем сужения полосы, приводит к потере информативности.

6. Очевидно, что возможность обнаружить передатчик неизвестным образом расположенными абонентами имеется лишь в том случае, если его излучение почти изотропно, либо если передатчик связан с высоконаправленной антенной системой, последовательно работающей во всех направлениях. Последний случай очевидно соответствует случаю изотропного излучения в среднем по времени, однако в точке приема в каждый момент интенсивность сигнала либо 0, либо в 10^2 раз выше, чем при чисто изотропном излучении. Таким образом, последний случай эквивалентен неравномерному во времени изотропному излучению с заданной средней мощностью. Как известно из теории информации, максимальному количеству двоичных единиц за заданный интервал времени соответствует постоянная мощность передатчика во времени (при заданной средней мощности). Всякая неравномерность мощности передатчика (введение перерывов в его работе) приводит к потере информативности.

Если направление абонента каким-то образом известно, то безусловно целесообразно использование высоконаправленной антенной системы.

Учитывая большую длительность распространения сигналов, представляется маловероятным, что местоположение цивилизаций типа земной известно заранее. Поэтому можно ожидать, что искусственные радионисточники излучают пространственно изотропно и непрерывно во времени, что обеспечивает надежность их обнаружения и максимальную передачу информации. Рассмотренный вопрос не надо смешивать с вопросом о позывных — специальных сигналах, к которым не предъявляется требований переноса какой-либо иной информации, кроме указания на то, что данный источник излучения искусственный.

7. Информативность передач для цивилизаций различного типа. Приведем некоторые количественные оценки.

а) Пусть передатчик мощностью 10^5 вт рассчитан на работу вплоть до расстояний $r = 1000$ св. лет,

$$A_1 = A_2 = 10^5 \text{ м}^2, T_N = 10^\circ \text{ К}, \alpha = 10^2, \lambda = 10 \text{ см},$$

тогда из соотношения (5) $F_v = 1.4 \cdot 10^{-25}$ вт/м²гц, из (7) $\Delta\nu \sim 7$ гц, из (8) $R \sim 50$ дв. ед./сек.

б) Пусть передатчик мощностью $P \sim 10^{24}$ эрг/сек (порядка падающей на Землю солнечной радиации) рассчитан для работы до расстояния $r = 1000$ св. лет и остальные параметры те же, что и в предыдущем примере. Тогда $\Delta\nu \sim 7 \times 10^{10}$ гц, $R \sim 5 \cdot 10^{11}$ дв. ед./сек. В случае изотропно излучающей передающей антенны ($G_1 = 1$) найдем $\Delta\nu = 600$ гц, $R \sim 4 \cdot 10^3$ дв. ед./сек.

Таким образом, даже для цивилизаций, близких к нашей (I тип), имеется возможность передач с довольно высокой информативностью. Еще более перспективным оказывается рассмотрение примеров для цивилизаций II и III типа.

Полагая, что излучение изотропно, $A_2 = 10^5$ м², температура шумов $T_N \sim 1^\circ \text{ К}$, получим из (5) для $\alpha = 10^2$, что $F_v = 1.4 \cdot 10^{-26}$ вт/м²гц — величина, которая уверенно регистрируется современными радиотелескопами. (Разумеется, для обнаружения такого излучения требуется гораздо более простая аппаратура, так как в отличие от приема информации здесь можно использовать обычные для радиоастрономии методы осреднения и, при достаточно широкой полосе сиг-

нала, радиометрический выигрыш $\sqrt{\Delta\nu \cdot \tau}$, где τ — время накопления, может повышать чувствительность на 3–4 порядка).

Оценим количество информации, передаваемой суперцивилизациями. Примем, что для обеспечения надежности приема $\alpha = 10^2$, а скорость передачи информации $\sim \Delta\nu$ в 7 раз меньше, чем по формуле (8). Для цивилизаций III типа нужно учитывать изменение T_N с частотой в соответствии с соотношением (1). Для II типа примем, что $T_N = 1^\circ$. В табл. 1 приведены оценки для трех расстояний, соответствующих передаче информации в пределах Галактики, в пределах местной системы галактик и в пределах наблюдаемой части Метагалактики. Во всех случаях предполагается, что передатчик излучает изотропно.

Таблица 1

Число двоичных единиц в сек $\sim \Delta\nu$

Тип цивилизации	Мощность передатчика	100 тыс. св. лет	10 млн. св. лет	10 млрд. св. лет
II	$4 \cdot 10^{33}$ эрг/сек	$3 \cdot 10^9$	$3 \cdot 10^5$	0.3
III	$4 \cdot 10^{44}$ эрг/сек	$2.4 \cdot 10^5$	$2.4 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^{10}$

Полученные оценки показывают возможность обнаружения сигналов и приема большого количества информации от цивилизаций II и III типа, находящихся практически на любых расстояниях во Вселенной. Спектры передатчиков III типа для любых расстояний и для II типа, рассчитанные на расстояния в пределах нашей Галактики, сравнимы по ширине со спектрами естественных источников радиоизлучения, и поэтому в дальнейшем мы обсудим возможные критерии, с помощью которых можно было бы выделить такие искусственные источники. Цивилизации I типа для любых расстояний и цивилизации II типа для связи между галактиками могут использовать лишь монохроматические сигналы ($\Delta\nu \ll \nu$), поиск которых представляет гораздо большие технические трудности. В связи с обсуждением вопроса о планировании поиска радиосигналов искусственного происхождения, необходимо учитывать эти две существенно различные возможности. Об-

наружение широкополосных сигналов много проще. Кроме того, естественно предположить, что если существуют цивилизации II и III типа, то всякая цивилизация I типа, обнаружившая их сигналы, будет посылать строго направленное излучение в направлении этих цивилизаций и поэтому принципиально не может быть обнаружена нами. Поэтому выявление излучения от суперцивилизаций нам кажется наиболее естественным шагом для начала поисков.

Для иллюстрации возможностей передачи информации цивилизациями II и III типа оценим время передачи всех печатных и рукописных изданий, имеющихся в настоящее время на Земле ($\sim 10^8$) через канал с полосой 10^9 гц. Полагая, что каждая работа содержит в среднем около 10^6 двоичных единиц информации, найдем, что общее количество 10^{14} двоичных единиц может быть передано за 10^5 сек, т. е. за одни сутки. Однако, очевидно, для передачи основных данных о состоянии науки, техники и культуры на Земле нет необходимости передачи всех 100 млн. изданий, такая информация обладает колоссальной «избыточностью». По-видимому, все основные сведения можно изложить в 100 тысячах книг по 10^6 дв. единиц каждая, что составит 10^{11} дв. единиц, и могут быть переданы по тому же каналу связи всего за 100 сек. Конечно, естественно ожидать, что цивилизации II и III типа располагают информацией, на много порядков превышающей ту, которую мы имеем в настоящее время.

8. Позывные и критерии искусственности. Как уже отмечалось выше, излучение искусственного радиоисточника должно обладать целым рядом характеристик, способствующих обнаружению, установлению искусственности и расшифровке. Перечислим некоторые возможные характеристики такого рода.

а) Искусственные источники должны иметь очень малые угловые размеры. Действительно, изменение интенсивности источника с периодом $\frac{1}{\Delta\nu}$ возможно только при условии, что его видимые размеры $\varphi < \frac{c}{r\Delta\nu}$ (в противном случае запаздывание сигналов, вышедших из разных частей источника, приведет к потере информации).

Легко показать, что для всех приведенных выше примеров угловые размеры должны быть менее $0''.001$. Исключение могут представлять, видимо, лишь цивилизации III типа: можно себе представить, что их излучение составлено из большого количества передатчиков, распределенных каким-то образом по спектру и в пределах галактики. Тогда, если в полосу приемника попадает более чем один передатчик, то угловые размеры будут, очевидно, являться угловыми размерами этой системы. При достаточно узкой полосе приемника, когда будет попадать сигнал только от одного передатчика, критерий малости угловых размеров и в этом случае должен выполняться. Подавляющее большинство естественных источников космического радиоизлучения имеет угловые размеры больше $0''.1$. Поэтому критерий точности сразу же выделяет очень небольшое количество объектов, подлежащих дальнейшему исследованию.

б) Изучение переменности во времени, не сводящейся к статистическим флуктуациям. Здесь прежде всего следует ожидать при наблюдениях подозреваемых источников специальных сигналов, прямо указывающих на искусственную природу излучения: например, периодическое «выключение» источника или, наоборот, наблюдение импульсов большой интенсивности. При поисках такого рода позывных необходимо, однако, учитывать, что из соображений максимума передаваемой информации и того, что позывные необходимы только в первоначальный момент идентификации источника, подобные сигналы не могут подаваться слишком часто (так же, как это имеет место в практике обычного радиовещания). Необходимо также исследовать и некоторые статистические характеристики сигнала. В частности, сигнал, несущий информацию для обеспечения надежности приема и расшифровки, должен обладать существенно меньшей энтропией, чем гауссов шум. Целесообразно исследовать спектр частот модуляции подозреваемого источника, при этом характерным может оказаться обнаружение некоторых монохроматических полос (например, частота строк, частота кадров в случае передачи телевидения). Важным является исследование когерентности излучения на соседних частотах, с помощью чего можно определить ширину каналов излучающего передатчика.

в) Важным вопросом является исследование спектра сигнала. Как уже отмечалось выше, из соображений максимума информации, высокочастотная часть спектра должна быть линейно меняющейся с частотой. Кроме того, в широкополосном спектре можно ожидать некоторые детали, также выполняющие роль позывных, в частности, можно ожидать такой особенности в окрестностях линии 21 см . Передача информации на этой частоте в пределах Галактики нецелесообразна, так как сигнал будет сильно поглощаться нейтральным водородом. Поэтому разумно было бы в непрерывном спектре искусственного источника вырезать полосу шириной $1\text{--}2\text{ мГц}$, например, прямоугольной формы, которая и указывала бы на необычный характер излучения.

В случае, если мощность передатчика недостаточна для широкополосного излучения, сам факт обнаружения монохроматического, точечного источника дает очень много шансов за то, что природа его необычна.

Что можно сказать о возможности обнаружения искусственных радиоисточников, используя приведенные выше соображения и имеющиеся наблюдательные данные? К сожалению, в диапазоне сантиметровых волн до настоящего времени не выполнено ни одного обзора неба с целью поиска радиоисточников. Имеющиеся обзоры на более длинных волнах, т. е. вне оптимального диапазона, лишь в очень малой степени имеют отношение к рассматриваемой проблеме. Среди источников, упомянутых в этих обзорах, известно около двух-трех десятков, верхняя граница угловых размеров которых $1''\text{--}10''$ [4]. Некоторые из этих источников отождествляются с пекулярными оптическими объектами. Большинство же пока остается неотожествленным.

В качестве примера можно привести два источника СТА-21 и СТА-102, обнаруженные в Калифорнийском технологическом институте [5]. Они имеют угловые размеры менее $20''$ и, что особенно интересно, обладают спектром, весьма похожим на ожидаемый искусственный. На рис. 2 вместе с теоретически ожидаемым спектром приведены данные наблюдений для этих источников согласно [6]. Там же для сравне-

ния приведен спектр типичного естественного радионисточника Дева А (для которого масштаб по оси ординат сжат в 10 раз). Спектры, в отличие от принятого обычно в радиоастрономии логарифмического масштаба, построены в линейном масштабе (для обеспечения оптимальной информативности спектр должен обладать линейностью в линейном масштабе).

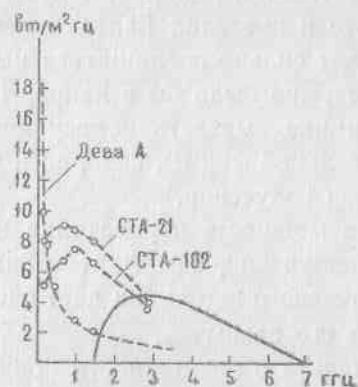


Рис. 2. ———— ожидаемый спектр излучения радиопередатчиков суперцивилизаций; — — — — спектр радионисточников СТА-21 и СТА-102, подозреваемых в качестве искусственных, и спектр радиогалактики Дева А.

По-видимому, весьма сходными объектами являются источники LNE-210, LNE-459 и LNE-523, спектр которых в дециметровом диапазоне удалось построить благодаря наблюдениям, выполненным в ГАИШ на волне 32 см [7].

Укажем также на некоторые наблюдения с высокой разрешающей способностью радиоизлучения туманности Андромеды [8]. Согласно этим данным, в пределах туманности в дециметровом диапазоне обнаружено несколько источников малого углового размера. Наблюдения, выполненные Линдсом на волне 10 см, не обнаружили какого-либо излучения от туманности Андромеды с потоком более $5 \cdot 10^{-27} \text{ Вт/м}^2\text{Гц}$ [9]. Приведенными данными, пожалуй, исчерпываются наблюдения интересующих нас объектов.

В связи с этим ясно, сколь необходимо проведение в бли-

жайшие годы полных обзоров неба в диапазоне 3—10 см. При выполнении такого обзора целесообразно сразу же использовать критерий точности, что на много порядков сократит число исследуемых объектов. Так, например, если исследование в сантиметровом диапазоне проводить с интерферометром с лепестком $0'',1$ и чувствительностью по потоку $10^{-27} \text{ Вт/м}^2\text{Гц}$, то на основании наблюдений, выполненных на метровых волнах, можно ожидать, что число наблюдаемых естественных источников со столь малыми угловыми размерами не будет превышать 10—20. Если еще более увеличить разрешение, то вообще каждый из зарегистрированных источников будет являться уникальным объектом.

Наиболее благоприятным районом для поиска искусственных сигналов, по-видимому, является направление на центр Галактики, так как плотность звездного населения вдоль луча зрения здесь наибольшая. Целесообразно исследовать также в первую очередь ближайшие галактики—туманность Андромеды и Магеллановы Облака.

Параллельно с проведением обзора в сантиметровом диапазоне целесообразно начать детальное исследование уже известных подозреваемых источников согласно критериям, о которых говорилось выше.

В заключение хотелось бы отметить, что приведенные оценки, безусловно, имеют лишь ориентировочный характер. Но все же они указывают, что если земная цивилизация не является единичным явлением во Вселенной, то с помощью современной радиофизики возможность установления контактов с другими цивилизациями вполне реальна. В то же время очень трудно себе представить, что из 10^{11} звезд нашей Галактики только около Солнца возникла наша цивилизация. Еще труднее распространить это исключение на 10^{10} галактик наблюдаемой части Вселенной. Во всяком случае, решающее слово в рассматриваемом вопросе остается за экспериментом. Предлагаемая выше программа кажется наиболее естественной и реально осуществимой, как начальный этап исследований. Поисковые радиоастрономические исследования, по-видимому, могут сыграть решающую роль в рассматриваемой проблеме.

ВОПРОСЫ

Э. Г. Мирзабекян. Если я правильно понял, главным критерием искусственности является спектр источника, затем угловые размеры и т. д. Надо ли искать другие критерии, если, например, установлено, что по спектру источник удовлетворяет критерию искусственности?

Ответ. Главным, по-видимому, является критерий угловых размеров, благодаря которому число исследуемых объектов сразу уменьшается на 2—3 порядка и более, если говорить о радиоисточниках с размерами менее 0,1 (при пороге обнаружения $10^{-27} \text{вт/м}^2 \text{гц}$). Остальные критерии, видимо, позволяют еще более сузить круг исследуемых объектов.

В. А. Амбарцумян. Я коснусь самой парадоксальной части Вашего доклада. Я пока не возражаю, а только хочу уяснить, правильно ли я понял: Вы считаете, что выгоднее иметь монохроматический, анизотропный, прерывистый сигнал, а приходите к выводу, что надо искать сплошной, изотропный и непрерывный сигнал?

Ответ. Совершенно верно. Из соображений максимального количества передаваемой информации и при заданной мощности передатчика всегда есть оптимальные требования к полосе, анизотропности и времени излучения. Для цивилизаций II и III типа эти величины оказываются такими, что возможно излучать в широкой полосе, изотропно и непрерывно.

Г. М. Айвазян. Каково расстояние до источников, которые Вы приводили в качестве примера, как возможно искусственные?

Ответ. Все эти источники пока не отождествлены с оптическими объектами и поэтому расстояние до них неизвестно. Некоторые данные о попытке их отождествления будут сообщены Ю. Н. Парийским.

П. М. Геруни. Почему вы считаете, что обзор всего неба необходимо произвести за одни сутки?

Ответ. Это позволит увеличить информативность.

ЛИТЕРАТУРА

1. P. C. Putnam, Energy in the Future, New York, 1948.
2. B. M. Oliver, International Science and Technology, № 10, 55, Oct. 1962; A. J. Turtle, J. F. Pugh, S. Kenderdine, I. I. K. Paulini-Toth, Month. Not. Roy. Astron. Soc., 124, 297, 1962; R. W. Wilson, Observations of the Owens Valley Radio Observ., Cal. Techn., № 3, 1963; W. Altenhoff, P. G. Mezger, H. Strassl, H. Wendekerr, G. Westerhout, Veröffentlich. Univ.-Sternwarte zu Bonn, № 9, 1960.
3. С. Голдман, Теория информации, Изд-во ин. лит., М., 1957, стр. 186.
4. L. R. Allen, B. Anderson, R. G. Conway, H. P. Palmer, V. C. Reddish, B. Rowson, Month. Not. Roy. Astron. Soc., 124, 477, 1962.
5. D. E. Harris, J. A. Roberts, Publ. of the Astron. Soc. of Pacific, 72, 237, 1960.

6. R. G. Conway, K. I. Kellerman, R. I. Long, Month. Not. Roy. Astron. Soc., 125, 261, 1963.
7. Г. Б. Шоломицкий, В. Н. Курильчик, Л. И. Матвеев, Г. С. Хромов, Астрон. циркуляр, № 283, 1964; Астрон. ж., в печати, 1964.
8. J. Kraus, Nature, 198, 844, 1963; Sky and Tel., 26, № 1, 12, 1963.
9. C. Lynds, Publ. Nat. Radio, Astron. Observ., 1, № 7, 112, 1961.

НАБЛЮДЕНИЕ ПЕКУЛЯРНЫХ РАДИОИСТОЧНИКОВ СТА-21 И СТА-102 В ПУЛКОВЕ

Ю. Н. ПАРИЙСКИЙ

Главная астрономическая обсерватория АН СССР, Пулково

В предыдущем докладе (см. также [1]) было высказано предположение, что радиоисточники СТА-21 и 102, имеющие спектр с максимумом в дециметровом диапазоне, являются искусственными. Основными аргументами при этом являлись: 1. Близость наблюдаемого спектра к ожидаемому [1]. 2. Малость угловых размеров.

По просьбе Н. С. Кардашева мы определили интегральный поток от этих двух радиоисточников в сантиметровом диапазоне волн с помощью Большого Пулковского радиотелескопа и широкополосного параметрического усилителя на волне 6.4 см. Одновременно были измерены угловые размеры этих источников и их прямые восхождения. Осредненные кривые прохождения радиоисточников показаны на рис 1 а, б. Результаты измерений сведены в табл. 1. Склонения взяты из [2].

Таблица 1

СТА-21	$P=2.7 \pm 0.3 \cdot 10^{-26}$ вт/м ² гц;	$\alpha_{1950}=3^h 16^m 08^s 63 \pm 0^s 3$, $\varphi_l < 1'$,
		$\delta_{1950}=16^\circ 17' 45'' \pm 8''$,
СТА-102	$P=3 \pm 0.3 \cdot 10^{-26}$ вт/м ² гц;	$\alpha_{1950}=22^h 30^m 07^s 94 \pm 0^s 3$, $\varphi_l < 0'.2$,
		$\delta_{1950}=11^\circ 28' 49'' \pm 8''$.

В последней графе приведены оценки угловых размеров этих источников; с точностью до ошибок измерений СТА-102 оказался точечным, в то время как СТА-21 возможно

протяженный. Для подтверждения последнего была проведена вторая серия наблюдений, и вновь получено заметное расширение диаграммы антенны при прохождении этого источника. Размер радиоисточника по уровню нулевой мощности менее 1', поэтому, если эффект расширения реален, то источник

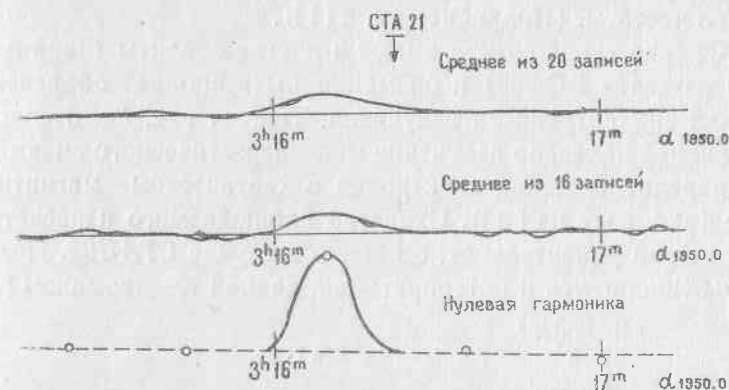


Рис. 1а. Кривая прохождения радиоисточника СТА-21. Внизу — интегральная мощность радиоизлучения на интервалах в 4' вблизи радиоисточника („нулевая гармоника“, определяющая интегральный поток радиоизлучения).

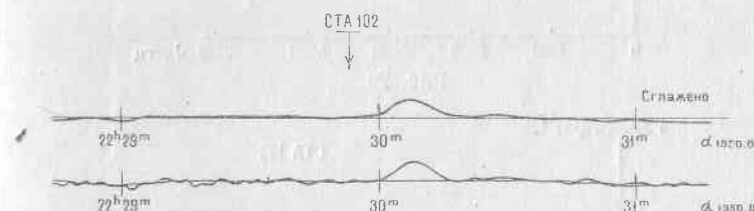


Рис. 1б. Кривая прохождения источника СТА-102 (внизу). Вверху — сглаженная кривая на интервалах 1'.

двойной. К сожалению, точность настоящих измерений не позволяет сделать этот вывод уверенно. Два значения потока соответствуют двум предположениям об угловых размерах источника СТА-21: $3 \cdot 10^{-26}$ вт/м²гц, $\varphi_l \approx 1'$, $2.4 \cdot 10^{-26}$ вт/м²гц, $\varphi_l < 0'.2$.

Интегральный спектр радиоизлучения этих источников приведен на рис. 2а, б как в логарифмическом масштабе, так

и в линейном. Высокочастотные точки достаточно хорошо ложатся на прямую зависимости между длиной волны и потоком радиоизлучения. Такая зависимость ожидается для искусственного спектра ввиду линейной зависимости мощности квантовых флуктуаций от частоты, рассчитанной на единичный интервал частоты. (Подробнее см. в [1]).

Однако такой спектр имеют и другие объекты (например, «суперзвезда» ЗС-286) и он может быть вполне объяснен в рамках синхротронного излучения. Так, на рис. 3а, б сплошной линией показано излучение моноэнергетического ансамбля ультрарелятивистских электронов в хаотическом магнитном поле (рис. взят из [3]). Сходство наблюдаемого и расчетного спектров удивительное, особенно в случае СТА-102. Поэтому мы склоняемся к интерпретации, данной Келлерманом [3].

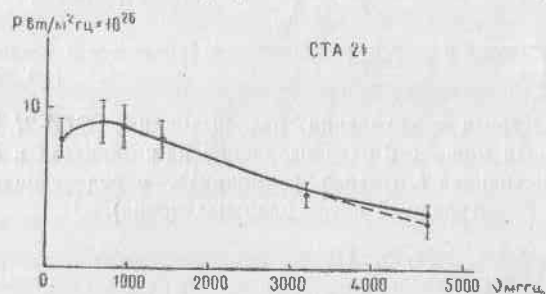


Рис. 2а.

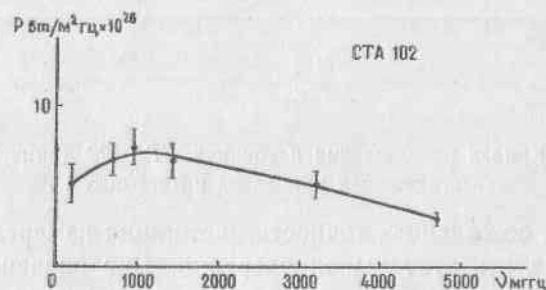


Рис. 2б.

Заметим, что совершенно не обязательно иметь первичный спектр электронов моноэнергетический. Как показано в [4], при одновременном воздействии статистического механизма Ферми (или бетатронного механизма) и высвечивания в маг-

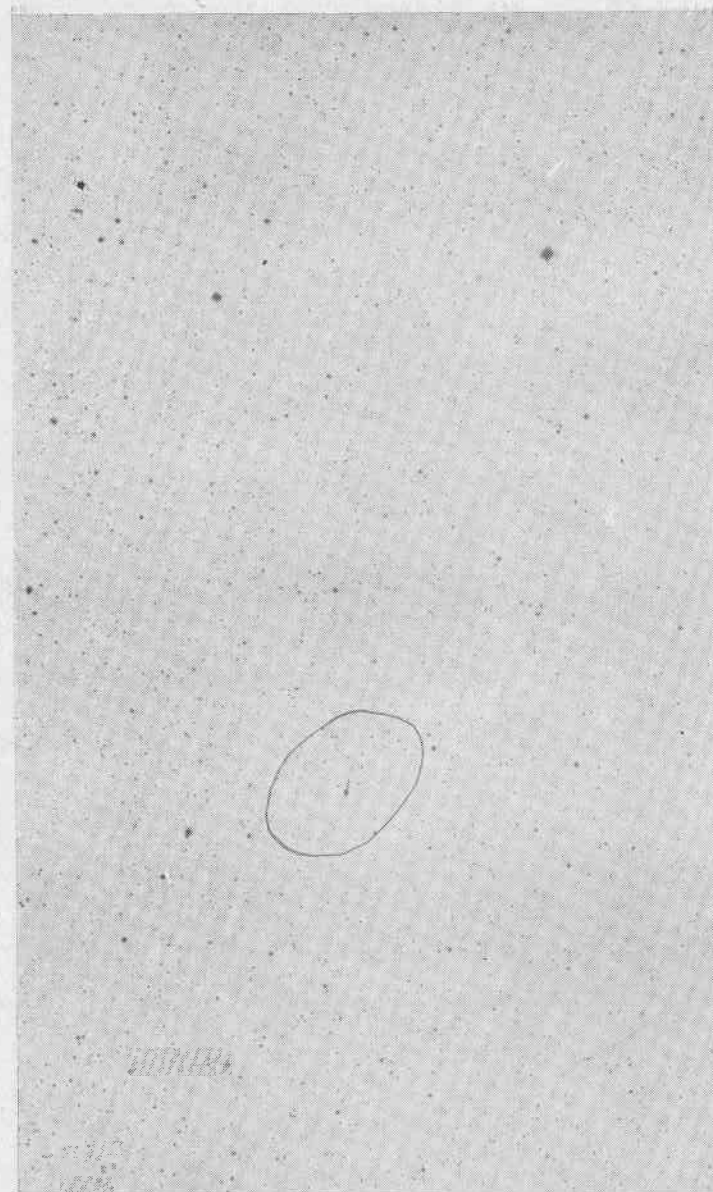


Рис. 4а. Область неба вблизи СТА-21, красные лучи (пластинка «Е»). Масштаб: 1 мм = 0'87.



Рис. 46. Область неба вблизи *СТА-102*, красные лучи
(пластинка «Е»).

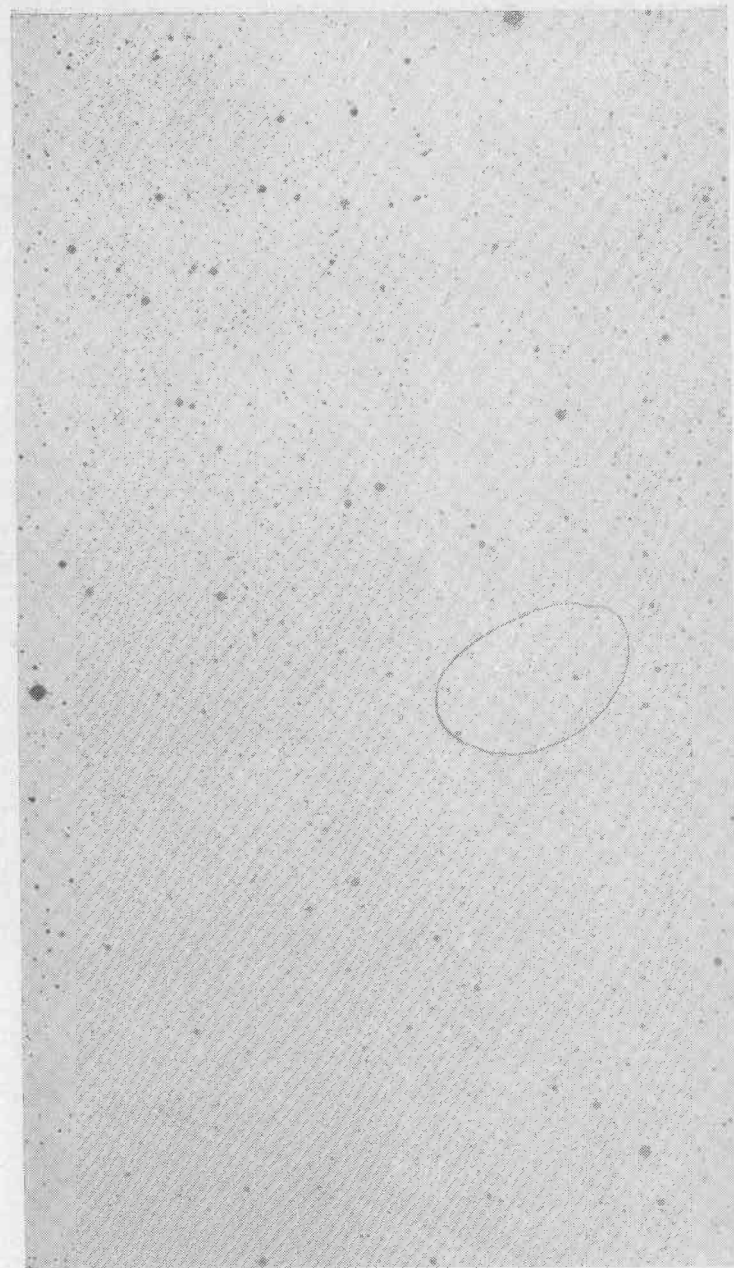


Рис. 46. Область неба вблизи *СТА-102*, красные лучи
(пластинка «Е»).

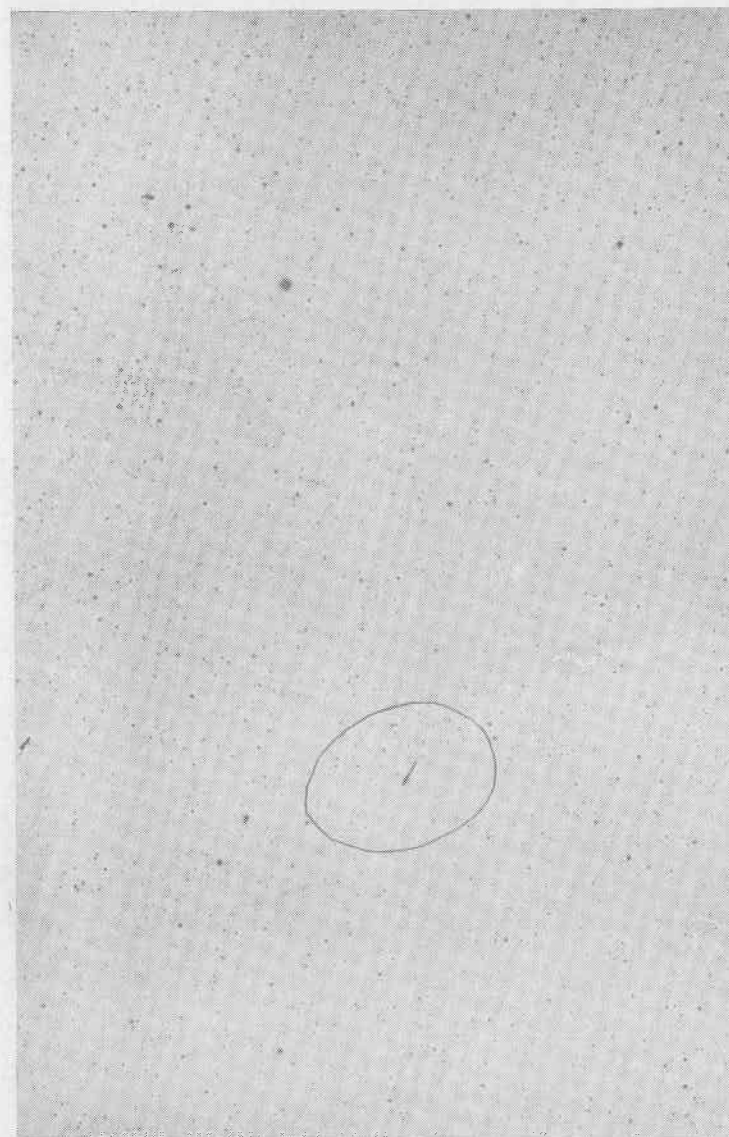


Рис. 4в. Область неба вблизи *СТА-21*, синие лучи
(пластинка «02»).

нитном поле в стационарных условиях любой степенной спектр превращается в моноэнергетический. Однако, как следует из расчетов [5], возможность вторичного происхождения электронов в этих объектах исключается, так как спектр вторичных электронов достаточно широкий даже для моноэнергетического спектра протонов.

Используя определенные нами прямые восхождения этих объектов и их склонения из [2], мы попытались провести оптическое отождествление радиисточников *СТА-21* и *102*. На фотографиях рис. 4а, б показаны оптические объекты, наиболее близкие к положению радиисточников.

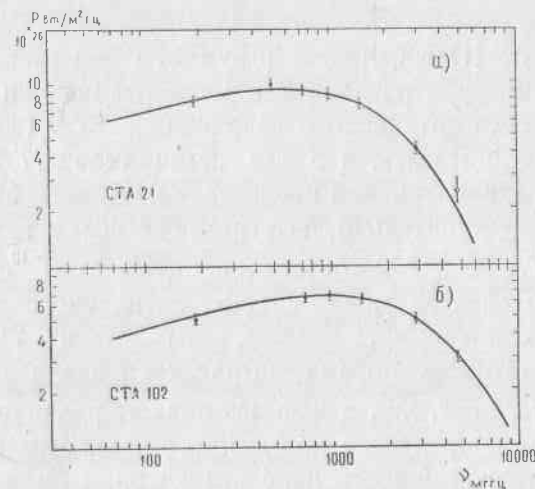


Рис. 3а, б.

Тщательное исследование репродукций атласа Мзаунт Паломар вблизи источника *СТА-21* показало, что оптический объект, расположенный к востоку на $12''$ от положения радиисточника, указанного стрелкой, является весьма слабым, звездообразным, приблизительно 21^m — 22^m . Его цвет—красный. В синих лучах (см. рис. 4в) он практически не виден. Ближайший объект к западу—голубой. Поэтому не исключено, что именно он является наиболее вероятным оптическим объектом, ответственным за радиоизлучение.

Весьма близко к источнику *СТА-102* расположен звездообразный объект 19^m — 20^m . На расстоянии около $6''$ к во-

стоку и $30''$ к северу видна двойная галактика $\sim 18^m$, северный компонент которой ярче южного, позиционный угол оси компонент $\sim 0^\circ$, расстояние между компонентами $5''$. Однако эта галактика заведомо вне пределов ошибок измерений по прямому восхождению. Объект, совпадающий с радионисточником, имеет слегка голубой цвет.

Таким образом, мы приходим к заключению, что оба радионисточника связаны с весьма слабыми звездообразными объектами. Существенно, что даже если в дальнейшем координаты радионисточников будут уточнены, этот вывод только усилится, так как вблизи могут быть объекты только слабее $22^m - 23^m$.

В работе [1] в качестве разумного верхнего предела мощности, которой располагает цивилизация типа II и III, взята мощность оптического излучения звезды (или системы звезд). Легко показать, что для источников *СТА-21* и *102* мощность радиоизлучения превышает мощность оптического излучения. Действительно, интегральный поток радиоизлучения для *СТА-21* и *102* составляет около $6 \cdot 10^{-13} \text{ эрг/сек.см}^2$. Считая, что спектральный состав оптического излучения близок к солнечному, найдем, что объект 21^m создаст на Земле плотность потока оптического излучения $\sim 1.4 \times 10^{-13} \text{ эрг/сек.см}^2$, т. е. в 4 раза меньше радиопотока. Это соотношение сохраняется при любых абсолютных светимостях объектов. Мощность передатчика вряд ли может превосходить несколько процентов от всех энергоресурсов цивилизации типа II или III. Поэтому наблюдаемая мощность радиоизлучения на два порядка превосходит верхний предел мощности изотропного искусственного источника.

Будем считать, что излучение носит направленный характер, тогда энергетические трудности можно снять, положив, что направленность передающих систем G более 100. Учитывая, что $G = 4\pi A/\lambda^2$, где A — эффективная площадь системы, $\lambda \sim 0.3 \text{ м}$, получим $A > 1 \text{ м}^2$, диаметр зеркала D более 1 м, $\lambda/D < 20^\circ$. Однако легко сообразить, что $A \gg 1 \text{ м}^2$, так как невозможно сконцентрировать столь огромную энергию ($10^{33} - 10^{44} \text{ эрг/сек}$) в столь малом объеме. Поэтому и

направленность системы должна быть много выше. При движении антенной системы в пространстве мы должны были бы видеть кратковременные вспышки радиоизлучения в момент, когда мы попадаем в поле зрения передатчика. Однако за последние 3 года никто не отмечал каких-либо вариаций мощности радиоизлучения источников *СТА-21* и *102*. Единственный остающийся выход — считать, что наша планетная система непрерывно «облучается» цивилизацией типа II или III в течение трех лет. Это предположение кажется крайне искусственным.

Итак, мы видим, что спектральная peculiarity *СТА-21* и *102* не является решающим критерием искусственности радионисточников. Возможно, что «peculiarность радиоразмеров» (точечность) будет более надежным критерием. Однако нам хотелось бы подчеркнуть относительность всех критериев такого типа. Так, легко предугадать, что с повышением чувствительности радиотелескопов будет доступно наблюдениям большое число «естественных» радионисточников малого размера: звезды, планетарные туманности, сверхновые в соседних галактиках и т. д., и понадобится новый критерий, позволяющий сузить класс подозрительных объектов. Этим новым критерием могли бы явиться различного рода манипуляции в спектре излучения. Но и здесь мы можем ожидать «естественную» манипуляцию как амплитудную (медленно меняющаяся компонента радиоизлучения звезд, всплески радиоизлучения, цефеиды и т. п.), так и частотную (динамические всплески звезд, возможно — цефеиды и т. п.). Поэтому мы считаем, что единственным критерием искусственности является расшифровка и использование принятой информации.

ВОПРОСЫ

В. А. Амбарцумян. Вы получили соотношение $z_{\text{рад}} = 300 z_{\text{опт}}$.

Если мы положим, что $Z_{\text{опт}} = Z_{\text{рад}}$, то абсолютная величина соответственно уменьшится и будет равна абсолютной величине источника в Лебеде. Означает ли это, что радиопоток от *СТА-21* равен потоку от Лебеда-А?

Ответ. Если считать, что различие в соотношениях абсолютных радио- и оптических светимостей компенсируется различием в звездных ве-

личинах Лебедя-А и СТА-21, то плотности потока (проинтегрированные по частотам), наблюдаемые на Земле, действительно будут одинаковыми от этих объектов.

И. Д. Новиков. Не говорят ли подозрения о двойственности первого из рассмотренных источников или, если это не так, то, по крайней мере, указания на то, что угловые размеры несколько больше диаграммы направленности антенны, в пользу естественности этого источника, а значит, и ему подобных?

Ответ. На мой взгляд—несомненно, да (если не считать вероятным существование «семейств» II и III типа цивилизаций).

Е. Я. Богуславский. Каковы параметры применявшегося параметрического усилителя?

Ответ. Полоса 200 мГц, температура шумов (включая шумы тракта, антенны, последующих каскадов) 400° К. Чувствительность 0,005К при постоянной времени 3 сек.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. С. Кардашев, А. Ж, 41, 282, 1964.
2. R. B. Read, Ap. J., 138, № 1. 1, 1963.
3. K. Kellermann, Owens Valley Radio Observatory, № 3, 1964.
4. С. А. Каплан, С. Б. Пикельнер, Межзвездная среда, ГИФМЛ, М., 1963.
5. В. Л. Гинзбург, С. И. Сыроватский, Происхождение космических лучей, Изд-во АН СССР, М., 1963.

РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ИСКУССТВЕННОСТИ РАДИОИСТОЧНИКОВ

В. И. СЛЫШ

Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга,
МГУ, Москва

В докладе Н. С. Кардашева высказано предположение о том, что радиопередатчики внеземных цивилизаций, ведущие широкополосную изотропную передачу, внешне мало чем отличаются от обычных дискретных источников радиоизлучения, связанных с галактическими или внегалактическими туманностями. А так как число известных дискретных радиоисточников в настоящее время достигает нескольких тысяч, то поиск искусственных радиоисточников представляется достаточно трудной задачей. В связи с этим Н. С. Кардашев на основании детального анализа свойств естественных радиоисточников и исходя из наиболее общих соображений о возможностях космической связи предложил ряд радиоастрономических критериев возможной искусственности радиоисточников:

- 1) спектр—максимум в диапазоне 3—10 см, линейный спад на более высоких частотах,
- 2) малые угловые размеры,
- 3) переменность во времени.

Рассмотрим каждый из этих критериев подробнее.

1. *Спектр.* Естественные источники в подавляющем большинстве случаев имеют так называемый степенной спектр, когда мощность радиоизлучения убывает с увеличением частоты, как $f^{-\alpha}$. В ряде случаев показатель степени α (спектральный индекс) скачкообразно меняется, оставаясь отрицательным,—так называемый перелом спектра. Наконец, известно несколько радиоисточников, у которых наблюдается «завал» спектра—на низких частотах показатель спектра

становится положительным. В этом случае радионисточники имеют максимум в спектре, обычно в диапазоне метровых волн, реже—на дециметровых волнах. Однако не исключено, что будут обнаружены радионисточники с максимумом в диапазоне сантиметровых волн; спектр таких источников похож на ожидаемый спектр искусственных источников. Линейность спектра в высокочастотной области является более сильным критерием искусственности. Линейность спектра предполагает конечность полосы частот, то есть существование предельной частоты излучения. Естественные источники не имеют предельной частоты, для них ось частот является асимптотой спектра. Например, спектр Крабовидной туманности простирается от радиообласти до инфракрасной и дальше до видимой области. Возможность решения вопроса о линейности спектра или о его степенном характере зависит от точности измерения потоков в широком диапазоне частот. В принципе характер спектра можно определить по измерениям потока с достаточно хорошей точностью на трех частотах.

2. *Угловые размеры.* Согласно существующим представлениям все радионисточники занимают конечную площадь на небесной сфере. Для всех известных механизмов излучение с одной квадратной секунды не может быть неограниченно большим из-за действия самопоглощения. Поэтому даже при синхротронном излучении — чрезвычайно эффективном механизме излучения — существует нижний предел угловых размеров при заданном потоке радионизлучения. Для сравнительно слабых радионисточников с потоком порядка 10^{-25} *вт/м² гц* на волне 50 *см* нижний предел углового размера равен 0".005, на волне 5 *см* — 0".0003. Отметим, что в настоящее время измерения угловых размеров радионисточников производятся с максимальным разрешением порядка 1". Как показывают эти измерения, подавляющее большинство радионисточников значительно больше 1". Теоретические оценки дают ожидаемое число радионисточников с угловым размером 0".001 и меньше порядка 50.

Что касается радионисточников искусственного происхождения, в которых используется мощность, сравнимая с энергоснабжением звезды, то их видимые угловые размеры должны быть чрезвычайно малыми по двум причинам. Во-первых,

масштабы деятельности цивилизации такого типа должны быть ограничены размерами планетных систем. Поэтому уже на расстоянии 10 *пс* угловой размер такой системы будет меньше 1". Во-вторых, видимый угловой размер передатчиков искусственного происхождения должен ограничиваться скоростью передачи информации. В самом деле, если передача ведется со скоростью n *дв. ед/сек*, то видимый угловой размер передатчика должен быть меньше $\frac{c}{nR}$, где R — расстояние

до передатчика. Скорость передачи $n = 10^6$ *дв. ед/сек* соответствует линейному размеру 300 *м*. Это не означает, что физический размер передающей системы должен быть обязательно меньше 300 *м*. По-видимому, генерация больших мощностей (порядка 10^{33} *эрг/сек*) в столь малом объеме практически невозможна. Да в этом и нет необходимости. Приведенные выше расчеты относились к эквивалентному некогерентному излучателю, для которого только и применимо понятие углового размера. Использование принципов когерентного излучения дает возможность распределить излучатель по большому объему без увеличения видимого углового размера. Такую систему можно представить, например, в виде сферического усилителя бегущей волны радиусом в несколько астрономических единиц («сфера Дайсона»), в центре которого расположен задающий генератор сравнительно небольшой мощности. Эта система обеспечивает почти изотропную передачу с очень большой мощностью и с высокой скоростью (большой информативностью). Видимый угловой размер ее определяется только задающим генератором, так как сферический усилитель бегущей волны не искажает волнового фронта задающего генератора. В таблице приведены предельные угловые размеры в зависимости от скорости передачи для расстояния 1 *кпс*.

$n \frac{\text{дв. ед.}}{\text{сек}}$	$3 \cdot 10^{-8}$	10^{-5}	$3 \cdot 10^{-4}$	1	10^3	10^6	10^9
θ''	70	0.2	0.007	$2 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{-12}$	$2 \cdot 10^{-15}$

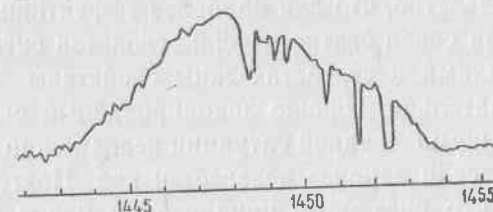
Примечание: $n = 3 \cdot 10^{-8}$ соответствует передаче 1 дв. ед. за 1 год
 $n = 4 \cdot 10^{-5}$ " " " " 1 сутки
 $n = 3 \cdot 10^{-4}$ " " " " 1 час.

Из таблицы видно, что системы передачи информации с большой скоростью должны иметь видимые угловые размеры, которые практически невозможно измерить (напомним, что максимальная разрешающая сила современных радиоинтерферометров составляет $1''$). По-видимому, минимальный угловой размер таких систем, так же как и скорость передачи информации, будет ограничиваться дисперсией фазовой скорости в неоднородностях межзвездной и межпланетной среды. Но и в этом случае возможны передачи информации в очень широкой полосе с помощью многоканальных систем; для каждого канала в отдельности применимы приведенные выше соображения.

3. *Переменность.* Под этим термином подразумевается, что мощность сигналов внеземных цивилизаций должна каким-то образом изменяться с течением времени (с характерным временем больше 1 секунды). При низконформативной передаче такая переменность соответствует самой модуляции, связанной с кодированием информации. При высокой скорости передачи эта переменность может соответствовать началу и концу определенного сеанса, либо выполнять функцию «позывных», специально предусмотренных для большей легкости обнаружения сигналов искусственного происхождения. Трудность заключается в том, что неизвестно характерное время возможных изменений мощности сигнала. Что это—секунды или минуты, или годы? К счастью, все известные в настоящее время естественные источники радиоизлучения обладают высокой степенью постоянства излучаемой мощности в радиодиапазоне. Это доказано как теоретическими расчетами, так и непосредственными измерениями. Лишь у некоторых источников, принадлежащих к классу весьма нестационарных объектов, обнаружено медленное изменение потока радиоизлучения. Например, поток радиоизлучения источника Кассиопея-А, связанного с расширяющейся оболочкой бывшей Сверхновой, монотонно уменьшается примерно на 2% в год. Таким образом, обнаружение быстрых (а еще лучше регулярных) изменений потока радиосисточников было бы достаточно веским основанием для подозрения их в искусственности.

Радиоизлучение звезд

В последнее время благодаря прогрессу радиоастрономической техники обнаружено радиоизлучение, исходящее от некоторых нестационарных звезд, а именно, переменных звезд типа UV Кита. Радиоизлучение имеет характер всплесков длительностью порядка 10 минут, появляющихся приблизительно одновременно со вспышками излучения в видимой области. Иногда на сравнительно плавное изменение потока накладываются быстрые и глубокие флуктуации (см. рис.) длитель-



Запись радиоизлучения звезды V 371 Ориона
на частоте 410 Мгц.

ностью в несколько секунд. Это радиоизлучение, на первый взгляд, может удовлетворять всем трем перечисленным выше критериям искусственных радиосисточников: спектр, хотя и неизвестен точно, может быть похожим; угловой размер не измерялся, но должен быть заведомо меньше $1/1000$ секунды дуги; замирания, видимые на рисунке, если их исправить за постоянную времени радиометра, весьма напоминают «позывные». Однако это радиоизлучение не считается искусственным. Подобные всплески в большом разнообразии наблюдаются на нашей звезде—Солнце, только в меньшем масштабе, и, по-видимому, связаны с нестационарными процессами в звездных атмосферах. Возможность приема радиоизлучения от нестационарных звезд следует иметь в виду при поиске сигналов искусственного происхождения. Во всяком случае, обнаружение радиоизлучения большого числа звезд в процессе такого поиска будет хорошим побочным результатом, имеющим большое астрофизическое значение.

Следует подчеркнуть, что приведенные выше радиоастрономические критерии рассчитаны на современный уровень

радиоастрономии. Они дают возможность начать поисковые работы уже с существующими радиотелескопами, в которых отношение сигнала к шуму для большинства радиоисточников составляет 1/10—1/1000. Естественно, что для приема и расшифровки информации потребуется отношение сигнала к шуму больше 1, то есть антенны большей площади и приемники лучшей чувствительности.

Статистические свойства сигналов

Хорошо известно, что для наиболее эффективного использования канала связи статистические свойства сигнала должны быть близкими к статистическим свойствам случайного шума. Следовательно, хорошо закодированный сигнал почти не отличим от шума. В такой ситуации невозможно произвести расшифровку, если заранее неизвестен код. Поэтому не следует думать, что внеземные цивилизации будут кодировать свои передачи идеальным образом в погоне за максимальной информативностью сигнала. Принципиально необходимым условием для возможности расшифровки сигналов является их избыточность, т. е. неполное использование пропускной способности канала за счет глубоких статистических связей. Здесь под избыточностью мы понимаем наиболее общие статистические свойства—от простого повторения кодовых комбинаций до курса обучения языку (например, языку «Линкос»). Избыточность является также характерным свойством некоторых видов модуляции, например амплитудной модуляции. Таким образом, искусственные сигналы должны обязательно обладать достаточно большой избыточностью. Что касается естественных радиоисточников, то их радиоизлучение является чисто случайным некоррелированным шумом, так как оно складывается из очень большого числа элементарных актов излучения заряженных частиц. Легко убедиться, что суммарное излучение нормализуется в силу предельной теоремы теории вероятностей.

Таким образом, поиск искусственных радиоисточников должен включать в себя возможно более полное исследование статистических свойств сигнала, отличных от характеристик

нормального шума естественных радиоисточников. К таким характеристикам относятся моменты функции распределения

$$M_n = \int x^n p(x) dx,$$

автокорреляционная функция

$$\varphi(\tau) = \int x(t) x(t - \tau) dt,$$

функция корреляции спектра

$$\psi(\Delta f) = \int x(f) x(f - \Delta f) df \quad \text{и т. д.}$$

Заключение

Несмотря на то, что каждый из обсуждаемых здесь критериев искусственности радиоисточников не является однозначным, нам кажется, что совместное применение всех критериев было бы достаточным для обнаружения искусственных радиопередатчиков. Во всяком случае, обнаружение даже естественных радиоисточников, удовлетворяющих этим критериям, было бы событием чрезвычайной важности для радиоастрономии.

Как указывалось выше, поиск искусственных радиоисточников может быть начат уже при современном уровне развития радиоастрономии. Нам кажется, что первым шагом в этом направлении должен быть обзор неба с интерферометром, имеющим разрешающую способность порядка 0".1. В этом случае сразу отсеялись бы почти все естественные радиоисточники. Оставшиеся источники должны быть подвергнуты измерениям с еще большим разрешением, должен быть измерен их спектр, степень постоянства потока. Затем следует изучить статистические свойства, о которых говорилось выше. Если после всех этих операций еще останутся источники, подозреваемые в искусственности, то можно будет начать строить большие антенны для приема и расшифровки информации.

К ВОПРОСУ О ПРИЕМЕ СИГНАЛОВ ВНЕЗЕМНОЙ ЦИВИЛИЗАЦИИ

Л. И. ГУДЗЕНКО, Б. Н. ПАНОВКИН

Физический институт им. И. Н. Лебедева АН СССР, Москва.
Совет по комплексной проблеме «Радиоастрономия» АН СССР, Москва.

В результате развития радиофизики, кибернетики и ряда других смежных научных дисциплин обсуждение проблемы о возможности приема сигналов внеземных цивилизаций (ВЦ) приобретает в последнее время более конкретный характер. Эта проблема, очевидно, включает в себя две задачи: обнаружение сигнала и расшифровку принимаемой информации. Выскажем некоторые соображения по первой из них. Одна из основных трудностей, по нашему мнению, это отыскание свойств сигнала ВЦ, позволяющих надежно выделить его среди излучений естественных источников. При этом надо учитывать, что источники естественных излучений могут давать весьма сложно замодулированные «сигналы».

В статье Н. С. Кардашева [1] обсуждается несколько критериев сигнала ВЦ: 1) точечность источника, 2) выбор частотного диапазона сигнала на участке минимума естественных излучений, 3) форма спектра, позволяющая передать максимально возможную информацию. В ранее опубликованной заметке Галлея [2] предложены другие критерии, 4) статистические свойства амплитуды сигнала, излученного автогенератором — системой с обратной связью (в противоположность статистике огибающей шума, прошедшего через селективный фильтр), 5) когерентность сигнала. Критерии (1—5) не являются одинаково обоснованными и не дают уверенности в надежном выделении сигнала ВЦ, если он и достаточно интенсивен для имеющейся приемной аппаратуры. Поскольку в

ближайшие годы чувствительность радиоастрономических приборов будет увеличиваться, следует ожидать быстрого нарастания и числа «подозрительных» источников радиоизлучения. Поэтому основную роль в выделении сигнала ВЦ придется передать автоматическим установкам. В соответствии с этим часто высказываемый дополнительный критерий «странности» сигнала нуждается в существенном уточнении. Не предлагая новых критериев, сделаем несколько замечаний по цитированным выше.

Важно подчеркнуть, что сигнал, насыщенный информацией с неизвестным кодом, фактически не отличим от шума по всей совокупности характеристик. Поэтому представляется разумным, что, помимо такого «информативного» сигнала, должен посылаться также специальный сигнал, привлекающий внимание, — «позывные» ВЦ. Нужно сосредоточить внимание на возможных отличительных свойствах именно «позывных». Статистические критерии, высказанные в [2], связаны с предположением, что естественные источники заведомо не являются автоколебательными системами с обратной связью. Это утверждение, если его понимать буквально, неверно, поскольку не только цефеиды, но и такая звезда, как Солнце (вследствие циклической активности), являются естественными астрофизическими автогенераторами. Правда, все известные пока источники такого рода имеют специфический характер — автоколебания здесь проявляются не на частоте излучения, а лишь модулируют несущую. Только наблюдения могут ответить на вопрос о возможности существования в радиодиапазоне достаточно интенсивных квазимонохроматических естественных астрофизических источников, в которых автоколебания формируют не огибающую, а само высокочастотное излучение. Теоретически же можно предложить модель неравновесной («мазерной») среды, в которой условия усиления так зависят от интенсивности усиливаемого излучения, что усиление сменяет поглощение лишь при достижении определенного уровня интенсивности. При генерации в «свободном» пространстве (т. е. без твердых отражателей) здесь возникнет сигнал, более близкий (по распределению амплитуд) к сигналу автогенератора, чем к шуму, прошедшему через линейную селективную

систему. Оставляя в стороне неправильные высказывания Галлея о будто бы имеющемся различии в понятиях когерентного и квазимонохроматического сигнала, можно присоединиться к его утверждению о целесообразности использования таких сигналов в качестве позывных.

Выбор вида позывных может быть связан с необходимостью корректировать искажения «информативного» сигнала. Поясним это примером. Вследствие дисперсии, определяемой рассеянием радиоволн на свободных электронах среды, разница в запаздывании граничных гармоник сигнала оценивается соотношением*:

$$\Delta t \sim \frac{10^8 NR}{cf^3} \Delta f,$$

где N — электронная концентрация, R — расстояние, f — частота, Δf — ширина частотной полосы сигнала, c — скорость света. Уже при расстояниях, сравнимых с размером нашей Галактики, величина Δt становится ощутимой. Полагая $R \sim 10^3$ парсек, $N \sim 0.1$ см⁻³, $f \sim 10^{10}$ гц, $\Delta f \sim 10^6$ гц, найдем $\Delta t \sim 10^{-8}$ сек, т. е. $f \cdot \Delta t \sim 10^4$.

При постоянстве дисперсии этот эффект не приведет, однако, к неразрешимой трудности, он сведется лишь к перекодированию средой передаваемого сигнала; т. е. в принципе задача сводится к расшифровке нового кода, что, вообще говоря, не изменяет сути дела, поскольку «истинный» код ВЦ нам все равно не известен. Гораздо хуже, если дисперсия имеет существенную медленно меняющуюся со временем составляющую, в этом случае возникают принципиальные трудности, связанные с задачей о расшифровке неконтролируемо-переменного кода. Поэтому можно ожидать, что позывные конструируются так, чтобы среда закладывала в них информацию о своих дисперсионных свойствах. Так будет, например, если позывные представляют из себя совокупность раз-

несенных по частотам квазимонохроматических сигналов, перекрывающую с определенной скважностью весь информативный диапазон $f - \frac{\Delta f}{2} \div f + \frac{\Delta f}{2}$ с общей амплитудной модуляцией.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. С. Кардашев, АЖ, 16, 282, 1964.
2. М. I. E. Golay, Interstellar communication, N. Y., 1963, p. 192.

* Эта формула верна лишь для сравнительно больших плотностей свободных электронов, когда $\frac{c}{f} \sqrt{N} \gg 1$; при $\frac{c}{f} \sqrt{N} \sim 1$ дисперсия связана в основном с участками относительно повышенной концентрации электронов.

ДИСКУССИЯ

В. А. Котельников. Широкополосные спектры, о которых говорил Н. С. Кардашев, предназначены для очень развитых цивилизаций. Если ставить вопрос о передаче меньшего числа информации, то оптимальным будет, конечно, более узкий спектр. При наблюдении с узкой полосой всегда есть опасность промахнуться. Поэтому надо использовать систему узкополосных фильтров, охватывающих в совокупности весь интересующий нас диапазон. Позднее я буду говорить об этом в своем докладе.

Я. Б. Зельдович. Мне кажется, что не обязательно передавать максимум информации, для чего требуются большие полосы и соответственно большие мощности. Достаточно передавать сигналы для обнаружения (позывные). Уже сам факт обнаружения внеземной цивилизации несет в себе богатую информацию (о том, что она существует, подает сигналы и пр.). Для обнаружения искусственных источников надо сканировать по углу и по частоте, надо искать точечные монохроматические источники.

А. А. Пистолькорс. В. А. Котельников сформулировал цели настоящего совещания таким образом, что мы должны обсудить вопрос о вероятности существования внеземных цивилизаций и уж исходя из степени этой вероятности принять решение относительно финансирования и развертывания работ по поискам сигналов от внеземных цивилизаций.

Возможен и иной подход: исходить из того факта, что у человечества на данной стадии его развития возник интерес к проблеме связи с внеземными цивилизациями. Почему он возник? Может быть, человечество хочет убедиться в том, что оно не одиноко в космосе; может быть, это инстинктивное желание расширить свои сведения о космосе, а может быть—

это скрытое намерение в дальнейшем получить полезную информацию от более высоких цивилизаций.

Фактом является возникновение нового научного направления. Пример первоначального пренебрежительного отношения к кибернетике заставляет нас возможно более продуманно подойти к оценке этого направления. Мне представляется, что оно должно быть поддержано нами, так как является одним из новых научных направлений, связанных с освоением космоса, какова, например, биология космических полетов и ряд других.

Надо признать необходимыми исследования, которые выяснили бы наличие или отсутствие упорядоченных сигналов в космосе и позволили бы сделать тот или иной вывод относительно существования внеземных цивилизаций.

В. И. Сифоров. Я поддерживаю А. А. Пистолькорса в том отношении, что исследования по установлению связи с внеземными цивилизациями надо начинать и их необходимо всячески поддерживать. Что касается вопросов, связанных с шириной спектра, то я тоже считаю, что передавать большое количество информации не требуется. Надо искать источники по частоте, по направлению и по структуре спектра. Какая система поиска является наиболее оптимальной? Подробней об этом я буду говорить в докладе. Большое значение должно иметь изучение статистической структуры сигналов. Но главное, вероятно, все же поиск позывных.

Н. С. Кардашев. Я хотел бы заметить, что наблюдения говорят, по-видимому, против существования в ближайших окрестностях Солнца развитых цивилизаций. При дальнейшем обсуждении необходимо учитывать это обстоятельство.

В. А. Амбарцумян. Из доклада, который мы заслушали, как будто следует, что средством связи с ВЦ должны служить непрерывные, изотропные и немонахроматические сигналы. Между тем, кажется очевидным, что для достижения большой дальности связи на фоне помех целесообразно применение возможно более узкополосных и направленных сигналов. Кроме того, монохроматичность сигналов, вместе с медленными изменениями их частоты, будет прямым свидетельством искусственности.

И. С. Шкловский. Задачу можно представить так: можно ли узким пучком вести поиск нескольких миллионов корреспондентов? Современная радиофизика не в состоянии решить такую задачу за разумный срок. Поэтому переходим к цивилизациям III типа, обладающим энергоресурсами своей галактики и имеющим, таким образом, возможность излучать изотропно с тем, чтобы одновременно посылать сигналы всем своим возможным корреспондентам. В таком случае мы можем с большой вероятностью рассчитывать обнаружить сигналы внеземных цивилизаций.

Что касается установления двухсторонней связи, то конечно, хорошо было бы установить таковую. Однако это практически невозможно из-за огромных расстояний.

Я. Б. Зельдович. Наша задача стала легче, потому что И. С. Шкловский переложил все трудности установления связи на другие, более развитые цивилизации, предположив, что они располагают мощностями порядка 10^{33} эрг/сек.

В. А. Разин. Мне представляется чрезвычайно мало вероятным существование цивилизаций, овладевших целыми галактиками и располагающих мощностями порядка 10^{44} эрг/сек.

Если разумные существа заселяют галактики за время $\sim 10^6$ — 10^7 лет, то надо ожидать, что большая часть галактик уже заселена. Каждому ясно, однако, что это не так. Расселение разумных существ в галактиках, если оно вообще возможно, должно быть крайне медленным процессом. За время существования видимой части Вселенной ($\sim 10^{10}$ лет) любая цивилизация смогла бы освоить, по-видимому, лишь ничтожную часть от 10^9 — 10^{11} планетных систем, имеющих в галактиках.

Более вероятно существование цивилизаций, использующих мощности $\sim 10^{24}$ эрг/сек (на Землю от Солнца поступает $\sim 2 \cdot 10^{24}$ эрг/сек, а человечество потребляет в настоящее время всего лишь около $3 \cdot 10^{19}$ эрг/сек). Такие цивилизации не имеют возможности посылать достаточно интенсивные сигналы с эффективной шириной спектра $\sim 10^{11}$ гц. В то же время они могут располагать техническими средствами для посылки весьма узкополосных сигналов на большие расстояния. Поэтому, если речь идет об обнаружении сигналов от внеземных цивилизаций, то следует искать в первую очередь квазимонохроматические сигналы.

Д. Я. Мартынов. Как бы высоко ни была развита цивилизация III типа, выделять столь огромные количества энергии лишь для того, чтобы заявить о своем существовании, неразумно, недостойно для развитой цивилизации. Если даже это всего лишь побочный продукт ее энергодеятельности, то нужно ли всю диссипирующую энергию переводить в радиоизлучение? Почему и зачем?

Для усиления вероятности установления связи необходимо знать, в каком направлении следует искать сигналы, а для этого передающая цивилизация должна заявлять о своем существовании, но отнюдь не шумовым сигналом и не непрерывно, потому что это не экономично (здесь я присоединяюсь к мнению В. А. Амбарцумяна), но позывные сигналы обязательно должны быть неизотропны, пока собеседник неизвестен.

Л. М. Гиндилис. Вероятность обнаружения сигналов от внеземных цивилизаций обычно оценивается очень скромно. Если ставить вопрос о связи с цивилизациями нашего или несколько более высокого уровня, то здесь возникают очень серьезные трудности, связанные с тем, что для обеспечения разумной дальности связи такая цивилизация должна излучать узконаправленные пучки и в очень узкой полосе частот. Между тем, такое ограничение совершенно необязательно. Коль скоро мы допускаем, что наша цивилизация не является единственной во Вселенной, то отсюда с неизбежностью следует, что должны существовать цивилизации как нашего или менее развитого уровня, так и более развитые, чем наша. Последние, как это было сказано в докладе И. С. Шкловского, могут располагать гигантскими энергетическими мощностями вплоть до 10^{33} эрг/сек. Учет этого обстоятельства коренным образом меняет ситуацию.

Преобразуя эту энергию полностью или частично в изотропное радиоизлучение, такая цивилизация сможет обслуживать одновременно всех абонентов, расположенных в сфере действия ее передатчика. При мощностях $\sim 10^{33}$ эрг/сек сфера действия достаточно велика для того, чтобы эта цивилизация могла позволить себе роскошь вести передачу в широкой полосе частот, при которой возможна передача огромного количества информации. Если где-нибудь в нашей Галактике или

даже в других галактиках Местной группы существует хотя бы одна цивилизация такого типа, то мы уже сейчас, при современном уровне техники, способны обнаружить посылаемые ею сигналы.

Задача установления связи с внеземными цивилизациями или, говоря в терминах радиоастрономии, поиск искусственных источников космического радиоизлучения сталкивается с неопределенностью двоякого рода: неопределенность частоты и неопределенность направления. Весьма важно, что существует объективный критерий, связанный со спектральным распределением шума, позволяющий хотя бы грубо зафиксировать область спектра (область сантиметровых и дециметровых радиоволн). При широкой полосе передатчика отпадает и необходимость в точной центрировке полосы приема.

Далее, для обнаружения источников необязательно использовать антенны с эффективной площадью 10^4 — 10^5 м², которые необходимы для приема информации; для обнаружения можно использовать более скромные, существующие в настоящее время антенны с эффективной площадью порядка 10^3 м².

Разумеется, нецелесообразно детально исследовать все известные или вновь открываемые источники радиоизлучения. Прежде всего необходимо отобрать объекты исследования по какому-либо признаку. По-видимому, наиболее удобно осуществить отбор по признаку угловых размеров. Можно, например, поставить задачу обнаружения всех источников с угловыми размерами $< 0''.1$, отбросив, как заведомо естественные, все источники с размерами $> 0''.1$. С этой целью следовало бы провести полный обзор неба с интерферометром с разрешающей способностью $0''.1$ и чувствительностью до 10^{-27} Вт/м²герц.

Отобранные источники необходимо тщательно исследовать согласно ожидаемым критериям, которым должен удовлетворять искусственный источник космического радиоизлучения. Несколько таких критериев (предельно малые угловые размеры $< 0''.001$, характерное спектральное распределение мощности, круговая поляризация, переменность во времени, особенности излучения вблизи λ 21 см) были указаны Н. С. Кардашевым. Это очень важное обстоятельство, которое по-

зволяет поставить поиски искусственных источников на прочные научные основы. Конечно, эти критерии не являются совершенно обязательными, однозначными критериями искусственного источника. Я бы сказал, что они являются скорее достаточными, чем необходимыми критериями, т. е. если окажется, что какой-либо источник удовлетворяет всем критериям Н. С. Кардашева, то с большой степенью вероятности можно утверждать, что этот источник является искусственным, однако возможны и такие искусственные источники, которые не удовлетворяют какому-нибудь из этих критериев или нескольким из них (за исключением, по-видимому, угловых размеров).

В связи с такой неопределенностью возникает настоятельная необходимость разработать какие-то общие и совершенно однозначные критерии искусственных источников, основанные, например, на анализе статистических свойств сигнала или на общих теоремах теории информации.

В заключение я хочу остановиться еще на одном вопросе. Сколько искусственных источников можно ожидать в нашей Галактике? Предположим совершенно условно, что в Галактике существует 1000 цивилизаций второго типа. Вряд ли необходимо, чтобы каждая из них вела передачи на всю Галактику, дублируя работу других станций. Возможно, что передачу информации ведет лишь одна цивилизация, а остальные только подают позывные. А может быть каждая сверхцивилизация ведет передачу для ограниченного района Галактики, и лишь одна из них, самая мощная—для других галактик... Мы не можем априори исключить такую возможность, а это показывает, что к оценке ожидаемого числа искусственных источников следует подходить с большой осторожностью.

В. А. Амбарцумян. Я также думаю, что ВЦ прежде всего должны пытаться давать знать о себе, т. е. давать позывные, и лишь затем передавать информацию. Вполне возможно допустить, что позывные могут передаваться сигналами одного вида, а подробная информация с помощью сигнала другого вида. Позывные сигналы могут заключать в себе небольшой объем «наводящей» информации, указывающей на характер сигналов, дающих основную информацию.

Г. С. Саакян. При решении проблемы установления связи с внеземными цивилизациями следует иметь в виду возможное отличие нашего собственного времени от собственного времени предполагаемого абонента. Действительно, ведь не исключена возможность того, что часть наших абонентов может находиться в особых физических условиях, а именно, в сильном гравитационном поле, в быстром вращении или же в ненормально быстром поступательном движении.

Э. Г. Мирзабекян. Проблема установления связи с внеземными цивилизациями безусловно научная проблема. Думать над ней нужно, но исходя из уровня развития нашей цивилизации, наших фактических возможностей, заниматься этой проблемой, по-видимому, пока еще рано, неразумно. При этом нужно учитывать еще и то обстоятельство, что наша техническая цивилизация занимает очень небольшое, незначительное место в космической шкале времени. Очевидно, таково же положение и с другими цивилизациями. Иначе говоря, очень маловероятно одновременное существование нескольких высокоразвитых, технических цивилизаций, а следовательно, маловероятно и установление связи между ними.

Г. А. Гурзадян. Мне кажется, что наблюдения над космическими радиоисточниками именно в непрерывном спектре, как это предлагают здесь, могут только затруднить наши попытки обнаружить внеземную цивилизацию. Дело в том, что непрерывный спектр характерен для всех небесных тел, испускающих радиоволны. В отдельных случаях они могут излучать также монохроматические волны на вполне определенных частотах. Поэтому будет более логичным, если наши поиски внеземных цивилизаций будут проведены не в непрерывном спектре, а на каких-нибудь дискретных частотах, которые не совпадают с частотами известных радиолиний. Если при этом мы обнаружили сигнал на длине волны, скажем, 34 см и ничего не обнаружили на волнах длиннее и короче 34 см, то наверняка можно сказать, что принятый сигнал — искусственный, поскольку в природе нет ни одного тела, испускающего в результате известных нам физических процессов или явлений монохроматическое радиоизлучение в этой линии. Очевидно, рассуждая таким же образом, вполне

монохроматические радиосигналы будут посылать нам и наши внеземные корреспонденты. Весь вопрос заключается в том, чтобы найти частоту, на которой осуществляется передача сигналов. Для этого, по-видимому, необходимо организовать наблюдения таким образом, чтобы можно было в наиболее вероятном диапазоне радиоизлучения сканировать по всем частотам. Тогда отсутствие радиоизлучения во всем этом диапазоне и его появление на отдельных частотах будет указанием на искусственность этих сигналов.

Д. Я. Мартынов. К критерию монохроматичности нужно подходить с большой осторожностью. Известны случаи, когда вспышки у звезд наблюдаются в очень узкой полосе частот. Конечно, нельзя из этого одного заключать, что эти сигналы являются искусственными.

Я. Б. Зельдович. При ядерных взрывах на больших высотах возникает мощное электромагнитное излучение, которое может быть мощнее, чем излучение наземных радиостанций и в принципе может быть зарегистрировано на межзвездных расстояниях. Так что следует обратить внимание и на другие возможности посылки сигналов.

Что касается замечания Г. С. Саакяна о собственных временах на других планетных системах, то, правда, из-за сильных гравитационных полей время там может быть отличным от нашего. Но тогда из-за той же большой гравитации там, по-видимому, не может быть и жизни.

Ю. Н. Парийский. Мы пытались обнаружить круговую поляризацию источников *СТА-21*, *СТА-102*. Предварительно можно сказать, что она составляет не более 50%. Я думаю, что через два месяца у нас будут точные данные.

П. М. Геруни. Земная цивилизация является очень молодой. Во всяком случае, её технические возможности только на данном этапе развития позволяют ставить задачу об установлении связи с иными цивилизациями. Кроме технической стороны дела вопрос об установлении связи с внеземными цивилизациями имеет ряд других, не менее важных сторон. Это вопросы опознавания, лингвистики, обмена информацией и др. Остановимся вкратце на вопросе о целесообразности работы на передачу. Не исключена возможность, что цивилизация,

обнаружившая нашу передачу, может иметь агрессивные тенденции. В этом смысле будем подразделять цивилизации на «здоровые» и «нездоровые».

Поскольку наша цивилизация очень молода, то гораздо вероятнее, что цивилизация или цивилизации, с которыми мы войдем в контакт, будут находиться на более высоком этапе развития. Надо думать, что цивилизации, дошедшие до высоких уровней развития, будут здоровыми. Во всяком случае здоровый период должен быть наиболее длительным во времени жизни цивилизации, исключая, может быть, лишь периоды становления и гибели. Надо также думать, что здоровая цивилизация должна стремиться к установлению двусторонних контактов с другими цивилизациями для обогащения своих знаний и передачи их другим (что также исключает возможную в противном случае агрессивность).

Все это означает, что при проектировании методики и средств связи с внеземными цивилизациями нам следует иметь в виду как прием, так и передачу. Более того, работа на излучение должна считаться долгом каждой более или менее развитой цивилизации.

Другим моментом, который надо учесть при проектировании, является вопрос о времени жизни поколения иноземной цивилизации. Разброс здесь может оказаться весьма существенным.

Ведь даже на Земле, в сравнительно одинаковых условиях существует органическая жизнь с периодом поколения от нескольких минут до сотен лет. Вопрос этот важен для правильного выбора частот модуляции. Период модуляции и периоды повторения сигналов должны быть, по-видимому, много меньше времени жизни поколения. В противном случае наши сигналы могут оказаться незамеченными, малоинформативными или даже могут быть отнесены к категории сигналов с недостаточностью критериев искусственности. Конечно, цивилизации оснащены техническими средствами, позволяющими регистрировать сигналы с периодичностью в очень широком диапазоне; это, однако, не снимает всей важности учета отмеченного обстоятельства (особенно для позывных сигналов).

Работа на передачу должна состоять из регулярных

посылок позывных сигналов и текста, содержащего небольшую информацию. Для обеспечения энергетически высокой спектральной плотности мы будем вынуждены работать в сравнительно узкой полосе, что само по себе ограничит информативность канала.

Впрочем, сейчас, по-видимому, нет необходимости в посылке большого количества информации. Помимо текста, некоторую небольшую информацию могут нести и сами позывные сигналы. Организацию последних следует считать наиболее важным моментом в работе на передачу. Они должны обладать большой мощностью, передаваться в различных направлениях со строгой периодичностью, на разных частотах при широкой и узкой полосах.

Работа на прием должна производиться более широким фронтом. Прием должен происходить на различных частотах направленными антеннами и в наиболее вероятных направлениях.

Наиболее удобными рабочими частотами следует считать диапазоны сантиметровых и дециметровых волн. Этот диапазон рационален и с точки зрения поглощения в межзвездной среде.

Основным требованием к антенным системам для приема является высокая чувствительность, то есть большая эффективная площадь. Известно, что двухзеркальные системы с неподвижным главным сферическим зеркалом высокоэффективны и имеют минимальную стоимость на единицу поверхности раскрыва. Следующим требованием является необходимость автосопровождения объекта. В антеннах указанной системы, например, в БДА, успешно решается и эта задача. Для обеспечения высокой чувствительности антенная система должна также обладать малыми собственными шумами. В БДА они не должны превышать 10—15°K.

Н. С. Кардашев. В ходе дискуссии мнения разделились. Одни предлагают в качестве первого этапа поиска изучить вопрос о существовании «суперцивилизаций», способных излучать непрерывно, изотропно и в широкой полосе частот. Другие из осторожности полагают, что мы должны рассматривать цивилизации, технологический уровень которых весьма близок к достигнутому на Земле. Поэтому их излучение долж-

но быть направленным, узкополосным, и для каждого направления передатчик работает весьма короткое время.

Мне хотелось бы еще раз подчеркнуть, что вследствие различия возрастов звезд, исчисляемого миллиардами лет, мы скорее всего должны были бы столкнуться с «суперцивилизациями». Отсутствие «суперцивилизаций» означало бы либо крайне малую вероятность появления разумной жизни, либо какое-то принципиальное ограничение развития, что в свою очередь существенно уменьшает шансы на успех в поиске цивилизаций нашего уровня.

По-видимому, целесообразно начать исследования по обоим направлениям одновременно. Однако поиск излучения «суперцивилизаций» является технически более простой задачей. В качестве первого этапа для этого необходимо провести полный радиоастрономический обзор неба в сантиметровом диапазоне на интерферометре с лепестком $\sim 0''.1$ вплоть до потоков $\sim 10^{-27}$ вт/м²герц. Такая программа может быть выполнена в течение ближайших нескольких лет. Одновременно целесообразно разрабатывать и более сложную аппаратуру для поиска монохроматического излучения от объектов в сфере радиусом, скажем, до 1000 световых лет.

О ПРОБЛЕМЕ СВЯЗИ С ВНЕЗЕМНЫМИ ЦИВИЛИЗАЦИЯМИ

С. Э. ХАЙКИН

Главная астрономическая обсерватория АН СССР, Пулково

Рассмотрение проблемы радиосвязи с внеземными цивилизациями привело к выводу, что установление в той или иной форме радиосвязи с иноземными цивилизациями, находящимися на том же, как и на Земле, уровне развития, чрезвычайно маловероятно. Гораздо более вероятной является возможность связи с иноземными цивилизациями, находящимися на значительно более высоком уровне развития (конечно, если такие цивилизации существуют). Прежде всего возникает вопрос о том, какими техническими средствами располагает эта высокоразвитая цивилизация. В сущности, единственный достоверный ответ на этот вопрос состоит в том, что эти средства не могут выходить за пределы того, что возможно с точки зрения законов природы. Казалось бы, что это тривиальное утверждение не может принести пользы при обсуждении рассматриваемой нами проблемы. Однако одним из важных вопросов, возникающих при обсуждении этой проблемы, является вопрос о том, как отличить искусственные сигналы возможных корреспондентов от естественного радиоизлучения. Но пока мы не изучили природы и свойств всех тех естественных источников, радиоизлучение которых по мощности сравнимо с ожидаемой мощностью искусственных сигналов, мы и об этом радиоизлучении не можем утверждать ничего большего, чем то, что его существование не противоречит законам природы. Поэтому единственным бесспорным доказательством искусственного характера принимаемого радиоизлучения может служить только наличие в нем какой-либо информации, выходящей за рамки той информации, которую содер-

жит в себе радиоизлучение естественных источников, именно информации о мощности радиоизлучения источника, его спектральном составе, характере поляризации, размерах источника и распределении яркости в нем. Эту информацию мы дальше для краткости будем называть «естественной информацией». Но «естественная информация», которую содержит в себе всякое радиоизлучение как естественных, так и искусственных источников, в лучшем случае может дать основания только подозревать искусственное происхождение источника, но не может дать бесспорных доказательств этого. И эти основания будут тем более вескими, чем больше число источников радиоизлучения, о которых мы располагаем «естественной информацией» (независимо от того, являются ли они естественными или искусственными), и чем более полна и детально эта информация. Но задача получения такой обширной «естественной информации» — это основная задача радиоастрономии. Отсюда ясно, что планомерные поиски радиосигналов от внеземных цивилизаций (а не попытки, рассчитанные на случайную удачу) представляют собой задачу, полностью совпадающую с основной задачей радиоастрономии вплоть до того момента, когда будут накоплены достаточно веские «улики» искусственного происхождения того или другого источника. С этого момента станут целесообразными попытки обнаружить в принимаемом радиоизлучении информацию, выходящую за рамки «естественной информации». Только эта последняя задача явится специфической для связи с внеземными цивилизациями, и для ее решения потребуются специальные технические средства, помимо тех, которые необходимы для решения основных задач радиоастрономии, именно, предельно чувствительные приемники, непрерывно перекрывающие весь диапазон частот, которыми целесообразно пользоваться для космических связей, т. е. диапазон примерно от 50 см до 3 см, если прием ведется на Земле (под атмосферой). Для радиоастрономии же можно ограничиться некоторым числом предельно чувствительных широкополосных приемников, более или менее равномерно расположенных в указанном диапазоне, но не перекрывающих его.

Планируя попытки осуществления связи с внеземными

цивилизациями, находящимися на более высоком уровне развития, чем наша, о возможностях внеземной цивилизации мы можем высказать только то бесспорное положение, которое было приведено выше. Все другие многочисленные высказывания об уровне возможностей высокоразвитой цивилизации, которые приводятся в литературе, являются сомнительными, хотя и различаются по степени правдоподобия (причем, нужно помнить, что это правдоподобие оценивается нами на основе наших «земных» представлений). Но можно высказать еще одно бесспорное положение по этому вопросу. Возможность связи зависит от уровня средств, которыми располагают оба корреспондента, и определяется «произведением этих возможностей». Поэтому, чем более мощные средства мы применим для осуществления связи, тем менее мощными средствами должны располагать наши будущие корреспонденты, или, при тех же средствах, тем больше будут предельные расстояния, на которых связь возможна. Применение возможно более мощных средств на Земле, таким образом, значительно увеличивает вероятность осуществления космических связей и должно быть положено в основу плана решения всей проблемы. (Конкретные возможности «земной техники» будут рассмотрены ниже).

Обсуждая проблему радиосвязи с внеземными цивилизациями, находящимися на значительно более высоком уровне развития (назовем их цивилизациями *A*), мы оказываемся в затруднительном положении, потому что ничего определенного не можем сказать о технических возможностях цивилизации *A*. Последняя находится в гораздо более благоприятных условиях, так как, планируя радиосвязь с менее развитой цивилизацией (назовем ее цивилизацией *B*), цивилизация *A* может вполне определенно указать тот наинизший уровень развития цивилизации *B*, при котором эта последняя будет в состоянии принимать сигналы цивилизации *A* и заложенную в них информацию. Отмеченная выше определенность задачи, стоящей перед *A*, позволяет нам с достаточной степенью вероятности предугадать тот план, по которому будет действовать цивилизация *A*.

Для этого будем дальше рассуждать с точки зрения цивилизации *A*, исходя из того, что она, так же как и мы, при-

шла к выводу о возможности существования в нашей Галактике (к которой, по нашему предположению, принадлежит и цивилизация A) достаточно большого числа цивилизаций, находящихся на разных уровнях развития. Какой путь выберет A , чтобы в возможно более короткий срок и с наибольшей вероятностью успеха приступить к передаче своей информации цивилизации B ? Правдоподобно ли, что A начнет систематически передавать эту информацию изотропно («радиовещание на всю Галактику»), не пытаясь выяснить, существует ли в Галактике хоть одна цивилизация B , а если существует, то где обитает? Это простейший, но наименее надежный путь, по которому A могла бы пойти только в том случае, если бы отсутствовала возможность предварительно выяснить сформулированный выше вопрос о цивилизации B . Но все дело в том, что A знает уровень развития цивилизации B (все цивилизации ниже уровня B не интересуют A , так как для них передавать информацию бесполезно—они не способны ее принять). Зная этот уровень, A придет к выводу, что у цивилизации B есть возможность дать знать о своем существовании и о том, что она готова к приему информации от цивилизации, находящейся на более высоком уровне.

Для конкретности будем считать, что выбранный A уровень развития цивилизации B близок к уровню развития земной цивилизации. (Если он много выше, то это значит, что земная цивилизация не в состоянии принять участие в обсуждаемом плане). Тогда B в состоянии посылать монохроматическое излучение, с шириной линии порядка нескольких герц или десятков герц, на номинальной частоте нейтрального водорода или еще лучше—на одной из частот ее гармоник (по видимому не выше 5-й), мощностью в тысячи киловатт, в конусе с телесным углом порядка десятков квадратных секунд. Направление оси этого конуса должно изменяться по определенной программе так, чтобы за сравнительно небольшой срок (порядка нескольких лет) был охвачен весь телесный угол, в котором заключено большинство звезд Галактики. Будучи уверена, что B такую передачу «сигнала готовности» осуществит, A создаст установки для обнаружения этого «сигнала готовности». Для этого A потребуется, помимо обычных

средств, которыми располагает даже B , создать радиотелескопы большой площади, но вместе с тем достаточно широкоугольные (что эта задача принципиально осуществима, видно хотя бы из того, что оптические системы с такими свойствами широко применяются). Широкоугольность этих радиотелескопов обеспечит быстрое обнаружение «сигналов готовности» и возможность определения угловых координат звезды, вблизи которой обитает цивилизация B , и оценки расстояний до нее. Все это может быть сделано путем применения очень медленных и однозначно расшифровываемых манипуляций с монохроматическим излучением, выполняемых B . После этого A может немедленно приступить к передаче узким пучком, направленным на B , предназначенной для B информации, снабдив посылаемое радиоизлучение пилот-сигналом на частоте, совпадающей с той, на которой передает свой «сигнал готовности» B (для предупреждения о том, что в передаваемом излучении содержится «искусственная информация»).

Конечно, такая система установления связи отдаляет начало поступления информации от A к B на число лет, равное расстоянию от A до B в световых годах. Но значит ли это, что отказ от этой системы вступления в связь может сократить сроки начала поступления информации? Вопрос, который мы должны решить, состоит в том, приблизит ли посылка «сигнала готовности» тот момент времени, когда мы можем ожидать начала поступления информации от A ? Ответ на этот вопрос зависит от того, как будет поступать A . Если она вообще не откажется от попыток передавать информацию цивилизациям B , которые не прислали «сигнала готовности», у нее остаются две возможности осуществить эти попытки: первая возможность—создать изотропные излучатели и соответственно увеличить мощность излучения (чтобы не уменьшилась плотность потока энергии, что вызвало бы повышение требований к уровню развития цивилизации B). При этом потребовалось бы увеличение мощности примерно в 10^6 — 10^7 раз (отношение телесного угла, охватывающего большинство звезд Галактики, к телесному углу узкого пучка, в котором можно сосредоточить всю энергию, когда положение B заранее известно). Но повышение энергетических ресурсов цивилизации A в 10^6 — 10^7

раз потребует (по очень оптимистическим оценкам, приводимым некоторыми авторами) по меньшей мере тысячелетия, и на этот срок отодвинется начало поступления информации от цивилизации *A* к цивилизации *B*.

Вторая возможность для *A*: начать передачу информации для цивилизации *B* узким пучком волн и «обметать» этим пучком тот конус, в пределах которого заключено большинство звезд Галактики. Так как телесный угол этого конуса примерно в 10^6 раз больше, чем телесный угол раствора пучка, то почти во столько же раз увеличится вероятный промежуток времени от момента начала передачи информации цивилизацией *A* цивилизации *B* до момента, когда *B* примет первый раз эту информацию. Таким образом, если расстояние между цивилизациями *A* и *B* меньше тысячи световых лет, то передача «сигнала готовности» не только не увеличит, но, наоборот, сократит тот срок, через который можно рассчитывать на получение информации от цивилизации *A*.

Этот план совместных усилий двух цивилизаций *A* и *B* по установлению радиосвязи между ними не может быть «согласован» с цивилизацией *A*, но если признать, что он является наиболее разумным планом объединения усилий, то, принимая на себя роль цивилизации *B*, мы должны выполнить все стоящие перед ней задачи. В противном случае увеличивается опасность того, что израсходованные на частичное выполнение задач силы и средства будут потрачены зря. Конечно, эта опасность будет существовать и в том случае, когда мы будем выполнять все задачи, приходящиеся на долю цивилизации *B*, но она особенно усилится, если мы откажемся от плана передачи «сигнала готовности». Чтобы стал ясен характер этой опасности, нужно учесть, что в Галактике может существовать ряд цивилизаций, находящихся на уровне цивилизации *B*. Если намеченный выше план является действительно наиболее разумным, то следует ожидать, что другие цивилизации *B* будут его выполнять, а значит, будут посылать «сигналы готовности». Но тогда цивилизация *A* будет считать существующими только те цивилизации *B*, от которых будут приходить «сигналы готовности». Естественно, что та из цивилизаций *B*, которая не будет передавать «сигналов готовности», бу-

дет находиться в худшем положении по сравнению с другими цивилизациями *B*. Если бы возможностью посылать «сигналы готовности» цивилизации *B* не обладали, то цивилизации *A* не оставалось бы ничего другого, как посылать свою информацию «на всю Галактику» (при помощи либо изотропного излучателя, либо узкого луча, «сканирующего» Галактику), и все цивилизации *B* находились бы в одинаковом положении. Но если существует возможность посылки «сигналов готовности» цивилизациями *B*, и одна из них почему-либо этой возможности не реализует, то она оказывается в худшем положении, чем другие. Возникает любопытная ситуация: в «сообществе цивилизаций Вселенной» каждая из цивилизаций должна в соответствии с уровнем своего развития затрачивать определенные усилия на укрепление «сообщества». Не выполняя выпавших на ее долю задач, она может оказаться вне «сообщества».

Эту ситуацию нужно учитывать при переходе к большим расстояниям между цивилизациями—несколько тысяч световых лет. На такие расстояния цивилизация *B* еще в состоянии посылать «сигналы готовности». Однако, как видно из сказанного выше, в этом случае передача «сигналов готовности» не может ускорить получения информации от цивилизации *A*, но непередávющая «сигналов готовности» цивилизация *B* может оказаться в худшем положении, чем другие цивилизации *B*, передающие сигналы. Впрочем, случай большого расстояния между цивилизациями, порядка тысяч световых лет, требует более детального рассмотрения. Дело в том, что при больших расстояниях между цивилизациями, за время распространения до цивилизации *A* «сигнала готовности», отправленного цивилизацией *B*, последняя может перейти из класса *B* в класс *A*, т. е. развиться настолько, чтобы помимо приема информации от более развитой цивилизации, оказаться в состоянии передавать информацию менее развитой цивилизации.

Но пока расстояние между цивилизациями не превышает сотен световых лет, в изменении уровня развития цивилизации вряд ли могут произойти кардинальные сдвиги. Во всяком случае, выше эта возможность не учитывалась.

Пока речь идет о не очень больших расстояниях между цивилизациями (сто-двести световых лет), изложенные выше соображения позволяют достаточно определенно сформулировать стоящие перед нами, как цивилизацией В, задачи и охарактеризовать те технические средства, которые необходимо создать, чтобы подготовиться к решению этих задач.

Как вытекает из всего изложенного выше, планомерная работа по проблеме установления радиосвязи с внеземными цивилизациями должна быть организована как длительная систематическая работа многих поколений. Конечно, не исключена возможность того, что первый успех будет достигнут быстро, но это нужно рассматривать как очень маловероятную случайность, на которую нельзя рассчитывать при организации планомерной работы. Попытки быстро достичь успеха с помощью очень скромных средств, например такие, как проект «ОЗМА», хотя и нельзя считать бессмысленными, но с другой стороны их никак нельзя рассматривать как начало планомерной работы над проблемой. Эти попытки можно признать целесообразными только при том условии, что они не отвлекают средств и сил, которые необходимы для планомерной работы над проблемой. Такие попытки могут осуществляться с помощью тех технических средств (в первую очередь тех радиотелескопов), которые существуют или строятся в настоящее время, но планомерная работа требует применения не наличных средств, а всех средств, технически осуществимых в настоящее время.

Как было показано выше, первый и решающий этап работы—обнаружение и исследование возможно большого числа слабых дискретных источников радиоизлучения—совпадает с основной задачей радиоастрономии. Для решения этой задачи необходимо создать радиотелескоп возможно большей площади и разрешающей силы и оснастить его приемной аппаратурой возможно более высокой чувствительности. При этом как радиотелескоп, так и аппаратура должны обеспечить возможность работы во всем диапазоне волн, которые целесообразно применять для космических связей, т. е. примерно от 3 до 50 см. Эффективная площадь радиотелескопа должна быть не менее 100000 м², а разрешающая способность не хуже 1"—2" (на

волне 3 см). Так как для поисков искусственных источников радиоизлучения наиболее перспективной является центральная область Галактики (в которой сосредоточено большинство звезд), то для упрощения задачи создания указанного радиотелескопа можно ограничить область его обзора по высоте примерно от 0° до 30° над горизонтом (предполагается, что радиотелескоп будет установлен на широте около 45°) и по азимуту до $\pm 30^\circ$ от меридиана. Вместе с тем для первого этапа работы, пока речь идет не о приеме обширной информации, а только об обнаружении искусственных источников, можно отказаться от автоматического сопровождения источников, ограничившись только достаточно быстрой (в течение 10—20 минут) переустановкой радиотелескопа в указанных выше пределах углов обзора. Это позволит значительно упростить конструкцию радиотелескопа и особенно всех его механизмов, так что стоимость всех механизмов и приборов управления ими составит небольшую долю стоимости всего радиотелескопа. Таким образом, стоимость радиотелескопа будет определяться стоимостью сооружения большой и точной собирающей поверхности радиотелескопа. Обеспечить указанный выше широкий диапазон волн может только зеркальный радиотелескоп, а указанная выше разрешающая способность может быть достигнута только при отражающей поверхности, горизонтальный размер которой во много раз больше вертикального. В настоящее время известны только две такие системы зеркальных радиотелескопов: радиотелескоп с антенной переменного профиля (АПП) и радиотелескоп модифицированной системы Краусса, строящийся в Нанси. Однако АПП имеет только одну отражающую поверхность, состоящую из отдельных подвижных элементов, а система Краусса две отражающих поверхности—одну неподвижную, а другую—состоящую из подвижных элементов (правда, с несколько более простыми перемещениями, чем у элементов АПП). Поскольку при ограниченных перемещениях элементов стоимость радиотелескопа определяется в основном стоимостью сооружения его точной отражающей поверхности, то при одних и тех же размерах отражающей поверхности и разрешающей способности АПП должна стоить примерно вдвое меньше, чем модифицирован-

ная система Краусса. Таким образом, можно утверждать, что наиболее целесообразной для рассматриваемого случая является система АПП. Предварительные расчеты показали, что радиотелескоп системы АПП, удовлетворяющий указанным выше требованиям, вполне осуществим, так как никаких нерешенных технических проблем при этом не возникнет, и к разработке проекта такого радиотелескопа можно приступить немедленно.

Радиотелескоп системы АПП полностью решает вопрос об антенне для передачи «сигналов готовности», так как его антенна непосредственно может быть применена для излучения больших мощностей на любой волне диапазона, в котором она работает.

Таким образом, радиотелескоп системы АПП полностью решает задачи, представляющие собой первый этап работы. Правда, вполне возможно, что уже на первом этапе работы обнаружится необходимость оценивать размеры источников радионизлучения меньше, чем $0.1''$ (АПП с разрешающей способностью в $1''$ — $2''$ позволит оценивать размеры источников, если они больше $0.1''$). Для этого потребуются радиоинтерферометры с очень большими базами, однако с площадью немного меньшей, чем указанная выше площадь АПП (так как существование мощных искусственных источников очень мало вероятно). Поэтому наиболее целесообразным будет применение радиоинтерферометра, одной из антенн которого будет служить АПП, а другой, в случае достаточно большой мощности подлежащего исследованию источника, антенна с площадью заметно меньшей, чем АПП.

Нужно, однако, учитывать, что вопрос о том, до каких пределов в определении угловых размеров источников можно пойти при существующих на Земле условиях наблюдений (в частности при наличии атмосферной турбулентности), вообще еще не ясен. Поэтому целесообразно для выяснения этого вопроса, а также для определения размеров «подозрительных» источников (если окажется, что их мощность не очень мала), создать с помощью существующих радиотелескопов радиоинтерферометры с большими базами—порядка 10^6 — 10^7 длин волн. Такая работа должна быть включена в план работ по обсуждаемой проблеме.

В плане работ по проблеме должно быть предусмотрено создание серии широкополосных приемников с возможно более низким уровнем собственных шумов, а также всех элементов высокочастотного тракта, удовлетворяющих тем же требованиям. (Вопросу о методах анализа сигналов на выходе широкополосного приемника и потребной для этого аппаратуре должно быть посвящено специальное заседание, и поэтому в настоящем докладе они не затрагиваются). Наконец, должны быть разработаны мощные передатчики «сигналов готовности», удовлетворяющие очень жестким требованиям в отношении стабильности частоты. Задача эта сложная и в настоящее время ее еще нельзя считать решенной. Но решение ее, по-видимому, облегчается тем, что эти передатчики совершенно не должны модулироваться (манипуляции, о которых упоминалось выше, должны производиться с диаграммой антенны и не будут вызывать изменений режима работы передатчиков).

К разработке всей перечисленной аппаратуры должны быть привлечены наиболее квалифицированные институты академий наук и государственных комитетов по радиоэлектронике и электронной технике.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Своеобразие обсуждаемой проблемы состоит в том, что она обращена в далекое будущее. Если не проявлять необоснованного оптимизма (который был бы только вреден), то нужно быть готовыми к тому, что результат этой работы станет известным только нашим потомкам и, может быть, даже далеким потомкам. Однако результат этот не может быть отрицательным. Даже если в течение многих веков не удастся установить связи с внесезонными цивилизациями, то это будет только указывать на то, что в определенной, окружающей нас области Вселенной нет цивилизаций, по своему уровню значительно превышающих уровень земной цивилизации. (Возможно даже, что этому найдется объяснение в законах развития Вселенной). Но к тому времени, как будет установлен этот факт, в общем «лестный» для нашей цивилизации,

последняя настолько продвинется вперед, что окажется в состоянии передавать информацию менее развитой цивилизации.

Дальнейшая деятельность земной цивилизации в этом направлении не прекратится, так как земная цивилизация сможет взять на себя роль цивилизации А. Вообще, трудно себе представить, как могла бы прекратиться эта деятельность, пока существуют развитые цивилизации.

Конечно, помимо обсуждаемой проблемы, перед человечеством по мере его развития будут появляться и другие проблемы с той же спецификой, а именно: никаких сроков не только разрешения проблемы, но даже достижения первого успеха не может быть названо, но отсутствие успеха не может служить основанием для прекращения усилий. (Подчеркнем, что здесь речь идет не о развитии науки вообще, где подобные ситуации встречаются, а о вполне определенной конкретной проблеме). Совершенно несомненно, что по мере появления все новых и новых проблем такого рода, человечество привыкнет к этой их специфике. Но нельзя не считаться с тем, что пока нам такое положение ново и непривычно, в нем заключается серьезная психологическая трудность, которая особенно остро будет чувствоваться на первых этапах этой работы. Для преодоления, или во всяком случае смягчения, этой трудности, очень благоприятным является отмеченное выше почти полное совпадение первого этапа разработки проблемы связи с внеземными цивилизациями с проблемами собственно радиоастрономии. Это совпадение позволяет организовать работу над первым этапом проблемы связи с внеземными цивилизациями так, чтобы работа эта приносила реальные результаты, оправдывающие затраченные усилия и поддерживающие постоянный интерес к работе у большого коллектива людей, которые к ней должны быть привлечены, а не только у отдельных энтузиастов. От того, насколько полно будет использована указанная благоприятная возможность, по моему глубокому убеждению, зависит успех первого, а значит, и дальнейших этапов работы над обсуждаемой проблемой.

Я благодарен Ю. Н. Парийскому, участвовавшему в обсуждении основных положений настоящего доклада и высказавшему ряд соображений, которыми я воспользовался.

КОЛЬЦЕВОЙ РАДИОТЕЛЕСКОП ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ СВЯЗИ С ВНЕЗЕМНЫМИ ЦИВИЛИЗАЦИЯМИ

Г. М. ТОВМАСЯН

Бюраканская астрофизическая обсерватория АН Армянской ССР

По-видимому, можно считать очевидным, что на нашей ступени развития при попытке установления связи с внеземными цивилизациями мы можем пока что рассчитывать лишь на прием радиосигналов, посылаемых более развитыми цивилизациями. При этом для выделения искусственных сигналов из общего фона естественных источников космического радиоизлучения необходимы большие разрешающие способности применяемых для этой цели радиотелескопов. Получение же узкой диаграммы направленности радиотелескопов сопряжено, как известно, с увеличением их размеров, что приводит к большим конструктивным трудностям и, что особенно важно, к непомерному увеличению их стоимости.

Поиски внеземных цивилизаций, очевидно, должны будут вестись по отдельной программе, что дополнительно загрузит радиотелескоп на достаточно большое время. С этой точки зрения целесообразно использовать кольцевой радиотелескоп (см. Сообщения Бюраканской обсерватории, вып. 36), на котором одновременно и независимо могут вестись наблюдения в нескольких различных направлениях.

В кольцевом радиотелескопе значительно упрощена конструкция антенны, что приводит к заметному снижению его стоимости. При этом кольцевой радиотелескоп, имеющий ножевую диаграмму направленности, обеспечивает высокую разрешающую способность по обеим координатам.

Кольцевой радиотелескоп является двухзеркальной антен-

ной системой, в которой главным зеркалом является неподвижное сферическое кольцо большого диаметра и небольшой ширины, поверхность которой установлена под некоторым малым углом к вертикали. Обзор неба достигается передвижением второго, небольшого корректирующего зеркала по фокальной линии основного отражателя. Второе зеркало расположено невысоко и потому его передвижение по кольцевому рельсовому пути не представляет технических трудностей. (Стоимость кольцевого радиотелескопа может быть сравнена со стоимостью антенны переменного профиля с одинаковой площадью при вычете стоимости поворотных механизмов щитов последней и учете упрощения установки щитов из-за их неподвижности).

Как и в случае обычной двухзеркальной антенной системы, можно облучать часть кольца с раскрывом порядка 0.6—0.7 от диаметра кольца и, тем самым, получить достаточно узкую горизонтальную диаграмму направленности. При этом раскрыв второго зеркала в горизонтальном направлении должен быть равен 0.07—0.1 от диаметра кольца. Высота корректирующего зеркала порядка нескольких метров.

Помимо простоты и дешевизны кольцевой радиотелескоп позволяет одновременно и независимо вести наблюдения в 20 различных направлениях и решать совершенно различные задачи. Это достигается тем, что на рельсовых путях может быть установлено до 20 корректирующих зеркал.

Таким образом, несколько вторых зеркал кольцевого радиотелескопа может быть использовано для установления связи с внеземными цивилизациями, тогда как остальные малые зеркала могут работать по независимой радиоастрономической программе.

НЕКОТОРЫЕ СООБРАЖЕНИЯ О ПОИСКАХ РАЗУМНЫХ СИГНАЛОВ ИЗ ВСЕЛЕННОЙ

В. С. ТРОИЦКИЙ

Научно-исследовательский радиофизический институт, ГГУ, Горький

В в е д е н и е

Вопрос о поисках разумных сигналов из Вселенной уже неоднократно рассматривался в литературе [1, 2, 3]. Целью настоящего сообщения является оценка современных возможностей обнаружения сигналов из Вселенной, посылаемых разумными существами для установления связи и передачи информации об их существовании. Для этого, разумеется, недостаточно рассматривать только вопросы приема, так как последние определяются также характером передаваемых сигналов. Поэтому мы должны рассматривать проблему приема и передачи, т. е. связи в целом. При этом основной задачей должно быть отыскание оптимальных условий приема и передачи, к которым обе стороны несомненно будут стремиться. Ниже обсуждаются вопросы о наиболее целесообразных видах искусственных сигналов и методах их обнаружения. Рассматриваются вопросы связи с ближайшими звездными системами.

1. Ожидаемый характер искусственных сигналов

Мы предполагаем, что во Вселенной имеются цивилизации, которые достаточно развиты, чтобы осуществлять не только прием возможных искусственных сигналов, но и выделить достаточную энергию для посылки мощных сигналов. Естественно, возникает вопрос, какие сигналы скорее всего можно ожидать. Вообще говоря, на этот вопрос мы можем ответить только с точки зрения уровня знаний и техники совре-

менного земного наблюдателя. Однако, несмотря на эту условность, можно указать два требования к сигналу, которые являются весьма общими:

1. Сигнал не должен оставлять сомнения в его искусственном происхождении.

2. Сигнал должен нести некоторую информацию о пославшей его цивилизации.

При этом должно учитываться, что связь из-за огромных расстояний во Вселенной вероятнее всего или в большинстве случаев может быть только односторонней. Что касается природы самого сигнала, то в настоящее время можно серьезно говорить только об электромагнитных сигналах. Чтобы удовлетворить наиболее эффективно первому требованию, искусственный сигнал, прежде всего, должен резко отличаться по своим свойствам от естественных электромагнитных излучений. Этому наилучшим образом удовлетворяет монохроматический сигнал. Обычно такие излучения получаются на Земле искусственно с помощью автоколебательных систем, чаще всего использующих принцип обратной связи. Хотя в природе повсюду осуществляются естественные колебательные процессы синусоидального характера, однако они в силу хаотических влияний соседних систем (в частности атомов и молекул вещества) и теплового движения являются значительно менее упорядоченными, чем колебания в современных генераторах. Так, на сантиметровых волнах с использованием кварцевых и молекулярных генераторов спектральная ширина линии может достигать сотых долей герца [4]. Обычный сантиметровый клистронный или магнетронный генератор имеет естественную ширину линии, связанную с дробовым шумом, порядка одного герца [5]. Таким образом, относительная ширина линии достигает 10^{-10} — 10^{-12} . В то же время относительные ширины линий естественных излучений в оптическом диапазоне, даже при выполнении специальных условий, едва достигают 10^{-9} , а обычно порядка 10^{-6} — 10^{-7} . В радиодиапазоне даже монохроматическое излучение межзвездного водорода, находящегося в весьма разреженных условиях, занимает ширину спектра порядка $5 \cdot 10^4$ герц (относительная ширина $\sim 10^{-5}$). Таким образом, весьма узкополосный радиосигнал с отно-

сительной шириной линии порядка 10^{-10} — 10^{-11} является наиболее подходящим. Однако, поскольку для передачи какой-то информации необходима модуляция сигнала, которая приведет к расширению спектра частот, модуляция должна быть достаточно медленной, например, не более одного двоичного знака в секунду или еще меньше. Это уменьшает объем передаваемой информации, однако пока у передающей стороны нет уверенности в приеме их сигналов, по-видимому, вряд ли целесообразно стремиться к передаче максимальной информации. Это стремление будет понятно для случая весьма гипотетической цивилизации III типа [3], которая может обеспечить силу сигнала, достаточную для приема практически во всей Вселенной. Мы, однако, будем рассматривать возможности цивилизаций типа современной земной, которая, как мы увидим ниже, в настоящее время вряд ли может надеяться установить связь с цивилизациями, удаленными от нас более чем на 1000 световых лет.

Следующим признаком искусственности должен быть сам характер модуляции, ее форма. Требование медленности модуляции должно быть дополнено требованием квазипериодичности модуляции, которая может осуществляться повторением программ передачи. Форма модуляции должна быть также выбрана сильно отличающейся от природных модуляций. Наиболее подходит, по-видимому, прямоугольная модуляция.

Ввиду трудности создания мощных генераторов монохроматических колебаний могут, видимо, использоваться естественные источники электромагнитного излучения, имеющие сплошной или достаточно широкий спектр. Тогда все признаки искусственности такого сигнала должны быть сосредоточены в форме модуляции. Например, можно мыслить создание вокруг своей звезды нечто вроде сферы Дайсона с электрически управляемой прозрачностью, позволяющей осуществлять модуляцию. В этом случае проблема генерации сигнала большой мощности отпадает, мощное излучение имеется и нужно только обеспечить его разумную модуляцию, что, возможно, является значительно более трудной проблемой. Что касается существования других постоянных мощных источников шумового радионизлучения, которые могли бы конкурировать с искус-

ственными генераторами синусоидального сигнала, то таких на Земле мы пока не знаем.

Заметим, что синусоидальный сигнал может быть образован не только генераторами с обратной связью, но может быть выделен также из шума. Однако, хотя по спектру оба сигнала будут одинаковы, по статистическим свойствам, например, по закону распределения амплитуд, они совершенно отличны. Для синусоидального генератора вероятность распределения амплитуд напряжения имеет максимум при напряжении $V=V_0$, где V_0 — среднее значение амплитуды, а для шума максимум вероятности имеет место для амплитуды $V=0$ — вероятность амплитуд меняется согласно закону распределения Релея. Это, как известно, проявляется в хаотической модуляции амплитуды и на выходе детектора дает шум с полосой порядка спектральной ширины линии.

Таким образом, при создании искусственного сигнала нужно заботиться о высокой стабильности и монохроматичности колебаний при сохранении всех его отличительных статистических свойств. При этом необходимо изучить степень влияния межзвездной среды на флуктуации амплитуды и фазы монохроматического сигнала и его поляризацию.

В настоящей заметке влияние условий распространения сигнала не рассматривается. Мы не будем также рассматривать возможность использования оптических генераторов, а ограничимся радиодиапазоном.

Оказывается, что требование синусоидальности сигнала вытекает также из условия получения при заданной мощности передатчика максимальной чувствительности приема, а следовательно, и дальности связи. Рассмотрим подробнее оптимальные условия приема и передачи.

2. Общие соотношения

Напомним известные соотношения дальности, мощности и чувствительности в общем случае направленной передачи и приема. Пусть P — мощность передатчика в ваттах, D_1 — коэффициент усиления приемной антенны, D_2 — то же для передающей антенны, $P_{\text{ш}}$ — мощность собственных шумов прием-

ной антенны, приведенная ко входу, и l — расстояние между передатчиком и приемником. При условии, чтобы принимаемый сигнал превышал собственные шумы в n раз, минимальная мощность сигнала на выходе антенны должна быть $P_c = \sigma_1 S_m = P_{\text{ш}} n$.

Подставляя сюда выражение для потока сигнала $S_m = PD_2/4\pi l^2$ и эффективной площади антенны $\sigma_1 = D_1 \lambda^2/4\pi$, а также выражая расстояние l в световых годах (1 свет. год = $9,5 \cdot 10^{15}$ м), получим нужное нам соотношение

$$\frac{P}{nP_{\text{ш}}} = (4\pi)^2 10^{32} \frac{l^2}{\lambda^2 D_1 D_2}. \quad (1)$$

Или, выражая D_1 и D_2 через эффективные площади антенн:

$$\frac{P}{nP_{\text{ш}}} = 10^{32} \frac{l^2 \lambda^2}{\sigma_1 \sigma_2}, \quad (2)$$

где λ — в метрах, P — в ваттах, σ — м^2 .

Возникает вопрос, не следует ли считать, что мощность P и площадь σ сами зависят от l ? Действительно, для больших расстояний, сравнимых с размерами Вселенной, мы должны учитывать, что P и σ относятся ко времени l -световых лет назад, когда цивилизация имела меньшие возможности, чем в настоящее время. Учитывая развитие техники, мы должны брать $P=P(t-l)$, $\sigma(t-l)$ и т. д., т. е. P и σ относить к тому времени, когда был послан сигнал. Однако при небольших расстояниях, много меньших времени развития Вселенной, можно считать, что неравномерность в скорости развития жизни во Вселенной всегда может создать разницу уровней развития в сотни тысяч лет. Будем считать, что во Вселенной в любое время в течение последних нескольких миллионов лет могут существовать любые возрасты цивилизаций от юных, какой является, по-видимому, наша цивилизация, до самых развитых, находящихся в расцвете сил, и умирающих. При этом можно считать, что дальность в выражениях (1) и (2) не влияет на величины P и σ непосредственно. Сделаем оценки оптимальной длины волны. Для этого необходимо учитывать зависимость от λ величины $P_{\text{ш}}(\lambda)$ и максимальных, еще достижимых в земных усло-

ниях, величин $\sigma(\lambda)$ и $P(\lambda)$. Если функция $P_{ш}(\lambda)$ является практически универсальной для всех цивилизаций, то $\sigma(\lambda)$ и $P(\lambda)$ связаны с уровнем и особенностями существования цивилизации (сила тяжести, наличие материалов и т. д.). Для земных условий в сантиметровом и дециметровом диапазонах в настоящее время, как показывает опыт, $\sigma \sim \lambda^{1/2}$. Максимальная мощность $P \sim \lambda$. При этом, согласно (2), получается, что максимум I определяется в основном минимумом $P_{ш}(\lambda)$. Этот минимум весьма пологий [7] и занимает диапазон сантиметровых и коротковолновой части дециметровых волн, т. е. находится примерно в диапазоне 1—30 см. Если считать, что максимальная мощность P не связана с волной, то оптимальный диапазон смещается в сторону миллиметровых волн. Если же учесть, что для современных систем шумы значительно выше минимальных, обусловленных фоном, то наиболее выгодно использовать миллиметровые и сантиметровые волны. В этом случае $I^2 \sim \lambda^{-1}$.

3. Оптимальный характер сигналов и приема

Чтобы решить вопрос о наиболее целесообразном виде сигнала, рассмотрим подробнее величину $P_{ш}$. Рассмотрим для определенности приемник с входной полосой Δf и детектором, на выходе которого стоит усредняющее устройство в виде RC -цепочки, имеющей полосу пропускания ΔF . Как известно, эквивалентная мощность шума такого усилителя будет

$$P_{ш} = kT \sqrt{\Delta f \Delta F} = \frac{kT}{2} \sqrt{\frac{\Delta f}{\tau}}, \quad (3)$$

где k — постоянная Больцмана, T — полная температура шумов усилителя и антенны. Для RC -цепочки $\Delta F = 1/4\tau$, где $\tau = RC$ — постоянная времени RC -цепочки, определяющая время усреднения. Она определяет минимальное время, необходимое для измерения, и поэтому часто называется временем измерения. Выражение (3) имеет общее значение. Можно показать, что любые способы выделения интересующего нас сигнала из шума в полосе Δf , при которых ис-

пользуется время наблюдения (например записи) τ , характеризуются приведенным соотношением (3) для шумов на выходе.

Рассмотрим два крайних случая передачи: 1) несущий сигнал — синусоидальный, 2) несущий сигнал — сплошной спектр в широком диапазоне.

В первом случае, как видно из (1) и (3), выгодно уменьшать полосу приема Δf и увеличивать время наблюдения. Во втором случае мы будем считать, что та же мощность передатчика, что и в первом случае, распределена в полосе $\Delta \Phi$, обуславливая излучение со спектральной плотностью $P/\Delta \Phi$. Тогда в выражении (2) вместо P нужно подставить значение мощности, попадающей в полосу приемника, т. е. величину $P' = P\Delta f/\Delta \Phi$, которая заведомо меньше P , если $\Delta f < \Delta \Phi$. Увеличивая полосу приемника Δf до величины $\Delta \Phi$, когда вся спектральная плотность попадает в приемник, мы тем самым увеличим пороговый сигнал до $P'_{ш} = kT\sqrt{\Delta \Phi \Delta F}$, который оказывается в $P'_{ш}/P_{ш} = \sqrt{\Delta \Phi/\Delta f}$ больше порогового сигнала при синусоидальной передаче. Таким образом, заданную мощность энергетически крайне невыгодно „размазывать“ на сколько-нибудь широкий интервал частот.

В случае передачи монохроматическим манипулированным сигналом также нужно, чтобы Δf было бы больше полосы передачи. Отсюда возникает целесообразность как можно большего сужения полосы частот передатчика. Эта полоса будет определяться желаемой скоростью передачи информации, а также возможностями стабилизации частоты. Итак, мы видим, что оптимальным в энергетическом отношении и в смысле искусственности сигнала является передача монохроматического сигнала с довольно медленной модуляцией.

Выбор полосы приемника Δf сейчас определяется в основном техническими возможностями стабилизации частоты. Синусоидальный сигнал в настоящее время может приниматься в весьма узкой полосе пропускания, в пределе равной полосе неустойчивости средней частоты гетеродинов, т. е. $(10^{-8} - 10^{-9})f_0 \sim 1 - 5$ герц. Величина шумовой температуры приемников сантиметрового и дециметрового диапазонов

вряд ли может быть сделана в настоящее время менее 100°K . Если примем $T = 70^\circ\text{K}$, $\Delta f = 10 \text{ гц}$, $\Delta F = 0,1 \text{ гц}$, тогда

$$P_{\text{ш}} = 10^{-21} \text{ ватт.}$$

К сожалению, в настоящее время еще нет приемников в дециметровом диапазоне волн с шумовой температурой, которая принималась выше, и высокой стабильностью при узкой полосе в несколько герц, как это требовалось бы для поиска синусоидального сигнала. Однако имеются диапазонные радиометры от 7,5 до 60 см с широкой полосой порядка 10^6 гц и чувствительностью порядка 1° при усреднении за одну секунду. Эти приемные системы способны принимать как монохроматический сигнал, так и шумовой. Рассмотрим их возможности. Уровень шумов на выходе радиометра также определяется формулой (3). Для рассматриваемых радиометров $\Delta f = 10^6 \text{ гц}$, а $T = 1500^\circ\text{K}$ и $\sqrt{\Delta f \Delta F} = 10^3 \text{ гц}$. Отсюда видно, что мощность шумов радиометра в $20 \cdot 10^3 = 2 \cdot 10^4$ раз больше мощности шума рассмотренного выше узкополосного приемника. Таким образом, для сохранения прежней дальности потребуется увеличение мощности передачи в случае приема на радиометр более чем в 10^4 раз. Очевидно, что поиск синусоидального сигнала должен вестись на перестраиваемом диапазонном приемнике. Важным является вопрос о скорости просмотра данного диапазона частот. Нужно считать, что диапазон Δf , равный входной полосе приемника, может просматриваться за время, не меньшее постоянной времени выходной цепи τ . Итак, за время t будет просмотрен диапазон

$$\Phi = \Delta f \frac{t}{\tau} = \frac{P_{\text{ш}}^2}{(kT)^2} t.$$

Таким образом, чем чувствительнее приемник (чем меньше в (3) $\sqrt{\Delta f/\tau}$), тем меньшая полоса за данное время может быть просмотрена. Так, для нашего случая при $\Delta f = 10 \text{ гц}$, $\Delta F = 0,1 \text{ гц}$ ($\tau = 2,5 \text{ сек}$) просмотр полосы 10^8 герц займет около года!

Эта полоса составляет примерно сотую часть всей целесообразной для просмотра полосы частот. В связи с этим, вероятно, разумно строить сначала системы, которые определя-

ли бы, существует ли в заданном широком спектре синусоидальный сигнал или нет. После утвердительного ответа можно приступить к определению его частоты и выделению. Возможно, что такая система значительно ускорит поиск синусоидальных сигналов.

Отметим, что увеличение дальности за счет снижения $P_{\text{ш}}$ без существенного увеличения времени наблюдения τ практически достигло в настоящее время границы. Можно еще надеяться ценой больших усилий получить один—два порядка, но заведомо не десятки порядков, которые, как мы увидим, требуются для повышения отношения $P/P_{\text{ш}}$, чтобы достичь дальности порядка размеров Галактики.

Для ориентировки в возможностях связи по приведенным формулам при $P_{\text{ш}} = 10^{-21} \text{ ватт}$, $n = 10$ рассчитана таблица дальностей и необходимых мощностей передачи при работе на волне $\lambda = 10 \text{ см}$. Из таблицы видно, что при ненаправленной передаче и приеме дальность достигается в основном за счет мощности. Никакие дальнейшие улучшения чувствительности приемной аппаратуры в пределах возможного для современной техники не увеличат существенно дальности. Например, снижение шумов до единицы градусов, по-видимому, практически не достижимое на современном уровне, может увеличить дальность менее чем на порядок. В силу сказанного нам представляется, что для всех цивилизаций основным ограничением в осуществлении связи с другими мирами путем ненаправленной передачи является проблема энергии и только энергии, так как все остальное (генерирование, передача) не связано с принципиальными трудностями такого же порядка. Из таблицы видно, какие огромные мощности требуются даже для направленной связи с ближайшими галактиками Андромеды и Магеллановых Облаков.

Рассмотрим вопрос установления связи между галактиками подробнее.

4. Условия обнаружения искусственных сигналов из других галактик

В этом случае, очевидно, могут быть применены направленные приемные антенны. Пусть передача ненаправленная

Таблица
Зависимость дальности космической связи на $\lambda = 10$ см между окрестностями звезд и галактиками от мощности передачи, параметров антенн и размеров коррелирующих объектов при синусоидальном сигнале, превышающем уровень собственных шумов $P_{ш} = 10^{-21}$ ватт в 10 раз

№ п/п	Место передачи и приема	Размер r_2 передающей галактики, охватываемый диаграммой направленности (в световых годах)	Расстояние l по Земле в световых годах	Мощность в ваттах при ненаправленном приеме и передаче	Мощность при ненаправленной передаче и направлении приеме		Мощность при направленной передаче и приеме		Мощность при направл. передаче и приеме при $D_1 = D_2 = 10^3$ $\Delta\varphi_1 = \Delta\varphi_2 \approx 1'$
					$D_1 = 10^6$ $\Delta\varphi_1 = 10'$ $D_2 = 1$	$D_2 = 1$; $\Delta\varphi_1$ равно угловому размеру наблюдаемой галактики. $\Delta\varphi_1 = (r_2/l)$	$D_1 = D_2 = 10^3$	$\Delta\varphi_2$ равно угловому размеру нашей Галактики (R_1/l)	
1	α Центавра		4	$2 \cdot 10^{17}$	$2 \cdot 10^{11}$		$2 \cdot 10^5$		120
2	Десяток ближайших звезд		10	$1.6 \cdot 10^{18}$	$1.6 \cdot 10^{12}$		$1.6 \cdot 10^6$		160
3	Около 100 ближайших звезд		20	$6 \cdot 10^{18}$	$6 \cdot 10^{12}$		$6 \cdot 10^6$		$6 \cdot 10^3$
4	Звезды		100	$1.6 \cdot 10^{20}$	$1.6 \cdot 10^{14}$		$1.6 \cdot 10^8$		$16 \cdot 10^4$
5	Звезды		1000	$1.6 \cdot 10^{22}$	$1.6 \cdot 10^{16}$		$1.6 \cdot 10^{11}$		$16 \cdot 10^5$
6	Б. Магеллан. Облако	$13 \cdot 10^3$	85 000	10^{28}	10^{20}	$2 \cdot 10^{23}$ ($D_1 = 500$)		$2 \cdot 10^{22}$ ($D_2 = 10$)	
7	Туманность Андромеды	$100 \cdot 10^3$	2106	$6 \cdot 10^{28}$	$6 \cdot 10^{22}$	$1.5 \cdot 10^{25}$ ($D_1 = 4 \cdot 10^3$)		$4 \cdot 10^{22}$ ($D_2 = 4 \cdot 10^3$)	
8	Галактика типа Андромеды	$100 \cdot 10^3$	10^8	$1.6 \cdot 10^{32}$	$1.6 \cdot 10^{26}$	$1.6 \cdot 10^{25}$ ($D_2 = 10^3$)		$1.6 \cdot 10^{17}$ ($D_2 = 10^3$)	
9	Видимая граница Вселенной		10^9	$1.6 \cdot 10^{36}$					

($D_2 = 1$). Обозначим размеры передающей сигналы галактики в световых годах через r_2 ; ее угловой размер с расстояния l будет равен r_2/l . Очевидно, что для обеспечения одновременного приема от произвольной звезды этой галактики необходима диаграмма приема такой же ширины. Это дает величину коэффициента направленного действия порядка $D_1 = 4\pi l^2/r_2$, что приводит к уменьшению необходимой мощности передачи во столько же раз. Для приема сигналов от туманности Андромеды, имеющей угловые размеры около 3° , КНД приемной антенны будет $D_1 = 4 \cdot 10^3$. Диаметр приемного зеркала должен быть $\sim 20\lambda$, т. е. в диапазоне 10—50 см имеет обычные размеры. Для приема сигналов с Магеллановых Облаков при их угловых размерах порядка 10° можно иметь зеркало с $D_1 = 0.5 \cdot 10^5$. Интересно отметить (см. таблицу), что как при приеме сигналов с Андромеды, так и с равной ей по размерам галактики требуется одна и та же мощность ненаправленного передатчика $\sim 10^{26}$ ватт, хотя расстояния отличаются в пятьдесят тысяч раз. Получается, что в случае приема на антенну, схватывающую лепестком данную площадь галактики, требуемая мощность не зависит от расстояния! Это легко понять, так как площадь приемной антенны поставлена в зависимость от квадрата расстояния. Действительно, подставляя в (1) $D_1 = 4\pi l^2/r_2$, получим, что требуемая мощность для ненаправленной передачи определяется только размерами передающей галактики по сравнению с длиной волны:

$$\frac{P}{nP_{ш}} = 4\pi 10^{32} \frac{r_2^2}{\lambda^2}, \quad (4)$$

где r_2 — в световых годах.

При взаимно направленной связи между галактиками направленность передающей антенны $D_2 = 4\pi l^2/r_1^2$, где r_1 — размер принимающей галактики. Подставляя выражения для D_1 и D_2 в (1), будем иметь

$$\frac{P}{nP_{ш}} = \frac{10^{32}}{4\pi} \cdot \frac{r_2^2}{\lambda^2} \cdot \frac{r_1^2}{l^2}. \quad (5)$$

Получается кажущийся еще более странным вывод, что чем больше расстояние между галактиками заданных размеров,

тем меньшая мощность требуется! Разумеется, что это выполняется до тех пор, пока размеры антенны и, следовательно, направленность меняются в соответствии с изменениями угловых размеров галактики, т. е. пока сам выбор площади приемной и передающей антенн ставится в пропорциональную зависимость от l^2 .

Приведенные в таблице подсчеты показывают, что для сигнализации и связи во Вселенной нужна огромная мощность, которая неизвестно когда и как может быть получена, например, земной цивилизацией. Если судить по земной цивилизации, то мысли о связи с другими мирами возникают очень рано, когда даже еще нет реальных для этого средств. Очень возможно, что и другие цивилизации, подсчитав возможности связи, убедятся, что еще не имеют средств, чтобы возвестить о себе на всю Вселенную, но уже могут осуществлять связь с ближайшими соседями.

Развитие идет небольшими ступенями, и вряд ли какая-нибудь цивилизация захочет ждать того неизвестного времени, когда можно будет возвестить о себе на всю Вселенную или принимать сигналы с удаленного ее уголка, не проверив сначала наличие сигналов или не просигналив на ближайшие звезды. В силу сказанного, вероятно, весьма целесообразно искать сигналы от ближайших к нам звезд, находящихся в пределах сотен световых лет. Как известно, в окрестности Солнца в радиусе 15 световых лет находится около 40 звезд. Если принять такую же плотность и на расстоянии в десятки раз больше, получим, что в пределах расстояния в 150 световых лет будет находиться $4 \cdot 10^4$ звезд, а в сфере радиусом 1000 световых лет уже более 10^7 звезд. Мы видим, согласно последним столбцам таблицы, что для связи в пределах 10^3 световых лет при применении направленных систем передачи и приема требуются вполне реальные по современным земным масштабам мощности передачи.

В настоящее время, по-видимому, настала пора начать работу по поиску сигналов от ближайших соседей, хотя и следует отдавать себе отчет в весьма малой вероятности встретить подобную себе цивилизацию в ближайших окрестностях Солнца. Но никто не может опровергнуть возможность такой встре-

чи. Если принять вероятность жизни около какой-либо звезды, согласно [6], $\sim 10^{-7}$, то в радиусе 1000 световых лет мы должны будем встретить одну цивилизацию!

Однако никакие подсчеты о вероятности встречи не дадут окончательного убеждения—необходима экспериментальная проверка. Следует сразу же сказать, что эта проверка не эпизодическое явление, а длительное и повторяющееся периодически изучение спектра излучения окрестностей ближайших звезд. Эта работа по объему, характеру и длительности вполне аналогична, скажем, работе по составлению каталога движений или спектров звезд до заданной величины, которая выполняется астрономами всего мира.

Рассмотрим несколько частных вопросов связи в окрестностях Солнца.

5. Связь в окрестности Солнца

Мы примем, что на обеих звездных системах применяются направленные антенны. Очевидно, что луч антенны должен захватить окрестности звезды до расстояний, где могут быть планеты. Каковы размеры этой области? По-видимому, жизнь, подобная земной, может развиваться, если уровень падающей от звезды энергии достаточен для протекания различных жизненно важных процессов. По-видимому, можно считать этот уровень, как и для Земли, порядка $s = 2 \text{ кал/см}^2 \text{ мин}$. Если L — энергия излучения звезды, то $r_{1,2}^2 = L_{1,2}/\pi s 10^{33}$. Большинство ближайших звезд излучают энергию в 10^2 — 10^3 раз меньшую, чем Солнце. Поэтому „радиус жизни“ $r_{1,2}/2$ следует ожидать на порядок меньший, чем в случае Солнца.

Угловые размеры с расстояния $l = 10$ свет. лет для орбиты Марса будут около $0''.5$.

При такой направленности приема возникает опасность ухудшения чувствительности за счет приема радиоизлучения самой звезды. Однако, например, для Солнечной системы при направленности, охватывающей земную орбиту, угловой размер Солнца будет занимать 1/200 часть угловых размеров диаграммы. Это даст температуру шумов антенны $\sim T_{\odot}/2 \cdot 10^5$, т. е. для дециметровых волн примерно 2°K .

В случае других звезд, по-видимому, можно еще на порядок увеличить направленность применяемых антенн. Однако здесь уже ставится предел возможностям сооружения антенн. Для направленности в $1''$ необходимы антенны диаметром $d = 10^5 \lambda$, т. е. порядка $d = 10$ километров ($\lambda = 0.1$ м). Сейчас пока неясны даже пути сооружения подобных антенн. В настоящее время можно рассчитывать на антенны диаметром $d = 30-100$ метров, работающие на волнах $\lambda = 3$ см и длиннее. Это даст направленность от $4'$ ($\lambda = 3$ см) до $12'$ ($\lambda = 30$ см) и соответственно $D \sim 10^6$. В таблице приведены данные мощностей и антенн, необходимых для связи с ближайшими звездными системами для случая как современных значений величин КНД порядка 10^8 , так и антенн ближайшего будущего с КНД $= 10^9$. Из таблицы видно, что при рассмотренных размерах антенных систем необходимые мощности передатчиков для связи с ближайшими соседями весьма невелики.

При существующих антеннах необходимы все еще достаточно большие мощности, но все же, видимо, достижимые при современных условиях, по крайней мере, для облучения в пределах 10—20 световых лет.

Подведем итоги и сделаем некоторые выводы.

В настоящее время техника радиоприема достигла такого уровня, что можно ставить вопрос о систематическом поиске искусственных электромагнитных сигналов из космоса в диапазоне сантиметровых и дециметровых волн.

По-видимому, наиболее вероятной формой сигналов нужно считать такие, которые резко отличаются от естественных излучений. Среди этих сигналов оптимальным с точки зрения приема является монохроматический сигнал с весьма узкой спектральной линией, присущей современным молекулярным и квантовым генераторам.

Поиск линий монохроматического излучения нужно проводить в непрерывном диапазоне сантиметровых и дециметровых волн. Однако целесообразно также проводить поиск около линий радиоизлучения отдельных молекул, применяемых в молекулярных генераторах и усилителях (линия аммиака на волне 1.25 см, линия формальдегида на волне 0.4 см).

По-видимому, целесообразно произвести также поиск линий радиоизлучения в диапазоне сантиметровых и дециметровых волн от ближайших галактик: Андромеды и Магеллановых Облаков, имея в виду обнаружение цивилизации II типа. В настоящее время целесообразно приступить к систематическому облучению ближайших звезд сигналом с Земли, имея в виду создание на них поля, достаточного для обнаружения теми же средствами, что имеются на Земле. Для этого необходима мощность на сантиметровых волнах порядка сотен киловатт при обычных существующих антеннах.

Для посылки сигналов на ближайшие звезды вовсе нет необходимости во многих передатчиках, можно организовать поочередное периодическое облучение нескольких десятков ближайших звезд. Конечно, оптимальная программа должна быть еще специально обоснована. Точно так же можно вести систематический поочередный патруль приема от ряда звезд в течение определенного времени. Для получения сколько-нибудь реальных шансов встретить сигналы других цивилизаций, по-видимому, необходимо в качестве ближайшей задачи производить поиск сигналов с ближайшего десятка миллионов звезд, находящихся в радиусе 1000 световых лет — предела досягаемости связи для цивилизаций, подобных земной. Объем этой работы огромен. Вся проблема поисков межзвездной связи является в настоящее время большой комплексной проблемой, которая может решаться успешно лишь в масштабах международного сотрудничества и координации и может занять длительное время.

Решение проблемы существования других цивилизаций во Вселенной становится теперь на экспериментальную основу. Эта проблема требует проведения комплексных исследований значительного объема и трудоемкости с привлечением представителей различных разделов науки. В силу этого и особенно в силу большой научной и практической важности проблемы, по-видимому, в настоящее время целесообразно создание специальной комиссии при Совете по радиоастрономии и Астрономическом обществе, которая должна заниматься вопросами научной разработки проблемы и координацией исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. G. Cocconi and P. Morrison, *Nature*, 184, 844, 1959.
2. F. J. Dyson, *Science*, 131, 27, 1960.
3. Н. С. Кардашов, *Астрон. журн.*, 41, 282, 1964.
4. В. С. Троицкий, *ЖЭТФ*, 34, 1958, 390.
5. В. С. Троицкий, В. В. Хрулев, *Радиотехн. и электрон.*, 1, 1956, 831.
6. A. G. W. Cameron, *Interstellar Communication*. New York, 1963.

СВЯЗЬ С ВНЕЗЕМНЫМИ ЦИВИЛИЗАЦИЯМИ В РАДИОДИАПАЗОНЕ

В. А. КОТЕЛЬНИКОВ

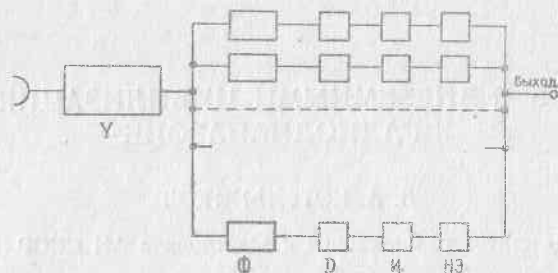
Институт радиотехники и электроники АН СССР

Цель данного сообщения—рассмотреть возможность связи с внеземными цивилизациями в случае, когда их техника базируется на принципах, уже освоенных в земных условиях, и опережает нашу на несколько десятков лет. Наша техника берется на уровне, достижимом уже в настоящее время. Хотя весьма вероятно, что цивилизации на ряде планетных систем опережают нашу на тысячи или даже миллионы лет, все же такое рассмотрение, очевидно, целесообразно. Данная работа никак не претендует на полноту охвата рассматриваемого вопроса. В ней даются лишь некоторые примеры, вовсе не претендуя на то, что они являются оптимальными.

Рассмотрим передачу сигналов в виде длинных монохроматических посылок. Такая передача с точки зрения помехоустойчивости не хуже других методов передачи, но более проста в осуществлении и поэтому весьма вероятно, что будет применяться по крайней мере в начале. Очевидно частота посылок нам заранее не известна и может при передаче информации меняться. В этом случае оптимальным приемником будет являться приемник, собранный по схеме (см. рис.).

На этой схеме Y — усилитель, могущий содержать преобразователи спектра частот принимаемых колебаний; Φ — фильтры с полосой Δf , перекрывающие весь принимаемый диапазон частот; D — детекторы; I — интеграторы, дающие энергию, прошедшую через фильтр за время посылки длительностью τ ; $HЭ$ — соответственно подобранные нелинейные элементы, выходы которых складываются. Если выход

такого приемника будет превосходить некоторый уровень, то это будет означать, что в полосу приемника попал сигнал.



Для простоты, не сильно теряя в помехоустойчивости, можно заменить нелинейные устройства пороговыми, которые дают сигнал на выходе, если энергия колебания, прошедшая через фильтр за время τ , превзойдет некоторый порог. Далее мы будем рассматривать такой вариант.

Пусть передающая и приемные антенны с эффективными площадями S_1 и S_2 направлены друг на друга. Тогда максимальное расстояние, на которое будет приниматься сигнал таким приемником, будет:

$$R = \sqrt{\frac{PS_1S_2\tau}{\lambda^2 k T_m \Psi}}, \quad (A)$$

где P — мощность передатчика,

λ — длина волны,

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ дж/град,

T_m — шумовая температура приемника,

Ψ — зависит от Δf , числа фильтров n , установки порога, определяемого вероятностью ложного срабатывания приемника $p_{лс}$ и допустимой вероятностью пропуска сигнала $p_{пр}$.

При изменении Δf величина Ψ имеет минимум при $\Delta f \approx 1/\tau$. Он при $p_{лс}$ и $p_{пр}$, меньших 10^{-2} , равен:

$$\Psi_m \approx \left(\sqrt{\ln \frac{n}{p_{лс}}} - 2 + \sqrt{\ln \frac{1}{p_{пр}}} - 2 \right)^2.$$

В ряде случаев при большом τ сделать $\Delta f = 1/\tau$ не представляется возможным, так как из-за нестабильности

сигнал будет выходить за столь узкие фильтры. В случае $\Delta f \gg 1/\tau$ будем иметь:

$$\Psi \approx \sqrt{2\Psi_m \tau \Delta f}.$$

Делать $\Delta f < \frac{1}{\tau}$ нецелесообразно, так как это вызовет трудность в построении системы и увеличит Ψ , т. е. уменьшит R .

Рассмотрим пример. Пусть мощность передатчика неземной цивилизации будет равна $P = 10^9$ Вт (1% электроэнергии, потребляемой в США). Эффективная площадь передающей антенны

$$S_1 = 10^5 \text{ м}^2,$$

приемной, нашей, антенны —

$$S_2 = 10^4 \text{ м}^2$$

$$T_m = 30^\circ.$$

Такие параметры приемной антенны можно получить сейчас у нас.

Длину волны возьмем:

$$\lambda = 0.1 \text{ м}.$$

Беря достижимую в настоящее время стабильность 10^{-10} , получим ширину полосы фильтра

$$\Delta f = 0.3 \text{ гц}.$$

При такой полосе можно взять $\tau \gg \Delta f$. Берем $\tau = 1800$ сек,

$$p_{лс} = p_{пр} = 10^{-5} \text{ и } n = 10^9.$$

Тогда получим

$$\Psi = 280.$$

По формуле (A) будем иметь:

$$R = 1,28 \cdot 10^{21} \text{ м}$$

или 128000 св. лет, что больше диаметра Галактики.

Если передавать по такой линии информацию, меняя частоту сигнала от посылки к посылке, то информативность будет равна

$$\frac{\lg_2 n}{\tau} = \frac{\lg_2 10^9}{1800} = 1/60 \text{ двоичных единиц за секунду.}$$

Информативность быстро растет с уменьшением τ . Если принять $\tau = \Delta f^{-1} = 3.3 \text{ сек}$, то получим при

$$p_{\text{лс}} = p_{\text{пр}} = 10^{-5} \text{ и } n = 10^9.$$

$$\Psi = 73 \text{ и } R = 10^{20} \text{ м или } 10000 \text{ св. лет.}$$

При этом информативность будет

$$\frac{\lg_2 n}{\tau} = \frac{\lg_2 10^9}{3.3} = 9 \text{ дв. знаков в сек.}$$

При расстоянии в 100 св. лет τ можно уменьшить на четыре порядка, примерно во столько же раз увеличится информативность.

Рассмотренный приемник обладает довольно узкими фильтрами. Для того чтобы сигнал под влиянием изменений частоты, вызванных ускорениями передатчика и приемника, не выходил за пределы полосы фильтров, на передатчике и приемнике должна производиться компенсация этих изменений. Это сделать возможно, так как ускорения, вызванные движением планет, в каждом пункте известны.

Отметим еще, что очень большое число отдельных каналов в приемнике (см. рис.) может быть, по всей видимости, заменено более простым устройством, выполняющим ту же роль.

Рассмотрим теперь вопрос отыскания звезды, с планетной системы которой ведется передача сигналов.

Пусть цивилизация этой звезды имеет передатчик с параметрами, взятыми в ранее рассмотренном примере, т. е. $P = 10^9 \text{ вт}$, $S_1 = 10^5 \text{ м}^2$, $\lambda = 0.1 \text{ м}$. Пусть антенна облучает поочередно отдельные звезды или всю небесную сферу, проходя звезду, скажем, за $\tau = 3 \text{ сек}$. При большем τ задача поиска может еще облегчиться.

Луч антенны захватывает телесный угол $\frac{\lambda^2}{S_1}$ и, таким образом, чтобы обойти всю небесную сферу, потребуется время

$$\tau_n = \tau \frac{4\pi S_1}{\lambda^2}.$$

При взятых параметрах получим $\tau_n = 3.8 \cdot 10^8 \text{ сек}$ или 12 лет.

Значительно меньшее время получим, если будут облучаться отдельные звезды и антенна будет быстро переводиться с одной звезды на другую.

Так, время обхода для облучения по очереди всех 10^7 звезд в радиусе 1000 св. лет будет:

$$\tau_n = 3 \cdot 10^7 \text{ сек, или 1 год.}$$

Если принять, что путем отбора наиболее «перспективных» звезд будет облучаться только 1% звезд в радиусе 1000 св. лет, то время обхода будет $\tau_n = 3 \cdot 10^5 \text{ сек}$, т. е. около четырех суток. При облучении звезд в сфере меньшего радиуса время обхода еще уменьшится. Таким образом, в варианте быстрого перевода антенны со звезды на звезду время обхода получается не слишком большим.

В качестве приемной системы возьмем систему, состоящую из отдельных направленных антенн, перекрывающих своими лучами всю небесную сферу. В этом случае, если мы хотим обнаружить передатчик с упомянутыми выше параметрами с расстояния 1000 св. лет, то в соответствии с формулой (А) надо взять площадь приемной антенны $S_2 = 100 \text{ м}^2$. При этом предполагается, что приемник работает в соответствии со схемой рисунка и взято $\Delta f = \tau^{-1}$, $T_{\text{ш}} = 30^\circ$. Учитывая, что луч такой антенны перекрывает телесный угол $\frac{\lambda^2}{S_2}$, для перекрытия всей небесной сферы понадобится

$$m_2 = \frac{4\pi S_2}{\lambda^2} = 1.2 \cdot 10^5 \text{ лучей.}$$

Антенна в данном варианте не должна следить своими лучами за звездами. Поэтому одна антенна может иметь, очевидно, несколько десятков лучей. Таким образом, число антенн может быть в несколько десятков раз меньше, чем m_2 . Однако число приемных каналов должно быть равно m_2 , и каждый приемный канал должен охватывать фильтрами весь диапазон, где могут ожидать сигналы.

Если предположить, что передающая сигналы цивилизация достаточно развита и может на основании данных своей

астрономии выделить 1% звезд, у которых может существовать цивилизация земного уровня, то, как было сказано выше, обход облучением звезд сферы радиуса 1000 св. лет займет всего лишь около четырех суток. В таком варианте можно обследовать не сразу весь небосвод, а по частям, например, лежащим между определенными значениями склонения. Так, если поделить небосвод на 10 частей, то достаточно будет каждую часть обследовать, скажем, по одному месяцу (при наличии сигнала он появится 7 раз за это время) и завершить обследование всего небосвода за 1 год. При этом число приемных каналов и антенн можно будет еще уменьшить в 10 раз.

Построение рассмотренной приемной сетки в земных условиях хотя и потребует существенных затрат, однако вполне возможно.

Рассмотренная система позволит обнаружить цивилизацию с упомянутым выше радиопередатчиком, если она существует, на расстоянии от земли, не превышающем 1000 св. лет. Поскольку на этом расстоянии существует около 10^7 звезд, то поиски будут успешными, если передатчик будет хотя бы у одной звезды из этого числа.

В случае, если уменьшить расстояние поиска, задача сильно упрощается.

В таблице даны данные, когда взаимно обследуются сферы с радиусом 2000, 1000, 500 или 200 св. лет, имеющие соответственно 10^8 , 10^7 , 10^6 или 10^5 звезд. Данные таблицы получены аналогично сказанному выше. В графе 7 указано число частей, на которое можно разбить небосвод с тем, чтобы закончить обзор всего небосвода за 1 год. При этом время наблюдения за одной частью бралось примерно в 10 раз больше величины, указанной в графе 4.

Как видно из таблицы, в случае, если существует только одна цивилизация, с принятым тут довольно «скромным» уровнем, на 10^8 звезд, то ее обнаружить при современном уровне развития нашего общества очень трудно; если одна цивилизация на 10^7 звезд, то при некоторых усилиях — возможно; если одна на 10^6 звезд, то ее обнаружение сейчас вполне реально.

Таблица

Радиус сферы, св. лет	Число звезд в сфере	Время обхода всех звезд	Время обхода 1% звезд	Площадь приемной антенны, M^2	Число приемных каналов на весь небосвод	Число частей, на которое можно разбить небосвод	Число приемных каналов при делении небосвода
2000	10^8	10 лет	36 дн.	400 M^2	480000	1	480000
1000	10^7	1 год	4 дн.	100 M^2	120000	10	12000
500	10^6	36 дн.	9 час.	25 M^2	30000	100	300
200	10^5	4 дн.	1 час.	4 M^2	4800	1000	5

Конечно, если внеземная цивилизация будет применять более мощные устройства, то рассмотренными средствами ее удастся обнаружить на больших расстояниях.

После того как будет установлена цивилизация, посылающая радиосигналы, на нее должна быть направлена антенна с большой эффективной площадью, так как, по всей видимости, эта цивилизация, помимо мощных сигналов, служащих для обнаружения, дает еще в тех же направлениях и информацию, для принятия которой нужны более эффективные антенны. Для установления более информативной связи следует послать к обнаруженной цивилизации радиосигналы от нас. Принять их не будет представлять труда, так как наш передатчик может быть все время направлен на обнаруженную цивилизацию. После этого антенны обеих цивилизаций будут направлены друг на друга и можно будет установить более эффективную передачу информации.

В заключение рассмотрим еще вопрос о возможности обнаружения по радиоизлучению цивилизации, если она не посылает специальных сигналов. В этом случае можно ожидать, что для собственной связи в ней используются мощности порядка десятков киловатт при антеннах с коэффициентом усиления $g_1 = \frac{4\pi S_1}{\lambda^2}$. При более остро направленных антеннах снижается вероятность попадания в их луч. Берем полосу приемника, как и раньше, порядка 0.3 гц. Более узкую при-

менить трудно, так как на стороне передачи смещение частоты, вызванное эффектом Доплера, в этом случае компенсироваться не будет. По тем же причинам берем $\tau = 3$ сек, $P = 10^5$ вт, $\frac{S_1}{\lambda} = 10$, $S_2 = 10^5$, $\Psi = 70$, $T_{\text{ш}} = 30$. По формуле

(А) получим:

$$R = 3 \cdot 10^{15} \text{ м, или } 0.3 \text{ светового года.}$$

Таким образом, даже с ближайших звезд открыть цивилизацию по радиоизлучениям практически невозможно, если она не передает специальных сигналов или не излучает (непонятно для чего) очень большие мощности.

В ы в о д ы

Если цивилизация не посылает специальные сигналы, то ее даже с ближайших звезд, вероятно, обнаружить нельзя.

Если цивилизация, обладающая несколько большим, чем мы, уровнем развития (предположительно на несколько десятков лет), посылает специальные радиосигналы, то мы ее можем обнаружить на расстояниях до 500–1000 световых лет.

Если цивилизации друг друга обнаружили, то между ними возможна связь в радиодиапазоне в пределах Галактики.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПОИСКА И АНАЛИЗА РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ ОТ ДРУГИХ ЦИВИЛИЗАЦИЙ

В. И. СИФОРОВ

Институт радиотехники и электроники АН СССР

В настоящем сообщении рассматриваются некоторые аспекты поиска и анализа радиоизлучений от внеземных цивилизаций в свете применения к решению этой проблемы основных положений теории информации.

При осуществлении поиска возможных радиосигналов приходится считаться с тем, что нам неизвестны частоты этих колебаний, направления их прихода, а также их характер и статистическая структура. При этом вполне естественно поставить задачу о поиске таких сигналов в возможно более короткое время. Для разрешения этой задачи необходимо установить количественные соотношения, связывающие потребное время поиска со всеми другими величинами, определяющими его и, в частности, выяснить зависимость продолжительности поиска от расстояния между цивилизациями. В данной работе приводятся эти количественные соотношения, а также некоторые качественные соображения о целесообразных методах поиска и анализа приходящих радиоизлучений.

Прежде всего следует иметь в виду, что минимально необходимое количество информации, которое должно быть принято для того, чтобы с высокой достоверностью сделать заключение об искусственности этих сигналов, невелико. Можно полагать, что оно измеряется несколькими единицами или десятками двоичных единиц, если иметь в виду позывные сигналы.

Поставим перед собой задачу найти такие методы приема, при использовании которых указанное минимально необхо-

димое количество информации может быть передано в минимальное время. В частности, здесь естественно возникает вопрос о том, какая должна выбираться полоса частот приемных устройств и насколько целесообразно применение направленного излучения и приема сигналов.

Рассмотрим сперва вопросы поиска сигналов по частоте. Обозначим через R расстояние между ближайшими цивилизациями. Тогда при заданной мощности излучения источника у цивилизации A плотность потока мощности в области расположения цивилизации B будет изменяться по известному квадратичному закону, т. е. будет равна $\frac{a}{R^2}$. Поэтому для

обеспечения необходимого превышения уровня полезных сигналов над уровнем флуктуационных шумов, мощность которых растет пропорционально полосе частот приемника, эту полосу необходимо выбирать так:

$$\Delta f = \frac{b}{R^2}. \quad (1)$$

Пусть полный диапазон частот, в котором решено осуществлять поиск, будет $\Delta_0 f$. Предположим далее, что мы имеем поисковый радиоприемник с автоматически перестраиваемой частотой настройки и снабженный по промежуточной частоте узкополосным полосовым фильтром, имеющим полосу частот Δf . Для того чтобы переходные процессы существенно не снижали уровень полезных сигналов на выходе фильтра, время прохода текущей переменной частоты через интервал частот Δf должно быть порядка

$$\tau \approx \frac{c}{\Delta f},$$

где c — коэффициент порядка единицы.

Полное время, потребное для прохождения текущей частотой настройки всего обследуемого диапазона $\Delta_0 f$, будет

$$\tau_n = n\tau = \frac{\Delta_0 f}{\Delta f} \cdot \frac{c}{\Delta f},$$

где n — количество элементарных полос Δf в общей полосе частот $\Delta_0 f$.

Подставляя в найденное соотношение формулу (1), получим

$$\tau_n = \frac{c \Delta_0 f}{\left(\frac{b}{R^2}\right)^2} = \frac{c}{b^2} (\Delta_0 f) R^4. \quad (2)$$

т. е. при выбранном методе приема, когда используется одноканальный поисковый приемник, потребное время поиска оказывается прямо пропорциональным полной полосе частот $\Delta_0 f$, в которой осуществляется поиск, и четвертой степени расстояния между цивилизациями.

Такой весьма неблагоприятный закон изменения времени поиска от расстояния говорит о том, что применение одноканального поискового радиоприемника для решения поставленной задачи нецелесообразно. Необходимо для уменьшения времени поиска применять многоканальные приемники, с помощью которых оказывается возможным одновременно просматривать наличие возможных сигналов в широком диапазоне частот.

Если в приемнике использовать n полосовых фильтров, то тогда время поиска будет зависеть от расстояния R между цивилизациями по квадратичному закону, т. е.

$$\tau_n = k_0 R^2, \quad (3)$$

где k_0 — коэффициент пропорциональности.

При этом, конечно, сложность приемной аппаратуры растет пропорционально R^2 . Однако целесообразно идти на это усложнение, так как полосовые фильтры являются простыми и дешевыми элементами.

Что касается выбора диапазона частот, в котором следует осуществлять поиск, то этот выбор надо производить исходя из закона распределения эффективной температуры космических шумов по частоте. Целесообразно использовать частоты, где уровень космических шумов имеет минимум. Кроме того, следует наиболее детально обследовать области спектра вблизи второй, третьей и более высоких гармоник от длины волны 21 см, соответствующей излучению космического нейтрального водорода.

Рассмотрим теперь некоторые вопросы поиска по направлению и произведем сравнительную оценку поисковых систем с использованием направленных и ненаправленных антенн.

Пусть P есть мощность радиоизлучения, создаваемая внеземной цивилизацией. Обозначим соответственно через P_c и $P_{ш}$ мощности принимаемых сигналов и шумов в пункте приема.

В случае слабых сигналов

$$\frac{P_c}{P_{ш}} \ll 1.$$

При использовании ненаправленной передачи в соответствии с теоремой Шеннона наибольшая возможная скорость C передачи информации будет

$$C = \Delta f \lg_2 \left(1 + \frac{P_c}{P_{ш}} \right) = \frac{\Delta f}{\ln 2} \ln \left(1 + \frac{P_c}{P_{ш}} \right) \approx \frac{(\Delta f) P_c}{(\ln 2) P_{ш}}.$$

Полагая здесь

$$P_{ш} = P_{ш \text{ уд}} \Delta f,$$

где $P_{ш \text{ уд}}$ — удельная мощность шума на единицу полосы частот, получим

$$C = \frac{P_c}{(\ln 2) P_{ш \text{ уд}}}. \quad (4)$$

Количество переданной информации за время T будет

$$Q = CT. \quad (5)$$

Подставляя (4) в (5), получим

$$Q = \frac{P_c T}{(\ln 2) P_{ш \text{ уд}}} \quad (6)$$

или

$$T = \frac{(\ln 2) Q P_{ш \text{ уд}}}{P_c}. \quad (7)$$

Из (7) следует, что в случае весьма слабых сигналов в пункте приема потребное время T для приема минимально необходимого количества информации Q растет пропорционально этому количеству Q , отношению удельной мощности шума к мощности сигнала и не зависит от полосы частот Δf .

Предположим теперь, что внеземная цивилизация использует направленную антенну, имеющую диаграмму излучения типа «карандашного» луча. Допустим далее, что этот «карандашный» луч обегает всю поверхность сферы с радиусом R , имеющую площадь

$$S = 4\pi R^2.$$

Обозначим через N количество участков этой сферы, каждый из которых имеет площадь, равную площади следа карандашного луча на сфере.

Найдем, какое количество информации можно передать в этой системе с использованием направленной антенны за то же самое время T , что и при использовании изотропного излучения.

Поток мощности за счет направленности возрастет в N раз. Но время, затрачиваемое на облучение каждого из N участков, будет равно $\frac{T}{N}$. Поэтому общее количество информации, принятое в пункте приема в соответствии с формулой (6), будет

$$Q' = \frac{(NP_c) \frac{T}{N}}{(\ln 2) P_{ш \text{ уд}}} = \frac{P_c T}{(\ln 2) P_{ш \text{ уд}}}. \quad (8)$$

Сравнивая (8) и (6), видим, что

$$Q' = Q,$$

т. е. при переходе от изотропного излучения к направленному излучению в случае слабых сигналов за выбранное время T количество переданной информации не может быть увеличено.

В случае сильных сигналов, когда

$$\frac{P_c}{P_{ш}} > 1,$$

при изотропном излучении количество переданной информации за время T будет

$$Q = CT = T \Delta f \lg_2 \left(1 + \frac{P_c}{P_{ш}} \right). \quad (9)$$

а при направленном излучении

$$Q' = \frac{T}{N} \Delta f \lg_2 \left(1 + \frac{NP_c}{P_{\text{ш}}} \right). \quad (10)$$

Сравнивая (9) и (10), видим, что

$$Q' < Q, \quad (11)$$

т. е. когда нужное направление передачи совершенно неизвестно, то при переходе от изотропного излучения к направленному излучению общее количество передаваемой информации при прочих равных условиях уменьшается. Или, иначе говоря, при указанных условиях потребное время для установления контакта между цивилизациями при использовании направленных антенн оказывается больше, чем при изотропных антеннах.

Полученный парадоксальный вывод справедлив лишь при условии, что цивилизация, осуществляющая передачу энергии, равномерно обследует все возможные направления в пространстве. Если же из всех возможных направлений отобрать лишь те, в которых можно ожидать наличия разумной жизни, то положение в корне меняется.

Пусть отношение общей площади сферы с радиусом R к площади той ее части, в которой решено производить поиск, равно M . Тогда в соответствии с (10) количество информации Q'' , которое может быть передано за время T при использовании направленного излучения, будет

$$Q'' = \frac{MT}{N} \Delta f \lg_2 \left(1 + \frac{NP_c}{P_{\text{ш}}} \right). \quad (12)$$

Использование направленных антенн окажется более выгодным, если будет выполняться условие

$$Q'' > Q, \quad (13)$$

где Q выражается формулой (9).

Условие (13) можно представить в виде

$$\frac{M}{N} \lg_2 \left(1 + \frac{NP_c}{P_{\text{ш}}} \right) > \lg_2 \left(1 + \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} \right).$$

Полагая

$$\frac{P_c}{P_{\text{ш}}} = m$$

и переходя к натуральным логарифмам, получим

$$\frac{M}{N} \ln(1 + mN) > \ln(1 + m). \quad (14)$$

Если принимаемые сигналы очень слабы, то

$$m \ll 1$$

и условие (14) преобразуется к виду

$$\frac{M}{N} \ln(1 + mN) > m \quad (15)$$

или

$$M' > \frac{mN}{\ln(1 + mN)}. \quad (16)$$

Полагая в (16), например, $m = 0.1$ и $N = 10^7$, получим

$$M' > 7.25 \cdot 10^4. \quad (17)$$

В данном примере, следовательно, применение направленного излучения оказывается более выгодным при условии, что из всей поверхности небесной сферы подвергается обследованию лишь менее чем одна семидесятитысячная ее часть. В противном случае целесообразнее работать ненаправленными антеннами.

Таким образом, если из всех звезд в пределах сферы с определенным радиусом на основании астрономических данных отобрать лишь очень небольшую их часть, то тогда целесообразно для установления контакта использовать остро-направленную передачу.

При поиске радиоизлучений от внеземных цивилизаций целесообразно проводить анализ их статистической структуры. В частности, если предположить, что приходящие сигналы являются узкополосными, то целесообразно при их анализе экспериментально определить двумерную плотность распределения вероятностей расположения на плоскости конца вектора, изображающего амплитуду и фазу принимаемых колебаний. По характеру поверхностей, изображающих эти двумерные плотности, можно судить, например, о том, использована или не использована для генерации колебаний обратная связь. Нам представляется, что изучение статистической

структуры принимаемых сигналов должно оказаться полезным при решении вопроса о том, являются ли эти сигналы «искусственными» или они обусловлены естественными процессами, не связанными с деятельностью разумных существ.

При решении проблемы установления контактов с внеземными цивилизациями, поиске и анализе радиосигналов следует, наряду с аддитивными космическими шумами, учитывать также и мультипликативные помехи и искажения, обусловленные случайными изменениями параметров среды распространения радиоволн, а также систематические изменения вследствие эффекта Доплера и других эффектов.

В ы в о д ы

1. При поиске радиосигналов от внеземных цивилизаций целесообразно использовать многоканальные радиоприемные устройства, содержащие большое количество узкополосных полосовых фильтров с полосами пропускания частот порядка единиц или десятых долей герца.

2. Необходимо на основе астрономических данных отобрать те объекты, где можно ожидать наличия цивилизаций и осуществлять поиск радиосигналов от них с помощью остро-направленных антенн. Использование таких антенн является целесообразным лишь при условии, что отношение площади небесной сферы, где осуществляется поиск, к общей площади всей сферы весьма мало. Математически условие целесообразности использования направленных антенн выражается неравенством (13).

3. При поиске радиоизлучений от внеземных цивилизаций необходимо проводить анализ статистической структуры принимаемых радиоизлучений и в частности двумерной плотности распределения вероятностей расположения на плоскости конца вектора, изображающего амплитуду и фазу принимаемых колебаний.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН В КОСМИЧЕСКОЙ СРЕДЕ И АТМОСФЕРЕ ЗЕМЛИ НА ВИДИМЫЕ УГЛОВЫЕ РАЗМЕРЫ ИСТОЧНИКА

Н. А. СМЕРНОВА, Н. Л. КАЙДАНОВСКИЙ

Главная астрономическая обсерватория АН СССР, Пулково

Одним из основных критериев искусственности источников радиоизлучения является их точечность. Однако точечный источник может быть расширен из-за рассеяния на неоднородностях космической среды и атмосферы Земли.

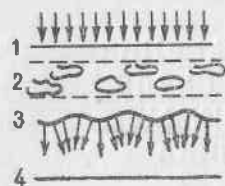
Если на пути луча S имеется много неоднородностей, средний размер r которых значительно больше длины волны λ , то средний квадрат отклонений фазы от невозмущенной [1]:

$$\overline{\varphi^2} = \frac{4\pi^2 S r}{\lambda^2} \overline{\Delta n^2}, \quad (1)$$

здесь $\overline{\Delta n^2}$ — среднеквадратичная величина флуктуаций показателя преломления. Полагается, что $\sqrt{\overline{\Delta n^2}} \ll 1$.

В случае, когда $\overline{\varphi^2} \ll 1$, в рассеянную волну уходит пренебрежимо малая доля мощности, и рассеянием практически можно пренебречь. Расширение точечного источника может произойти лишь в случае сильного возмущения фазового фронта волны ($\overline{\varphi^2} \gg 1$). Используя данные о неоднородностях тропосферы [2, 3], ионосферы [4, 4], межпланетной [6, 7, 8, 9], межзвездной [10, 11] сред и метagalктики [10, 12] и вычисляя $\overline{\Delta n^2}$ для ионизованной среды по изменению концентрации $\sqrt{\overline{\Delta n^2}}$ электронов, найдем по формуле (1)

среднеквадратичное отклонение фазы от невозмущенной. Расчеты $\overline{\varphi^2}/\lambda^2$ и параметры среды сведены в табл. 1*. Из таблицы видно, что наибольшие фазовые возмущения волна претерпевает при прохождении неоднородностей космической среды. Тропосфера может дать сильное рассеяние лишь на миллиметровых волнах, возмущенная ионосфера — на волнах длиннее 50 см. Искажение фронта волны при прохождении неоднородного слоя схематически изображено на рисунке.



Искажение фронта волны при прохождении через неоднородный слой. 1 — плоский фронт волны; 2 — слой неоднородности; 3 — искаженный фронт волны; 4 — уровень земли.

Учитывая, что земной наблюдатель находится в ближней зоне неоднородностей как космической среды, так и возмущенной ионосферы, и пользуясь приближением геометрической оптики, можно найти средний квадрат отклонений луча от невозмущенного направления:

$$\overline{\sigma}_i^2 = 4\pi^{1/2} \frac{S}{r} \overline{\Delta n^2}. \quad (2)$$

В точку наблюдения луч может прийти под любым углом в пределах $\sigma = \sqrt{\overline{\sigma}_i^2}$. Если угол σ много меньше углового размера неоднородности $\alpha = \frac{r}{S}$, то излучение к месту на-

блюдения в антенну с размером $D \ll r$ приходит почти параллельным пучком, пронизывая область среды с размером, значительно меньшим радиуса корреляции r . Точечный источник при этом может сместиться без видимых увеличе-

* Влияние облаков и гидрометеоров в тропосфере здесь не рассматривается, так как уникальные исследования предельно малых источников могут выполняться при благоприятных условиях погоды. Не учитывается также приземный слой атмосферы, ограничивающий разрешающую силу приземного радиотелескопа значением $\theta \approx \frac{2.5 \cdot 10^{-5}}{\lambda}$, так как считается возможным построить радиотелескопы, в которых будут отсутствовать каналы, проходящие в приземном слое.

Таблица 1

Среда	Тропосфера	Ионосфера		Межпл. среда		Межзв. среда		Метагалактика
		спок.	возм.	плоскость* эклиптики	эклипт. полюс	галакт. плоск.	полюс Галактики	
S см	10^6	$4 \cdot 10^7$	$4 \cdot 10^7$	10^{14}	$0.5 \cdot 10^{13}$	$6 \cdot 10^{22}$	$6 \cdot 10^{20}$	10^{28}
r см	$6 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^4$	10^6	10^9	10^9	$3 \cdot 10^{18}$	$3 \cdot 10^{18}$	10^{22}
$\overline{N}$ см ⁻³	—	10^4	10^4	10^2	20	1	1	10^{-5}
$\sqrt{\overline{\Delta N^2}}$ см ⁻³	—	10^2	10^4	10^2	20	1	1	10^{-6}
$\overline{\Delta n^2}/\lambda^4$	10^{-12}	$2 \cdot 10^{-23}$	$2 \cdot 10^{-19}$	$2 \cdot 10^{-23}$	$0.8 \cdot 10^{-24}$	$2 \cdot 10^{-27}$	$2 \cdot 10^{-27}$	$2 \cdot 10^{-37}$
$\overline{\varphi^2}$ радиан ² /λ ²	$\frac{0.42}{\lambda^4}$	$1.1 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$1.4 \cdot 10^2$	0.28	$2.5 \cdot 10^{18}$	$2.5 \cdot 10^{14}$	$18 \cdot 10^{15}$

* — при наблюдении в сторону Солнца.

ний углового размера. Движение неоднородностей среды вызывает колебания угла прихода и следовательно „дрожание“ источника с периодом $t = \frac{r}{v}$, где v — скорость дви-

жения рассеивающих областей среды. При выполнении обратного соотношения $\sigma \gg \alpha$ пропадает корреляция в отклонениях, испытываемых различными лучами, приходящими в точку наблюдения, пучок лучей разойдется и наблюдатель увидит точечный источник расширенным до угловых размеров σ . Таким образом, предельная разрешающая сила радиотелескопов, предназначенных для измерения размеров источников, ограничена в области длин волн, где $\sigma > \alpha$, значением угла рассеяния $\theta \gg \sigma$. Для диапазонов, в которых $\sigma \ll \alpha$, когда может наблюдаться дрожание источников без изменения их размеров, разрешающая сила сплошных и многоэлементных антенных систем с размером D ограничена условием $D \ll r$ и следовательно $\theta \gg \frac{\lambda}{r}$. Дрожание источника приводит к кажущемуся расширению его размеров на величину порядка

$\Delta\theta \simeq \frac{\sigma\tau}{t}$, где τ — время регистрации ($\tau < t$). Это может ограничить предельную разрешающую силу $\theta > \Delta\theta$, если по условиям наблюдений нельзя сделать время усреднения $\tau \ll \theta \frac{t}{\sigma}$. Двухантенный интерферометр может иметь базу $D > r$, если каждая из его антенн имеет диаметр $d \ll r$.

При этом влияние колебаний угла прихода и дисперсии на кажущееся расширение размеров источников может быть практически исключено, если постоянная времени при регистрации $\tau' < \frac{t}{eV_{\varphi^2}}$, а относительная ширина принимае-

мой полосы частот $\frac{\Delta f}{f} < \frac{1}{V_{\varphi^2}}$.

Вычисленные значения α , σ/λ^2 и t даны в табл. 2.

Анализ таблицы показывает, что для тропосферы, ионосферы, межзвездной среды (в направлении галактического

Таблица 2

Среда	Тропосфера	Ионосфера	Межпланетная		Межзвездная		Метагалактика
			плоскость эклиптики	эклиптический полюс	галактическая плоскость	полюс Галактики	
$\alpha_{\text{рал.}}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$2.5 \cdot 10^{-2}$	10^{-5}	$2 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-3}$	10^{-6}
σ/λ^2	$3.5 \cdot 10^{-5}$	$7.5 \cdot 10^{-9}$	$4 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-11}$	$2 \cdot 10^{-12}$	10^{-15}
t сек.	3—5	25—50	50	50	очень велико		

полюса) и метагалактики σ значительно меньше углового размера неоднородности на всех волнах, используемых в радиоастрономии, и рассеяние на неоднородностях этих сред приведет только к изменению угла прихода. При рассеянии на неоднородностях межпланетной среды может происходить как явление рефракции, так и расширение источника. При наблюдении в плоскости эклиптики на волнах короче 16 см $\sigma \ll \alpha$ и будет наблюдаться лишь дрожание источника. Для волн $\lambda > 50$ см $\sigma > \alpha$ точечный источник расширится до угловых размеров $\sigma = 4 \cdot 10^{-8} \lambda^2$. В промежуточной области $16 < \lambda < 50$ см одновременно с дрожанием начнется расширение источника. При наблюдении в направлении эклиптического полюса расширения не будет вплоть до волн порядка 3 м, а на волнах длиннее 10 м точечный источник расширится до угловых размеров $\sigma = 2 \cdot 10^{-10} \lambda^2$. Влияние галактической среды на расширение точечного источника начнется лишь на дециметровых волнах.

Выводы

1. При достаточно узкой полосе принимаемых частот, чтобы можно было пренебречь дисперсией, предельная разрешающая сила сплошной или многоэлементной антенной системы для волн $\lambda > 50$ см ограничена условием $\theta > \frac{\lambda}{r_n} > \lambda \cdot 10^{-6}$, где r_n — радиус корреляции неоднородности воз-

мощенной ионосферы. В пределах $16 < \lambda < 50$ см, где проявляется увеличение размера источника, за счет рассеяния в межпланетном газе (в плоскости эклиптики) $\theta \geq \sigma \geq 4 \cdot 10^{-9} \lambda^2$, в диапазоне от 16 см до миллиметровых волн $\theta > \frac{\lambda}{r_{\text{мп}}} > \lambda \cdot 10^{-9}$;

$r_{\text{мп}}$ — радиус корреляции неоднородности межпланетной среды. В миллиметровом диапазоне ($\lambda < 0.2$ см) $\theta > \frac{\lambda}{r_{\text{тр}}} > 2 \cdot 10^{-4} \lambda$;

где $r_{\text{тр}}$ — радиус корреляции неоднородности тропосферы. Таким образом, наивысшей разрешающей способности $\theta > \lambda \cdot 10^{-9}$ радиан можно достичь в сантиметровом диапазоне.

2. Предельная разрешающая способность двухантенных интерферометров для волн $\lambda > 16$ см, при наблюдении в плоскости эклиптики и $\lambda > 300$ см в направлении эклиптического полюса, ограничена расширением источника за счет рассеяния в межпланетной среде, соответственно значениями $\theta > 4 \cdot 10^{-9} \lambda^2$ и $2 \cdot 10^{-10} \lambda^2$. Для волн короче соответственно 16 и 300 см размер базы двухантенного интерферометра практически неограничен, поскольку при относительной полосе частот $\frac{\Delta f}{f} < \frac{1}{V_{\varphi^2}}$ кажущееся расширение источника за счет дисперсии $\delta < \theta = \frac{\lambda}{D}$.

В заключение отметим, что все приведенные оценки носят ориентировочный характер ввиду недостаточности экспериментальных данных о неоднородности космической среды.

Постройка радиотелескопов высокой разрешающей силы может послужить не только для измерения размеров источников, но и для уточнения параметров ионосферы и межпланетной среды.

Авторы выражают благодарность Ю. Н. Парийскому за полезные советы и замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Chandrasekhar, Monthly Notices, 112, 475, 1952.
2. Д. М. Высоковский, Некоторые вопросы дальнего тропосферного распространения ультракоротких радиоволн. Изд. АН СССР, 1958.
3. А. Г. Аренберг, Распространение дециметровых и сантиметровых волн. Изд. "Советское радио", 1957.

4. Вопросы дальнего распространения УКВ. Связьиздат, 1959.
5. Дрейфы и неоднородности в ионосфере. Сборник статей, изд. АН СССР, 1959.
6. И. С. Шкловский, Физика солнечной короны. Изд. физ.-мат. лит., 1962.
7. D. E. Blackwell, Monthly Notices, 116, 1, 58, 1956.
8. J. C. Brandt, A model of the Interplanetary Medium, Berkeley Astr. Depart. University of Calif. Icarus, 1, 1, 1, 1962.
9. K. J. Gringauz, Intern. Conven. (Brit. IRE) on Radio Techniquis and Space Res. 5—9 July, 1961.
10. В. Л. Гинзбург, С. И. Сыроватский, Происхождение космических лучей. Изд. АН СССР, 1963.
11. С. А. Каплан, С. Б. Пикельнер, Межзвездная среда. Изд. физ.-мат. лит., 1963.
12. В. Л. Гинзбург и С. И. Сыроватский, Астрон. журн., 40, 466, 1963.

ДИСКУССИЯ

Г. М. Товмасян. Согласно приведенным В. А. Котельниковым формулам, вероятность обнаружения внеземной цивилизации зависит от количества используемых для поисков антенн. В расчетах была принята цифра 10, поскольку, действительно, трудно представить, что мы в ближайшее время сможем иметь в своем распоряжении, скажем, 100 антенн с площадью порядка 10^5 м^2 . Однако если построить не 10, а всего 5 кольцевых радиотелескопов и установить на каждой из них по 20 малых вторых зеркал, то можно уже на порядок увеличить вероятность обнаружения внеземной цивилизации.

В. А. Амбарцумян. Несколько замечаний о критерии искусственности. Конечно, с философской точки зрения следует согласиться с мыслью о том, что природа может повторить все то, что делают разумные существа. Однако обнаружение таких естественных сигналов, которые очень похожи на искусственные, было бы само по себе интересным. Оно, вероятно, говорило бы о наличии производящих их сложных естественных механизмов. Но ведь и цивилизация является естественным явлением, могущим производить такие сигналы. Поэтому, обнаруживая подобные сигналы, мы должны либо предполагать, что они исходят от ВЦ, либо же, что они исходят от какого-то сложного естественного механизма, похожего на цивилизацию. Поясню свою мысль следующим примером.

Если, спустившись на какую-нибудь планету, мы увидим там красивый легковой автомобиль, мы можем, конечно, допустить, что он произошел в результате какого-то естественного процесса. Но как только мы начнем думать о природе этого естественного процесса, то поневоле придем к выводу, что он должен быть очень похож на то, что называется технической цивилизацией.

Практически говоря, я считаю, что уже условия высокой монохроматичности (ширина полосы порядка одного герца) являются достаточными для признания искусственности сигналов. Достаточно к этому прибавить еще какой-либо простой признак, например, очень простую модуляцию частоты, чтобы уверенность была абсолютной. Поэтому нет затруднений в том, чтобы сделать очевидной искусственность сигналов.

Э. Г. Мирзабекян. Мне кажется, что распознавание искусственности сигнала не является проблемой. Что же касается информации, то позывные уже заключают в себе большую информацию: они дают знать о существовании цивилизации, посылающей их, а также то, что эта цивилизация настолько развита, что хочет установить с нами связь. (Ведь если меня окликнули на улице, это говорит о том, что меня увидел знакомый, что я почему-то нужен ему). Получение даже такой информации само по себе уже будет иметь очень большое научное и познавательное значение.

Э. Е. Хачикян. Я хочу выступить в пользу мнения о необходимости также и посылки сигналов, а не только одного приема.

Мы не знаем точно, на какой стадии развития находятся другие цивилизации во Вселенной. И если мы не решим также и посылать сигналы, то поиски сигналов от других цивилизаций могут оказаться бесплодными. Ведь если и все другие цивилизации будут считать себя цивилизациями низшего порядка и будут только искать сигналы, предполагая, что существуют более развитые цивилизации, посылающие их, то, следовательно, искать будет нечего. Поэтому мы, так же как и другие цивилизации, обязательно должны подумать и о посылке сигналов, если мы намерены установить связь с внеземными цивилизациями.

П. М. Геруни. Вопрос о выборе типа антенны для связи с внеземными цивилизациями здесь, конечно, обсуждаться не будет.

Однако, поскольку в выступлении С. Э. Хайкина был сделан однозначный вывод об АПП, как о наилучшей системе, и выступление Г. М. Товмасяна было целиком посвящено двухзеркальной сферической антенне кольцевого типа, я позволю

себе упомянуть о большой двухзеркальной антенне (БДА), которая в перспективе также может быть применена для решения задачи о связи с внеземными цивилизациями.

И. С. Шкловский. Передача информации другим цивилизациям—вполне понятное и оправданное мероприятие. На Нью-Йоркской выставке в специальных контейнерах были закопаны материалы, содержащие определенную информацию о технике сегодняшнего дня и предназначенные для наших далеких потомков. Передача информации внеземным цивилизациям принципиально ничем не отличается от этого. Вся разница только в стоимости.

Б. Е. Хайкин. 1) С помощью современных кибернетических машин вполне возможно распознавание искусственного сигнала и его расшифровка.

2) При рассмотрении проблемы установления связи между внеземными цивилизациями следует обратить внимание и на возможность посылки сигналов не только с помощью радиоволн, но также и телеметрической передачи, передачи с помощью гравитационных волн, а возможно, и другими средствами.

Д. Я. Мартынов. После доклада В. А. Котельникова, давшего очень оптимистическую трактовку вопроса связи даже с отдаленными цивилизациями, мы можем позволить себе роскошь работать не в тех предельных условиях, которые он брал, а в более мягких, т. е. с большим временем накопления, находить более достоверные сигналы и расшифровывать их с большей степенью уверенности, если ограничить себя близкими расстояниями, например, $100 \text{ пс} = 300 \text{ св. лет}$, так как и внутри такой сферы астрономы могут указать добрую сотню потенциальных собеседников.

Следует начать с реализации малых планов, а затем—постигнет или не постигнет нас неудача—лет через 10 выйти с более совершенными средствами в новую сферу радиусом, скажем, 1000 св. лет .

Что касается отличия искусственных сигналов от естественных, то ни один из называвшихся здесь критериев не является достаточным. Но, например, регулярная повторяемость сигналов по сложной программе в сочетании с точечны-

ми размерами их, с монохроматичностью и, наконец, круговой поляризацией будет давать надежную гарантию искусственности. Здесь возникал вопрос о том, не отличаются ли «там» представления о времени и единице времени от наших столь коренным образом, что повторяемость сигналов будет происходить совсем не с той частотой, с какой мы ожидаем? Такой опасности на самом деле нет, так как частота посылаемых сигналов уже устанавливает шкалу времени по правилу $\Delta f \times \tau \approx 1$.

Счастливым образом частоты 10^9 — 10^{10} — 10^{11} гц, где шумы наименьшие, являются вместе с тем и частотами, легко проникающими через ионосферу планет, не слишком далеко отстоящих от своего Солнца, если оно не сильно отличается от нашего. Во всяком случае, боясь встретиться с ионосферами, более плотными, чем наша, следует избегать увеличения длин волн больше нескольких дециметров.

Я тоже против шумовых спектров, но считаю, что очень узкая монохроматичность будет способствовать утере пойманного сигнала вследствие его смещения по Доплеру-Физо. В частности, сигнал от нас в указанном диапазоне частот будет гулять около основной частоты на $\pm 1 \text{ мгц}$ только вследствие орбитального движения Земли. При поиске очень узкого сигнала (например, 1 гц) сигнал может быть пропущен, а сигнал шириной $\pm 1 \text{ мгц}$ не будет ни пропущен, ни утерян из-за доплеровского сдвига. Вопрос в том, возможно ли внести в такую полосу достаточно много энергии. На этот вопрос ответят специалисты.

Из изучения закономерного изменения частоты сигнала принявшая его цивилизация узнает очень много о планете, пославшей его, подобно тому, как в оптическом диапазоне изучение сдвигов спектральных линий приводит к определению орбиты спектрально-двойной звезды и суммарной массы системы. Тонкий анализ сигнала позволит определить период вращения планеты и ее минимальные размеры.

И. С. Шкловский. Следует иметь в виду, что сама по себе монохроматичность еще не является критерием искусственности. Например, мощные всплески радиоизлучения на Юпитере очень монохроматичны и, благодаря вращению его вокруг оси, периодичны. Всплески, сопровождающие шумовые бури

на Солнце, также довольно монохроматичны. Вообще можно у отдельных космических объектов ожидать довольно мощное монохроматическое излучение в области гирочастоты. Около ближайших звезд могут быть, например, большие планеты или так называемые «невидимые спутники», которые дают почти монохроматические всплески, на много порядков более мощные, чем Юпитер.

Е. Я. Богуславский. Исходя из требования оптимальной фильтрации сигнала и предельной чувствительности, необходимо осреднение производить до детектирования. Отсюда ясно, что чем шире спектр сигнала, тем больше нужно сведений для его фильтрации. И соответственно, чем уже спектр сигнала, тем меньше можно знать о методе его кодирования для его выделения на фоне шумов. Если другие цивилизации также понимают все это, то разумно искать монохроматический сигнал, посылаемый ими.

Б. В. Кукаркин. Очень хорошо быть оптимистом, но вместе с тем необходимо быть и скептиком.

Периодичность сигналов не может служить однозначным свидетельством их искусственного происхождения. В природе мы знаем много периодических процессов, носящих далеко не чисто механический характер. Общеизвестно, например, что цефеиды в течение многих десятилетий с высокой точностью сохраняют период пульсации. В настоящее время уже известны цефеиды с периодами всего 80 минут. Вероятно, имеются цефеиды с еще более короткими периодами. Современная методика обнаружения переменных звезд не способствует открытию объектов с очень короткими периодами. Мы пока не знаем, сопровождаются ли колебания блеска цефеид какими-либо всплесками в диапазоне радиочастот. Это весьма вероятно, поскольку на середине восходящей ветви кривой блеска цефеид мы имеем кратковременное вырождение звуковой волны в ударную.

Существуют и более разительные примеры периодичности изменений в оптическом диапазоне. Так, «бывшие» новые звезды характеризуются незначительными, но строго периодическими колебаниями блеска с периодами в несколько десятков секунд. И опять-таки мы не знаем пока, что происходит с этими звездами в диапазоне радиочастот.

Все эти примеры приводятся лишь с единственной целью предостеречь от увлечения периодичностью, поскольку периодические изменения физических характеристик весьма характерны для космических тел.

В. И. Слыш. Судя по многим выступлениям, много надежд возлагается на монохроматичность сигнала от внеземных цивилизаций. Однако трудно согласиться с мыслью, что высокоразвитые цивилизации II и III типа будут посылать лишь монохроматические позывные. Очевидно, они должны будут стремиться давать возможно большую информацию, для чего понадобится, конечно, расширять спектр.

Затем хотелось бы подчеркнуть точечность источника, как одного из основных критериев распознавания его искусственности.

В. С. Троицкий. Я хотел бы отметить, прежде всего, что проблема поиска сигналов других цивилизаций, к сожалению, совсем не совпадает по технике с радиоастрономическими исследованиями. Для экспериментальных исследований проблемы существования других цивилизаций необходимо применение очень узкополосных спектроанализаторов высокой чувствительности. Для радиоастрономии, наоборот, нужны широкополосные приемные системы. Конечно, это справедливо, если считать, что наиболее вероятным сигналом должен быть монохроматический сигнал. Были высказывания, что якобы выгоднее посылать шумовой сигнал, так как при этом облегчается поиск по диапазону. Но следует иметь в виду, что при передаче с одинаковой полной мощностью в широкой полосе или очень узкой (свойственной, например, современным квантовым или кварцевым генераторам) наибольшее отношение сигнала к шуму в приемнике может быть достигнуто при приеме синусоидального сигнала. Действительно, при условии приема всего спектра излучаемых частот в случае синусоидального сигнала полоса приемника может быть сделана во столько раз уже, во сколько ширина спектра шумовой передачи больше ширины спектра «монохроматической» передачи. Это приводит, как известно, к уменьшению собственного шума при приеме синусоидального сигнала во столько же раз. При этом полезный сигнал в обоих случаях остается неизменным, так как мощности передатчика одинаковы.

Таким образом, отношение сигнал/шум и дальность при передаче с одной и той же полной мощностью будет максимальным при синусоидальном сигнале.

В. Д. Котельников. Мне кажется, что неправильно, как это предлагается в докладе С. Э. Хайкина, сводить радиоастрономические исследования к поискам внеземных цивилизаций. Для последнего, очевидно, нужны специально поставленные и продуманные наблюдения.

Требование большой монохроматичности посылаемого сигнала, по-видимому, неправильно. Ведь если излучение производится в очень узкой полосе, то с помощью обычного радиометра его нельзя будет обнаружить. Что же касается сигнала в очень широкой полосе, отождествляемого с шумовым сигналом, то понятно, что если мы знаем характер этого шума, то можем его обнаружить, так же как и монохроматический сигнал. Если же характер шумового сигнала неизвестен, то необходимы большие мощности. Поэтому нешумовые сигналы лучше. Нужно обратить внимание и на то обстоятельство, что при приеме сигнала с узкой полосой труднее потерять заложенную в нее информацию. И, конечно, точнее можно измерить доплеровские сдвиги.

Здесь много говорилось о критериях искусственности сигналов с тем, чтобы по ним можно было однозначно разделить искусственные сигналы от естественных. Однако сейчас, по-видимому, очень трудно все сформулировать и все предусмотреть. Для этого нужны дополнительные исследования.

Что же касается изотропного или направленного излучения, то мне кажется, что направленное излучение со сканированием целесообразнее.

Касаясь вопроса посылки позывных, я хотел бы заметить, что, очевидно, посылать позывные необходимо. Ведь при этом значительно облегчается задача обнаружения цивилизации, посылающей позывные. Очевидно, вслед за позывными необходимо передавать всю информацию, не дожидаясь обратного сигнала от возможного абонента.

В заключение хотелось бы обратить внимание на то, чтобы подумать о привлечении наряду с радиоастрономическими также и астрономических средств для обнаружения внеземных цивилизаций и установления с ними связи.

ПРОБЛЕМА КОСМИЧЕСКОЙ ЛИНГВИСТИКИ

О ВОЗМОЖНЫХ ЯЗЫКАХ ДЛЯ СВЯЗИ МЕЖДУ РАЗЛИЧНЫМИ ЦИВИЛИЗАЦИЯМИ

(тезисы доклада)

А. В. ГЛАДКИЙ

Институт математики, Сибирское отделение АН СССР, Новосибирск

1. Прежде всего следует рассмотреть вопрос о возможном содержании сообщений, поступающих от других цивилизаций. Естественно предположить, что такое сообщение будет содержать изложение какой-то части системы знаний отправителя. Поэтому кажется заманчивым начинать расшифровку с наиболее элементарных разделов этой системы. Следует, однако, считаться с тем, что системы знаний различных цивилизаций не обязательно должны быть сходными, и даже элементарные части их могут сильно различаться. А priori не исключено, например, существование высокоразвитой цивилизации, которая либо имеет математику, существенно отличающуюся от нашей уже первоначальными понятиями, либо вовсе обходится без математики.

Нужно заметить, что такого рода допущения не обязательно должны связываться с пессимистическими выводами относительно возможности расшифровки.

2. О структуре языков, на которых могут быть составлены сообщения от внеземных цивилизаций, в настоящее время ничего сказать нельзя. Но если иметь в виду языки, специально предназначенные для общения с другими цивилизациями, то возможен следующий косвенный подход к этому вопросу: посмотреть, как бы мы сами стали разрабатывать язык для этой цели. Одна попытка создания такого языка широко известна—Lincos Фройденталя. Этот язык, по словам его автора, предназначен для общения с существами, «в умственном от-

ношении похожими на людей»; навряд ли он пригоден для случая, когда характер мышления и система понятий получателя сколько-нибудь существенно отличаются от наших.

Анализ языка Lincos, являющегося, как говорит Фрейденталь, «умеренно формализованным», позволяет высказать предположение, что язык для связи с внеземными цивилизациями должен быть как можно более полно формализованным, т. е. обладать как можно более четкой синтаксической структурой. При этом явное описание синтаксической структуры языка желательно включить в сообщение; возможно, что именно с этого описания получателю окажется удобнее всего начинать расшифровку. Это предположение основано на том, что пользование языками—наиболее вероятная общая черта цивилизаций, способных к взаимному общению.

Возможны, конечно, и иные подходы—скажем, сообщение в первую очередь не понятий, а образов.

3. В заключение необходимо подчеркнуть, что целям «лингвистической подготовки» к возможному общению с внеземными цивилизациями в настоящее время может наилучшим образом служить не создание особой «космической лингвистики», а разработка общей теории языка, возникшей и развивающейся независимо от проблемы внеземных цивилизаций.

В. А. Амбарцумян. Следует подчеркнуть, что из заслушанного доклада явствует не только необходимость разработки проблем кода языка, но также и проблемы обучения. Это вопросы педагогики, но современной педагогике, к сожалению, у нас уделяется недостаточное внимание.

РЕШЕНИЕ ВСЕСОЮЗНОГО СОВЕЩАНИЯ ПО ПРОБЛЕМЕ «ВНЕЗЕМНЫЕ ЦИВИЛИЗАЦИИ» (БЮРАКАН, 20—23 МАЯ 1964 г.)

1. Проблема существования и развития разумной жизни во Вселенной имеет огромное научное и мировоззренческое значение. Материалистическая философия прочно стоит на позициях отрицания антропоцентризма. Данные современной науки позволяют обосновать этот вывод, однако мы еще не располагаем достоверными естественнонаучными доказательствами существования инопланетных цивилизаций на конкретных небесных телах.

Установление контактов с внеземными цивилизациями имело бы важнейшее значение для естествознания, философии и общественной практики человечества. До последнего времени эта задача была технически невыполнима. Однако в настоящее время имеются реальные предпосылки для постановки исследований и опытов по установлению связи с технически развитыми внеземными цивилизациями с помощью электромагнитных волн.

Для обеспечения максимальной дальности и максимальной информативности связи наиболее выгодным диапазоном для связи между цивилизациями является диапазон 10^9 — 10^{11} герц (область сантиметровых и дециметровых радиоволн).

Современные радиотехнические средства позволяют регистрировать сигналы, посланные с межзвездных расстояний. С другой стороны, быстрое развитие кибернетики дает средства для изучения общих закономерностей передачи и приема информации от внеземных цивилизаций, для объективного анализа кодированных сигналов и разработки вопросов космической лингвистики.

Быстрый рост научной литературы по различным аспек-

там проблемы внеземных цивилизаций, вовлечение все большего числа специалистов в разработку этой проблемы, наконец, первые практические шаги, предпринятые в США для поиска сигналов от внеземных цивилизаций,—все это указывает на то, что проблема установления связи с внеземными цивилизациями является вполне назревшей и актуальной научной проблемой.

2. Из вышеизложенного вытекает необходимость планомерного экспериментального и теоретического исследования этой проблемы. Программа научных исследований по проблеме установления связи с внеземными цивилизациями должна обеспечивать всестороннее комплексное изучение этой проблемы.

А. Экспериментальные работы по поиску внеземных цивилизаций должны вестись в двух основных направлениях:

а) планомерный и систематический поиск искусственных сигналов от объектов в радиусе приблизительно 1000 световых лет, включая посылку сигналов вероятным корреспондентам;

б) поиск сигналов от существенно более развитых цивилизаций путем детального исследования дискретных источников космического радиоизлучения, подозреваемых в качестве искусственных.

Для обеспечения этих работ целесообразно уже сейчас создание с помощью существующих антенн радиоинтерферометров с большими базами, порядка 10^6 — 10^7 длин волн, в сантиметровом диапазоне.

Б. Необходимо всемерно развивать оптические исследования, способствующие решению данной проблемы (работы по планетной и звездной космогонии, по обнаружению планетных систем, отождествлению радиоисточников, постановка специальных внеатмосферных исследований).

В. Наряду с этим должны проводиться исследования в смежных направлениях:

а) теоретические исследования статистических свойств искусственного сигнала (разработка критериев искусственного сигнала, разработка методики выявления искусственных сигналов на основе анализа статистических свойств сигнала и

применение этой методики к исследованию заподозренных источников);

б) разработка методов установления связи и вопросов космической лингвистики на основе общей теории языка и в особенности общей теории расшифровки, а также на основе теории обучения.

3. Для выполнения программы исследований и разработки отдельных вопросов желательно создать в ряде научных учреждений и организаций (ГАИШ, ГАО АН СССР, Бюро-канская обсерватория АН Армянской ССР, НИРФИ, ИРЭ, п. я. 2427, Сибирское отделение АН СССР, механико-математический факультет МГУ и др.) специальные секторы или группы по разработке отдельных задач рассматриваемой проблемы.

4. Для координации научно-исследовательских работ различных организаций и учреждений в области межзвездных связей просить Астросовет и Совет по радиоастрономии АН СССР создать специальный координирующий и планирующий орган—«Комиссию по межзвездным связям» при этих советах, поручив ей:

а) опираясь на работу групп в организациях и учреждениях разработать к следующему совещанию программу поиска искусственных сигналов, с учетом возможного международного разделения труда, основываясь на всей имеющейся информации, полученной путем оптических и радионаблюдений;

б) разработать в течение 1964—1965 гг. с учетом заслушанных на настоящем Совещании предложений согласованный проект материально-технического обеспечения исследований по проблеме «межзвездной связи», включающий строительство соответствующих радиотелескопов, а также приемной и анализирующей аппаратуры. Состав членов бюро комиссии по межзвездным связям, рекомендованный совещанием, приводится в приложении.

5. Считать целесообразным созвать следующее совещание по проблеме внеземных цивилизаций и межзвездной связи в 1965 г.

6. Просить Академию наук Армянской ССР издать труды настоящего совещания отдельным изданием.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Состав бюро комиссии по межзвездным связям,
рекомендованный Бюраканским совещанием

1. И. С. Шкловский — ГАИШ, МГУ.
2. В. С. Троицкий — НИРФИ, Горький.
3. Г. М. Товмасян — Бюраканская обсерватория, АН АрмССР.
4. Ю. П. Парийский — ГАО АН СССР.
5. Н. С. Кардашев — ГАИШ, МГУ.
6. Л. М. Гиндилис — ГАИШ, МГУ.
7. Б. Н. Пановкин — Совет по радиоастрономии АН СССР.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	5
В. А. Амбарцумян. Вступительное слово	7

Проблема внеземных цивилизаций

И. С. Шкловский. Множественность обитаемых миров и проблема установления контактов между ними	15
Дискуссия	29

Проблема связи с внеземными цивилизациями

Н. С. Кардашев. Передача информации внеземными цивилизациями	
Ю. Н. Парийский. Наблюдение пекулярных радиоисточников СТА-21 и СТА-102 в Пулкове	54
В. И. Слыш. Радиоастрономические критерии искусственных радио- источников	61
Л. И. Гудзенко, Б. Н. Пановкин. К вопросу о приеме сигналов внеземной цивилизации	68
Дискуссия	72
С. Э. Хайкин. О проблеме связи с внеземными цивилизациями . .	83
Г. М. Товмасян. Кольцевой радиотелескоп для установления связи с внеземными цивилизациями	95
В. С. Троицкий. Некоторые соображения о поисках разумных сигналов из Вселенной	97
В. А. Котельников. Связь с внеземными цивилизациями в радио- диапазоне	113
В. И. Сифоров. Некоторые вопросы поиска и анализа радиоизлу- чений от других цивилизаций	121
Н. А. Смирнова, Н. Л. Кайдановский. Влияние условий распро- странения радиоволн в космической среде и атмосфера Зем- ли на видимые угловые размеры источника	129
Дискуссия	136

Проблема космической лингвистики

А. В. Гладкий. О возможных языках для связи между различными цивилизациями (тезисы доклада)	145
Решение совещания	147
Приложение	150

*Печатается по рекомендации ученого совета Бюраканской
обсерватории Академии наук Армянской ССР*

ПОПРАВКА

На стр. 106, в графе 4, строку 7 читать $2 \cdot 10^8$

Отв. редактор Г. М. Товмасян
Редактор издательства В. Б. Андреасян
Худож. оформление К. К. Кафадаряна
Технич. редактор Л. А. Азизбемян
Корректор Г. М. Аветисян

ВФ 06614. Заказ 12. Изд. № 2485. РИСО 936. Тираж 3000
Сдано в производство 6/I 1965 г. Подписано к печати 26/V 1965 г.
Печ. л. 9,5, изд. л. 7,3. Бумага $60 \times 92 \frac{1}{16}$. Цена 66 к.

Типография Издательства Академии наук Армянской ССР,
Ереван, Барекамутян, 24