

В. БОРИСОВ

РАДИОЭХО В КОСМОСЕ



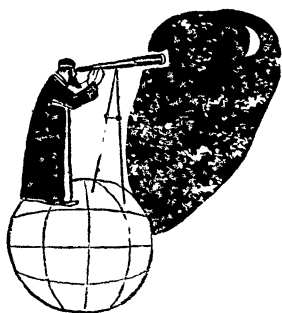
6

Х СЕРИЯ • МОЛОДЕЖНАЯ • 1963

В. БОРИСОВ

РАДИОЭХО В КОСМОСЕ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»
Всесоюзного общества по распространению
политических и научных знаний
Москва 1963



Введение

Радиоэлектроника — эта молодая отрасль науки — играет значительную роль в жизни нашего общества.

Телевизоры, в которые можно увидеть события на расстоянии в несколько тысяч километров; карманные радиоприемники размером с пачку сигарет; огромные электронные машины, управляющие автоматическими линиями и целыми заводами, переводящие книги, направляющие полет космических кораблей, — все это дала миру радиоэлектроника.

У нее необычайно щедрый характер. С самого начала своего появления на свет она стала отдавать свои достижения другим отраслям науки. Кибернетика в ее современном виде своему рождению во многом обязана радиоэлектронике. Подавляющее большинство современных экспериментов в ядерной физике, физике твердого тела оказалось возможным поставить только с использованием радиоэлектронной аппаратуры. Тончайшие опыты в биофизике были проведены исключительно благодаря достижениям электроники. Список «благодетей» радиоэлектроники можно продолжать практически бесконечно.

Одна из характерных черт этой науки состоит в том, что она непрерывно и необычайно интенсивно развивается. Каждый год исследователи находят новые принципы работы электронных приборов, осваивают новые диапазоны длин волн, создают более мощные генераторы, более чувствительные приемники, ставят новые опыты, такие, осуществление которых совсем недавно казалось невозможным. Успехи радиоэлектроники позволили поставить и первый эксперимент в космосе — радиолокацию космического объекта.

Первая радиолокация космического тела — Луны — была осуществлена через несколько лет после окончания второй мировой войны американскими радиофизиками. Они использовали для этого немного измененную локационную аппара-

туру, применявшуюся раньше лишь в военных целях, несколько увеличили мощность передатчика, а при переделке приемника учли, что время движения радиосигнала от Земли до Луны и обратно значительно больше, чем от Земли до самолета, и составляет около 2 секунд.

Примерно через десять лет после радиолокации Луны были проведены опыты по радиолокации Венеры, Солнца и Меркурия. Эти опыты уже ставили не ограниченную физическую задачу наблюдения отраженного сигнала и изучения его состава. В связи с радиолокацией Венеры была поставлена и успешно решена задача по определению так называемой астрономической единицы, точное знание которой было необходимо для расчета траекторий космических кораблей.

Основное преимущество радиолокационных исследований состоит в том, что целый ряд космических экспериментов может быть проведен с поверхности Земли. Эти исследования дают возможность получить научную информацию о космическом объекте, находящемся на огромном расстоянии от Земли. Так, при весьма малых относительных затратах можно определить расстояние от Земли до объекта, скорость движения объекта по орбите, а также скорость его вращения. По величине отражения сигнала могут быть сделаны некоторые заключения о характере поверхности объекта и веществе, из которого она состоит.

В брошюре рассказано о радиолокации Венеры, о тех опытах в космосе, которые возможны в будущем, а также затронуты некоторые смежные вопросы.



РАДИОЛОКАЦИЯ ВЕНЕРЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ЕДИНИЦЫ

Для того чтобы рассчитать орбиту космического корабля или автоматической станции, посылаемых с Земли в околосолнечное пространство, необходимо очень точно знать траекторию той «платформы», с которой производится запуск, то есть траекторию Земли. А так как эта траектория близка к круговой, то по существу надо знать только одно значение: величину радиуса окружности, по которой наша планета движется вокруг Солнца. Эта величина называется астрономической единицей. Все остальные «габариты» солнечной системы, а также расстояния до других звезд астрономы обычно отсчитывают, исходя из нее.

Ранее ученым удалось измерить астрономическую единицу довольно грубо. По измерениям разных авторов ее величина лежала где-то между 149 400 тыс. км и 149 700 тыс. км. Иными словами, ученые могли ручаться только за три первых цифры в величине астрономической единицы.

Теперь представим себе, что мы отправляем автоматическую межпланетную станцию (АМС), например, на Марс и знаем положение Марса в моменты наибольшего сближения с АМС с точностью лишь до третьего знака. Это значит, что при среднем расстоянии от Земли до Марса в 100 млн. км ошибка могла быть около 300 тыс. км, то есть фотографирование Марса пришлось бы в наихудшем случае производить примерно с расстояния, равного расстоянию между Землей и Луной.

Следовательно, для космонавтики очень важно было определить более точное значение величины астрономической единицы. Оказалось, что это можно сделать, измеряя радиолокационным способом расстояния между Землей и Венерой — нашей ближайшей соседкой в солнечной системе. С какой точ-

ностью удалось бы измерить это расстояние, с такой же и была бы определена астрономическая единица.

Как известно, радиолокационный способ измерения расстояния до некоторого объекта состоит в измерении времени, в течение которого импульс коротких электромагнитных волн распространяется от радиолокатора к объекту и обратно. Зная время и скорость распространения электромагнитных волн (скорость света), можно рассчитать и расстояние. Скорость света в вакууме сейчас измерена очень точно: согласно последним измерениям она равна $299\,792,5$ км/сек.

Радиолокация Венеры производилась независимо учеными Советского Союза, США и Англии в 1958, 1959 и 1961 годах. Это был грандиозный эксперимент с использованием всех достижений современной радиоэлектроники. Ученым удалось установить, что среднее расстояние от Земли до Солнца (точнее от центра масс системы Земля — Луна) равно $149\,599\,300$ км с наибольшей ошибкой в 2 тыс. км. Иными словами, точность прежнего измерения астрономов была превышена в 1000 раз!

Что же представляли собой радиолокаторы, которые смогли принять слабый сигнал, отраженный от поверхности планеты, находившейся от Земли во время измерения на расстоянии более 40 млн. км?

Первые радиолокаторы могли зарегистрировать сигнал, отраженный от самолета, находившегося на расстоянии 200—250 км. Теперь же нужно было обнаружить сигнал, пришедший с расстояния 40 млн. км. Радиолокационный сигнал по величине мощности ослабевает с увеличением расстояния между локатором и целью обратно пропорционально расстоянию в четвертой степени. Это означает, что если расстояние до цели увеличить вдвое, то мощность отраженного сигнала уменьшается в 16 раз. Поэтому увеличение расстояния от 200 км до 40 млн. км при тех же размерах отражающей цели должно ослабить сигнал, который предстоит уловить приемнику, в $1,6 \cdot 10^{20}$ раз (в сто шестьдесят миллиардов миллиардов раз).

Правда, планета Венера — не маленький самолет, эффективная отражающая поверхность которого равна 10—20 квадратным метрам. Поверхность Венеры (ее радиус 6100 км), которая могла заметно отражать сигнал, составляет около 10^{13} квадратных километров. А это примерно 1/10 видимой части Венеры. Таким образом, за счет больших размеров цели задача облегчалась в 10^{12} раз, то есть сигнал, пришедший от Венеры, был относительно меньше, чем сигнал, отраженный от самолета, находившегося на расстоянии в 200 км, всего (!) в 10^8 раз (в сто миллионов раз). Причем отметим, что в таком оценочном расчете было предположено, что коэффициенты отражения Венеры и самолета примерно одинаковы. По-видимому, дело обстоит еще хуже, так как трудно предположить,

что поверхность Венеры покрыта хорошо отражающим электромагнитные волны металлическим покрытием. Значит, радиофизикам нужно было поднять «эффективность» радиолокатора в 10^8 — 10^9 раз.

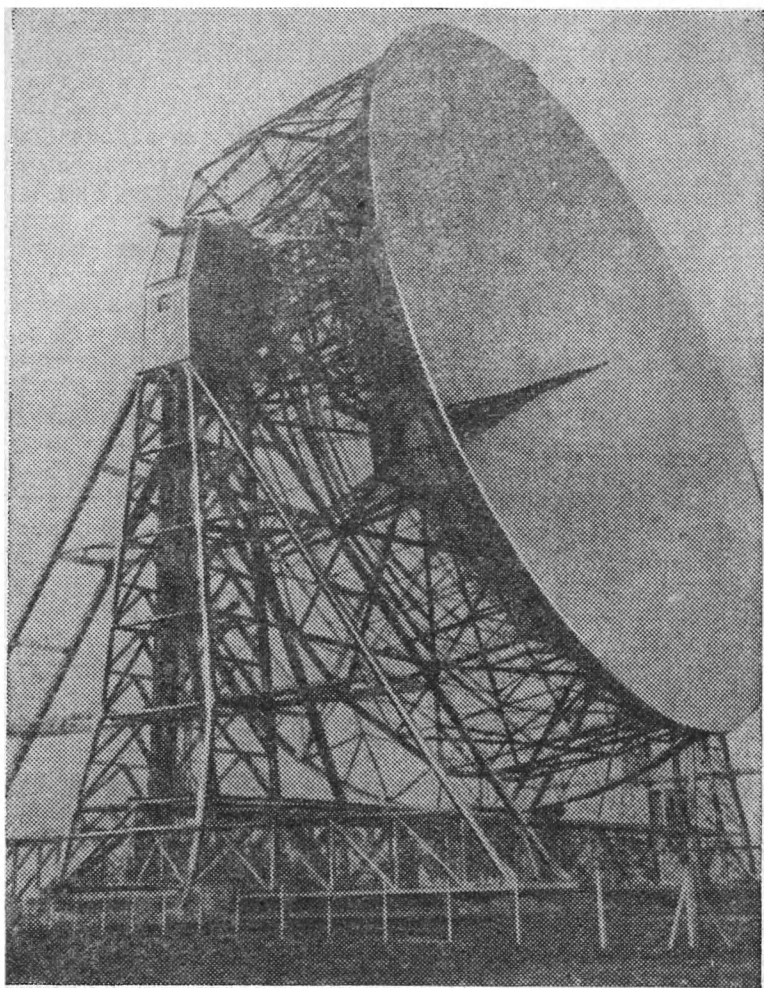
Прежде чем рассказать, каким образом эта задача была решена, попытаемся ответить на вопрос, какую минимальную энергию должен иметь отраженный сигнал, дошедший до Земли, чтобы его можно было обнаружить. Физикам давно известно: для надежного, достоверного обнаружения какого-либо эффекта необходимо, чтобы энергия, которая выделится или поглотится при таком эффекте, была бы больше некоторой определенной величины. Грубо говоря, если речь идет об эксперименте в лабораторных земных условиях, величина такой минимально обнаружимой доли энергии примерно в 10—100 раз больше средней кинетической энергии одной молекулы воздуха. Этой энергии было бы вполне достаточно, чтобы вблизи поверхности Земли поднять песчинку средних размеров на высоту в одну стомиллионную сантиметра. Если энергия отыскиваемого эффекта меньше, то достоверно его обнаружить очень трудно, эффект будет «забит», заглушен тепловыми толчками молекул или, как чаще говорят, сигнал будет ниже уровня шумов.

При приеме электромагнитных волн так же, как и в экспериментах в лаборатории, есть такая пороговая величина энергии. Эта величина зависит от того, в каком диапазоне длин волн происходит передача малых порций излучения, и особенно — в каком направлении. Источники электромагнитного излучения с длинами волн в несколько сантиметров, находящиеся в космосе, обнаружить легче примерно в 100—200 раз, чем источники, находящиеся в земных условиях, где уровень шумов выше.

Теперь вернемся к задаче, которая стояла перед радиофизиками, создавшими локатор для посылки и надежного приема сигнала, отраженного от Венеры. Как мы видели, наши физики находились в положении в миллиард раз более тяжелом, чем создатели радиолокаторов времен второй мировой войны. А для достоверного обнаружения отраженного сигнала порция энергии оставалась по существу той же.

Первый и самый естественный способ увеличения мощности отраженного сигнала — увеличить мощность передатчика. Мощность передатчика, использовавшегося советскими радиофизиками из Института радиотехники и электроники АН СССР в 1961 году, составляла 250 млн. вт на единицу телесного угла. Это примерно в 1000 раз больше, чем у наиболее мощных радиолокаторов, использовавшихся во время второй мировой войны.

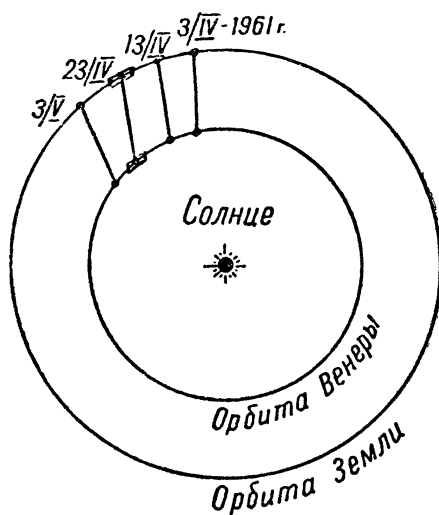
Второй способ увеличения отраженного сигнала, который попадет на вход приемника, — увеличить площадь приемной



Большой радиотелескоп в Джодрел Бэнк (Англия).

антенны. Площадь обычной локационной антенны равна 10—15 м². Увеличивая ее до 400—600 м², можно, сохранив при этом качество поверхности антенны, увеличить энергию, попадающую на вход приемника, примерно в 100 раз. Представление о том, как выглядит такая антенна, можно получить по рисунку. На нем изображена антенна большого радиотелескопа в Джодрел Бэнк (Англия), которая была использована английскими радиофизиками в 1961 году при радиолокации Венеры. Диаметр телескопа составляет 75 м.

Увеличение мощности передатчика и площади антенны облегчает, как мы видим, задачу в сто тысяч раз. Это значит, что радиофизикам предстояло «увеличить» каким-то образом отраженный сигнал еще по крайней мере в сто тысяч раз, — тогда обычный радиолокационный приемник смог бы его заметить.



Положение Земли и Венеры во время радиолокации, проведенной советскими радиофизиками (Институт радиотехники и электроники АН СССР).

Но нужно сказать, что военный радиолокатор, задача которого состоит в обнаружении самолета или ракеты, и радиолокатор, ловящий сигнал, отраженный от Венеры, находятся в разных условиях. Действительно, военный радиолокатор должен «поймать» цель, учитывая современные скорости, за доли минуты, в то время как Венера длительное время находится «почти» на одном и том же месте. Это обстоятельство и было в полной мере использовано: радиолокаторы работали сеансами длительностью около 5 минут, измерения повторялись несколько дней подряд (около 10 сеансов в день). На рисунке показано взаимное расположение Венеры и Земли во время работы советских радиофизиков. Длительная работа радиолокатора и позволила «накопить» энергию отраженного сигнала до величины значительно большей порогового значения.

Мы не будем приводить подробности этого сложного эксперимента, выполнение которого было под силу только большому коллективу радиофизиков в стране с высоким уровнем развития электроники и радиофизики. Отметим лишь, что измерения, проводившиеся независимо учеными СССР, США и Англии, дали почти совпадающие значения астрономической единицы. Точность ее определения, достигнутая в США, немного выше, точность у английских радиофизиков в четыре раза ниже, чем у советских радиофизиков. Однако американские физики не полностью учитывали ошибки, связанные с неточным знанием радиуса Венеры, и ошибки, связанные с неточным знанием поправок к траектории ее движения.

В заключение приведем некоторые цифровые данные, характеризующие этот космический эксперимент: мощность сигнала от советского передатчика, попадавшего на всю видимую поверхность Венеры, составляла около 15 *вт* (мощность небольшой электрической лампочки). Приемник у радиофизиков из Института радиотехники и электроники АН СССР мог в течение 5 минут обнаружить сигнал мощностью 10^{-23} *вт* на квадратный метр площади антенны.



СКОЛЬКО ВРЕМЕНИ? ДАЮТСЯ СУТКИ НА ВЕНЕРЕ?

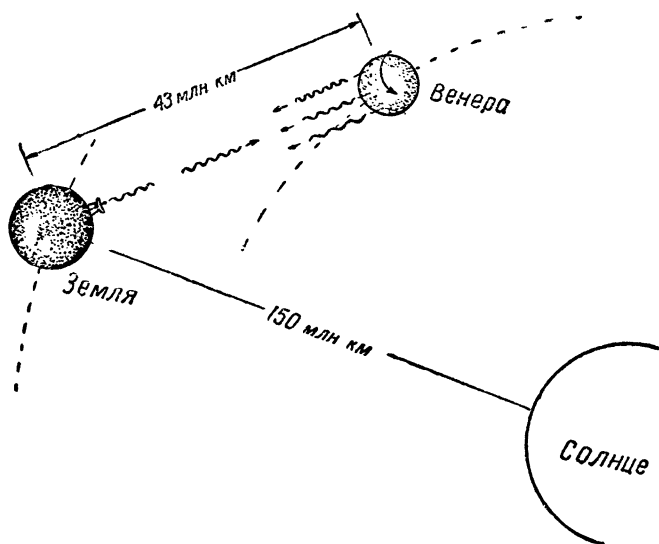
Второй вопрос, на который была сделана попытка дать ответ во время радиолокации Венеры, состоял в следующем: нельзя ли, анализируя отраженный сигнал, определить, с какой скоростью вращается Венера?

Венера окружена густой атмосферой, которая не позволяет обычными оптическими приборами разглядеть ее вращение, как это удалось сделать, наблюдая Марс. Если атмосфера Венеры не слишком отличается от земной, то относительно длинные (по сравнению с оптическими) электромагнитные волны пройдут через атмосферу Венеры, отразятся от ее поверхности и принесут на Землю информацию о скорости движения этой планеты.

Прежде чем описать, как был проведен этот эксперимент, напомним об одном физическом эффекте, носящем название эффекта Доплера. Было установлено: если источник излучения движется, то наблюдатель регистрирует частоту излучения отличную от той, которая излучается. При движении источника на наблюдателя частота выше, при движении от наблюдателя — ниже. Этот эффект имеет место при излучении и звуковых и электромагнитных волн. Сдвиг частоты тем больше, чем больше скорость движения источника. Скорость движения источника при этом нужно сравнивать со скоростью распространения излучения. Для звуковых волн — это скорость звука, для электромагнитных — скорость света.

При наблюдении сигнала, отраженного от движущегося космического объекта, тоже проявляется эффект Доплера. Поэтому при радиолокации Венеры учитывалось и вращение Земли и скорость изменения расстояний между Землей и Венерой. В радиотехническом отношении это означало: если передатчик работал на частоте 700 млн. колебаний в секунду (длина волны около 50 см), то приемник, ловивший отраженный сигнал, нужно было настраивать на частоту, отличающуюся от частоты передатчика на поправку, соответствующую эффекту Доплера. Величина поправки достигала 65 тыс. колебаний в секунду (65 кГц).

Но эта поправка относилась к движению Венеры как целого. Как же решать вопрос о скорости вращения Венеры? Дело в том, что разные части поверхности Венеры по отношению к приемнику на Земле имеют разные скорости. Часть поверхности, которая при вращении Венеры приближается к земному наблюдателю, должна за счет эффекта Доплера давать более высокочастотный отраженный сигнал.



Расщепление сигнала, отраженного от вращающейся Венеры.

А та часть поверхности Венеры, которая удаляется, — более низкочастотный. Если Венера вращается достаточно быстро, то, послав на ее поверхность сигнал одной частоты, физики должны были получить отраженные сигналы, частоты которых значительно отличались бы друг от друга.

Тщательный анализ, проведенный советскими исследователями, показал, что спектр (состав) частоты отраженного сигнала состоит из одной частоты значительной мощности (узкополосная составляющая сигнала) и добавочных частот, так называемых широкополосных составляющих сигнала. Узкополосная составляющая представляет собой отражение от пятна на поверхности размером примерно в $1/10$ радиуса Венеры, которое находится ближе всего к Земле и почти не движется в направлении Земля — Венера. Широкополосная составляющая образовалась в результате отражения от всей поверхности планеты и сдвига частоты из-за эффекта Доплера.

Какие же выводы о длительности суток на Венере можно сделать по результатам, полученным советскими радиофизиками? Были предложены две конкурирующие гипотезы, вывод в пользу одной из которых, по-видимому, удастся сделать только после дальнейших экспериментов.

Первая гипотеза: поверхность Венеры значительно более «гладкая», чем поверхность Луны. Тогда, судя по широкополосной составляющей в спектре сигнала, период вращения Венеры лежит где-то около 9—11 земных суток.

Вторая гипотеза: отражающие свойства Венеры такие же, как у Луны. В этом случае период вращения может составлять и больше 100 суток (судя по ширине узкополосной составляющей), а широкополосная составляющая вызвана быстрым вращением (с периодом 9—10 земных суток) каких-то образований вдоль поверхности Венеры, например, сильно ионизированных потоков.

Отметим интересное обстоятельство: американские физики при радиолокации Венеры не обнаружили широкополосной составляющей и поэтому сделали вывод, что длительность суток на Венере больше 200 земных суток.

Нужно, конечно, учитывать, что в приведенном нами описании этого гигантского космического эксперимента не содержится даже перечня всех решенных технических задач, связанных с экспериментом, на выполнение которого были поставлены новейшие достижения электроники. А ведь о сложности проделанного опыта могут свидетельствовать даже некоторые, так сказать, «экзотические» технические данные радиолокаторов:

1. Стабильность частоты в радиолокаторе была не хуже, чем 10^{-9} . Часы, имеющие такую стабильность, за сутки должны уходить вперед или отставать не более, чем на одну десятитысячную секунды.

2. Поправка на эффект Допплера, вводившаяся в приемник для учета относительного движения Земли и Венеры и равная 65 кгц, имела ошибку меньше 1 гц.

3. Ширина узкополосной составляющей сигнала измерялась с точностью до 4 гц при частоте сигнала в 700 млн. гц.



РАДИОЛОКАЦИЯ МЕРКУРИЯ. РАДИОСВЯЗЬ ЧЕРЕЗ ВЕНЕРУ

Летом 1962 года советским радиофизикам удалось впервые произвести радиолокацию другого нашего соседа по солнечной системе — планеты Меркурий. Во время радиолокации Меркурий находился на расстоянии 84—88 млн. км от Земли, то есть почти вдвое дальше, чем при локации Венеры. Этим опытом было подтверждено полученное при радиолокации Венеры в 1961 году значение астрономической единицы. Кроме того, было обнаружено, что коэффициент отражения радиоволн от поверхности Меркурия примерно такой же, как и у Луны.

В октябре — декабре 1962 года советские радиофизики произвели повторную радиолокацию Венеры. Одновременно с радиолокацией Венеры 19 и 24 ноября 1962 года впервые в истории человечества была успешно осуществлена радиосвязь через планету Венера. С Земли телеграфным кодом были переданы слова «Мир», «Ленин», «СССР». Радиосигнал, оразившийся от поверхности Венеры, вернулся на Землю и был принят. Общее расстояние, которое прошло слово «Мир», составляет 81 745 тыс. км; слова «Ленин» и «СССР» прошли путь 85 360 тыс. км. При таком огромном расстоянии электромагнитный сигнал, движущийся со скоростью 300 тыс. км в секунду, возвращается с большой задержкой. Между посылкой и приемом сигнала проходило почти 5 минут. Сейчас трудно оценить все возможности, которые открываются в связи с осуществлением этого блестящего эксперимента. Отметим только одну из них. В этом опыте Венера играла роль пассивного отражающего объекта, ее поверхность отражала радиоволны почти равномерно во всех направлениях. Но даже при таких условиях сигнал уверенно принимался на Земле. Это означает, что если «поставить» в космосе даже маломощный ретранслятор, подобный тем, которые сейчас используются в радиорелейных линиях для передачи телевизионных программ (его можно «поставить», например, на автоматической межпланетной станции), то радиосвязь может быть осуществлена на расстояниях значительно больших, чем 85 млн. км. По-видимому, даже на теперешнем уровне раз-

вития радиоэлектроники «радиофикация» солнечной системы вполне под силу человечеству.

На автоматической межпланетной станции, кроме ретрансляторов, могут быть установлены и передатчики радиосигналов для навигационных целей. По точно известным траекториям таких радиомаяков смогут ориентироваться капитаны космических кораблей вдали от Солнца так же, как это сегодня делают капитаны наших воздушных лайнеров «Ту-104» и «Ил-18», ориентируясь по наземным навигационным радиостанциям.

Совсем недавно американским радиофизикам удалось установить радиолокационный контакт с планетой Марс. Эта задача несколько легче, чем радиолокация Меркурия. Дело в том, что во время опытов расстояния от Земли до Марса и от Земли до Меркурия были примерно одинаковы, а отражающая поверхность Марса примерно вдвое больше, чем у Меркурия.



РАДИООКНО В КОСМОС

На какой длине волны удобнее всего поддерживать связь с космическим абонентом? Какую длину волны лучше всего выбрать для радиолокации космического объекта? Ответы на эти вопросы в основном уже получены радиофизиками.

Чтобы понять, как вырабатывались условия выбора длины волны радиопередатчика и приемника, укажем на те требования, которые сформулировали радиофизики, приступая к созданию космических радиолокаторов. Во-первых, электромагнитные колебания должны возможно меньше поглощаться в атмосфере Земли и ионосфере. Во-вторых, в выбранном диапазоне длин волн должно быть не слишком много «радиошума». В-третьих, радиоволна не должна быть слишком длинной, с тем чтобы можно было использовать антенны с узкой диаграммой направленности (с узким радиолучом). И, наконец, в-четвертых, длина волны не должна быть слишком короткой, так как чем короче длина волны, тем труднее сделать мощный передатчик.

В отношении первого требования границы радиоокна в космосе были установлены довольно давно. В атмосфере Земли, почти не поглощаясь, проходят радиоволны от самых длинных (в несколько километров) до длин волн порядка одного сантиметра. Некоторое ограничение накладывает ионосфера: она сильно отражает «длинные» электромагнитные волны (до 30—20 м). Более короткие волны свободно, почти не поглощаясь, проходят через ионосферу.

Все условия для выполнения второго требования были найдены сравнительно недавно. На антенну приемника, который ловит сигнал, отраженный от космического объекта, или радиосигнал с космического корабля, попадают и радишумы. Поэтому возможность различения слабых сигналов, а следовательно, и дальность действия радиолокаторов, дальность действия космической радиосвязи определяется уровнем радишумов.

Источников радишумов на Земле и в космосе довольно много, и они имеют различную природу. Один из наиболее распространенных источников радишумов — это нагретые

тела. Любое нагретое тело излучает электромагнитные волны; чем выше его температура, тем больше излучается коротких радиоволн, тем больше интенсивность излучения. При температуре около 700°C тела начинают излучать и видимый глазом красный свет. При комнатных температурах электромагнитное излучение в основном состоит из радиоволн. Совсем не излучают только тела, имеющие температуру абсолютного нуля (-273°C).

Подробные исследования показали, что наиболее удобным диапазоном в радиоокне в космос является диапазон длин волн от нескольких сантиметров до нескольких десятков сантиметров. Оказалось, что радишумы, приходящие из космоса, в этом диапазоне необычно слабы. Такое радиоизлучение могли давать на Земле тела, имеющие температуру, отличающуюся от абсолютного нуля на несколько десятых долей градуса. Нужно, конечно, оговориться, что антенна приемника при этом не должна захватывать какой-нибудь сильный космический источник радиоизлучения (звезду, туманность), а должна, так сказать, «глядеть между звезд». Кроме того, диаграмма направленности антенны не должна заметно захватывать радиоизлучение от поверхности Земли и окружающих объектов.

Этот самый «прозрачный» диапазон длин волн радиоокна в космос играет весьма существенную роль. Достаточно перейти к длинам волн в несколько метров или долям сантиметра, как уровень радишумов поднимется в десятки и сотни раз, а это означает, что при той же мощности передатчика сильно уменьшится расстояние, на котором возможны радиосвязь, радиолокация.

Анализируя наиболее «прозрачные» места в космическом радиоокне, исследователи столкнулись с необходимостью отказаться от использования обычных радиоламп и полупроводниковых триодов в первых каскадах усилителей приемника: эти элементы давали радишумов больше, чем радишумы из космоса. Их место занял разработанный в последние годы квантомеханический усилитель на рубине (иногда его называют мазером). Этот усилитель работает на совсем иных принципах, чем обычные вакуумные и полупроводниковые триоды.

Упрощенно принцип работы мазера таков: приходящий слабый электромагнитный сигнал, который нужно усилить, направляется на кристалл рубина. В кристалле, за счет энергии от специального генератора, накоплено значительное количество электронов на определенных энергетических уровнях. Уровни подобраны так, что электрон, переходя с верхнего уровня на нижний, будет излучать порции электромагнитного излучения (фотоны) с частотой, равной частоте сигнала. Когда кристалл рубина облучается слабым сигналом нужной частоты, начинается «массовый» переход электронов с верхнего

уровня на нижний. Электроны отдают накопленную энергию в виде электромагнитного излучения (это так называемое индуцированное излучение), которое складывается с пришедшим сигналом. В результате — на выходе системы получается усиленный сигнал.

Мазер обладает одним важным свойством: он почти не имеет собственных шумов. Такой усилитель был использован в качестве входного каскада в приемнике при радиолокации Венеры. Его применение позволило резко повысить точность определения расстояния до Венеры.

В выборе длины волны передатчика и приемника, как это уже отмечалось, большую роль играет соотношение длины волны и размеров антенны. Чем меньше длина волны, тем больше направленность излучения при тех же размерах антенны. Это означает, что и при установлении радиосвязи в космосе и при радиолокации космических объектов меньше энергии излучения будет расходоваться впустую. К сожалению, слишком короткие длины волн при достаточной мощности передатчика получить трудно, и, выбирая между двумя условиями, радиофизикам приходится идти на компромисс.

В настоящее время, по-видимому, еще рано говорить о том, что границы радиоокна в космосе установлены точно. Возможно, что освоение радиофизиками инфракрасного и светового диапазонов расширит его границы.



РАДИООТКЛИК ОТ АВТОМАТОВ В КОСМОСЕ

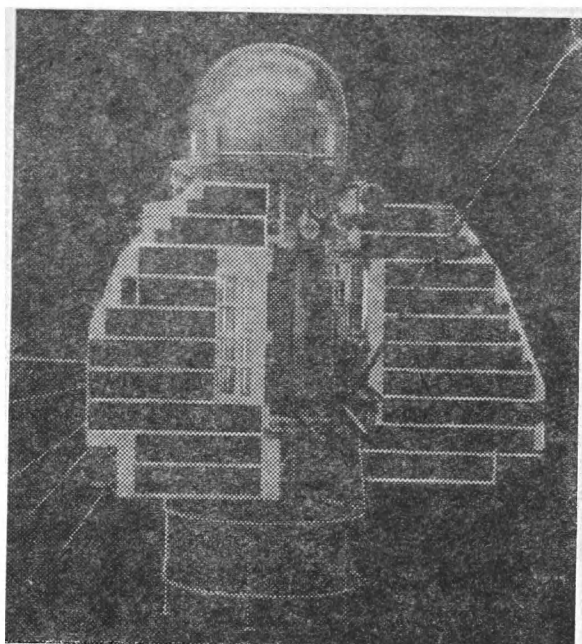
Первые радиолокаторы, применявшиеся для обнаружения самолетов, обладали в некоторой степени способностью «разговаривать». Точнее — «задавать вопросы» обнаруженному им объекту и «понимать ответы». Делалось это примерно так. После того, как на экране осциллографа появлялся сигнал, отраженный от самолета, оператор нажимал кнопку специального прибора. Американцы даже дали ему название: прибор «свой — чужой». В этом сравнительно небольшом приборе находилась довольно простая электронная схема, которая могла передавать на самолет зашифрованную команду-вопрос.

Способ передачи команды несложен: в определенной последовательности изменялась амплитуда нескольких радиоимпульсов, или изменялась их частота, или длительность. Смысл послышки радиокоманды, смысл вопроса заключался в следующем: чей ты самолет, наш или противника? Если самолет «наш», то на нем должен быть установлен приемник, передатчик и несложное электронное устройство, настроенные на определенную длину волны. Причем передатчик включался приемником только тогда, когда радиоимпульсы с земли следовали в нужной последовательности. Иными словами — система на самолете должна была «знать» шифр для переговоров.

Если «переговоры» оказывались успешными, включался передатчик, и на земной радиолокатор поступал радиосигнал, который улавливался той же антенной радиолокатора. В результате оператор легко отличал свой самолет от чужого.

Это качество двух радиоустройств — уметь найти «взаимопонимание» — радиофизики развили и развивают в электронных автоматах, поставленных на автоматические межпланетные станции.

Такая возможность управлять с Земли поведением АМС и получать от них радиоотклик имеет два существенных преимущества. Первое преимущество легко понять из такого примера. Представим себе, что по программе исследований необходимо в определенный момент полета АМС выполнить ка-

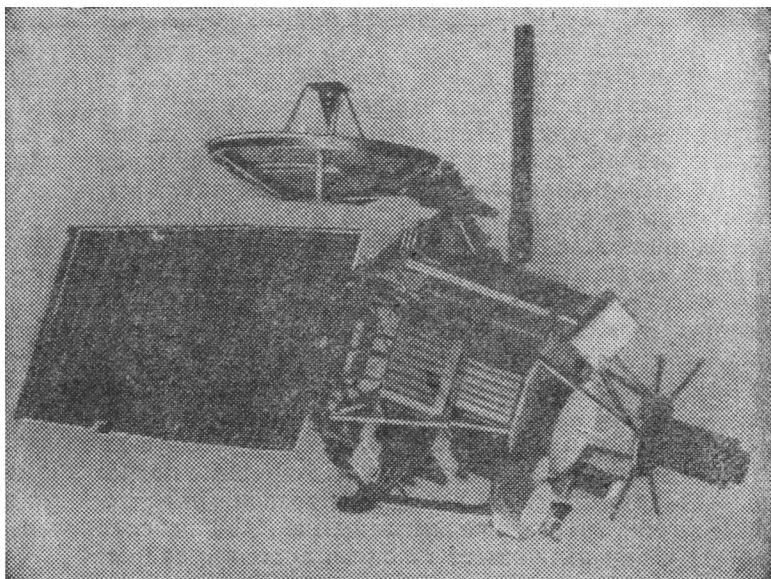


Советская автоматическая станция,
посланная к Венере

кую-то операцию, например сделать фотоснимок или включить двигатель. Заранее рассчитать, когда этот момент наступит, очень трудно. Причем, чем дальше от Земли будет находиться АМС, тем больше будет неточность. Поэтому значительно удобнее включать существующее устройство на АМС с Земли в момент наивыгоднейшего положения станции.

Выгода состоит еще и в том, что, осуществляя управление определенной операцией с Земли, мы «экономим» в весе АМС. При таком способе управления нет необходимости ставить на станцию схему, которая отмеряла бы время включения.

Большое преимущество такого способа управления с Земли отчетливо проявилось во время полета «Маринера-2» — автоматической межпланетной станции, запущенной американскими учеными по направлению к Венере. После запуска станции американские ученые обнаружили, что «Маринер-2» значительно отклонился от заданной траектории. После соответствующих расчетов было произведено включение командой с Земли двигателя. Это позволило «подправить» направление полета «Маринера».



Американская автоматическая станция («Маринер»), посланная к Венере.

Не менее существенное преимущество «радиопереговоров» с автоматами на станциях в космосе состоит и в большой экономии энергии. Дело в том, что для собирания научной информации энергии нужно в сотни и тысячи раз меньше, чем для передачи ее на Землю, а на станции дорог каждый грамм лишнего веса, каждая порция энергии в аккумуляторах. Поэтому мощные передатчики станции, передающие на Землю зашифрованные сведения о собранных научных данных, включают радиосигналом, посланным с Земли, только на короткое время, в момент наиболее выгодного положения наземной антенны по отношению к АМС.

О том, как дорога энергия на АМС и как важна система радиоуправления с Земли, свидетельствует еще одна история, приключившаяся с тем же «Маринером-2». На этой АМС в качестве источников бортового питания была использована комбинация химических аккумуляторов и солнечных батарей. Примерно в середине полета американские физики обнаружили, что мощность радиосигналов, поступавшая на Землю, стала от сеанса к сеансу убывать значительно быстрее, чем это должно было бы быть, учитывая увеличение расстояния между станцией и Землей. Это означало, что часть солнечных

батарей почему-то не работает и энергия в аккумуляторах иссякает.

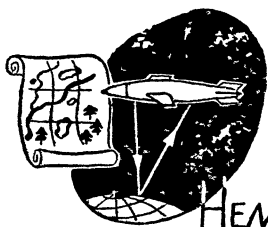
Тогда было решено прекратить включение передатчиков станции на некоторое время, пожертвовать частью ценной научной информации, с тем чтобы во время подлета к Венере аккумуляторы успели бы подзарядиться и передатчик на АМС дал достаточно мощный сигнал. «Отдых», предоставленный системе энергоснабжения «Маринера-2», дал положительные результаты, и во время наибольшего сближения на Землю были переданы интересные научные данные. В частности отметим, что не было обнаружено заметного магнитного поля у Венеры.

Радиоавтоматы на АМС пока выполняют простейшие команды, посланные с Земли, их «радиоответы» пока относительно немногосложны. Это в какой-то степени связано с тем, что для большей надежности на АМС устанавливаются давно освоенные промышленностью радиолампы и полупроводниковые приборы, имеющие большой срок службы и стабильные технические характеристики. Эти электронные приборы имеют довольно большой вес и размеры и требуют значительных затрат энергии на питание, поэтому на АМС их сравнительно немного и они выполняют не очень сложные операции.

Современные электронные машины решают сложнейшие задачи, которые не под силу даже большим коллективам математиков, не вооруженным электронной техникой. Такой электронный мозг, включающий в себя тысячи электронных приборов, мог бы сделать очень много, если бы он попал на борт АМС. Но, к сожалению, он для этого пока слишком тяжел и «прожорлив».

В последнее время в радиоэлектронике, пока в лабораторных условиях, появились новые приборы, имеющие буквально микроскопические размеры. По существу это почти те же радиолампы и транзисторы, но технология их изготовления и некоторые особенности действия позволяют доводить размеры этого полноценного заменителя радиоламп до десятых долей миллиметра. В кубическом сантиметре можно разместить более сотни таких микроламп, к тому же они требуют очень незначительных затрат энергии на питание.

Пройдет немного времени, и микроэлектроника даст радиоавтоматам в космосе легкую, экономичную и надежную систему — кибернетический «мозг». Автомат, снабженный таким «мозгом», в некоторых видах исследований окажет неоценимые услуги в разведывании глубин космоса.



Немного ● КОСМИЧЕСКОЙ РАДИОЛОКАЦИИ В БЛИЖАЙШЕМ И ОТДАЛЕННОМ БУДУЩЕМ

Успешно проведенная радиолокация Луны, Венеры, Солнца, Меркурия дает возможность надеяться, что с помощью радиолокации мы лучше узнаем и наших других соседей.

Что же еще может дать использование радиолокации в космосе? По-видимому, следует предположить, что по крайней мере две задачи смогут решить радиолокаторы, установленные на космических кораблях.

Первая задача: определение рельефа планет, покрытых густой атмосферой или не освещенных яркой звездой. Такая задача, например, сразу же встает перед высадкой автоматической межпланетной станции или космонавтов на поверхность Венеры. Для спокойной посадки, естественно, важно не угодить с самого начала на скалистый пик или в глубокое ущелье.

Современные локаторы, использующие сантиметровые и миллиметровые длины волн, позволяют ночью или через весьма плотную облачность делать очень точные карты местности. Узкий луч радиолокатора пробегает «строчка» за «строчкой» по местности, а на электронной трубке с длительным послесвечением производится одновременная запись отраженного сигнала. Так как величина этого сигнала зависит от того, на какой объект попал луч радиолокатора, то в результате мы можем «разглядеть» отдельные крупные дома, улицы, реки и т. п.

Выйдя за пределы солнечной системы, вдали от ярких звезд, космический корабль может встретить и крупные небесные тела, исследование которых представит интерес. Посадка на такое тело будет значительно облегчена, если радиолокатор даст «карту» его поверхности. Быть может, это будет и так, как красочно описано в романе Ефремова «Туманность Андромеды», где космонавты встречаются с планетами «железной звезды», излучающей только тепловые лучи.

Вторая задача, которая может быть решена радиолокаторами в космосе, это уменьшение опасности столкновения с метеоритами. Выражение «уменьшение опасности» здесь применено не случайно. Дело в том, что обнаружить небольшой метеорит на пути космического корабля даже при современном уровне развития электроники очень трудно.

Представим себе космический корабль, движущийся со скоростью 20 км в секунду. Эта скорость (через десятилетия она будет, возможно, казаться черепашьей) вполне достаточна, чтобы за месяц долететь до Марса. Пусть теперь радиолокатору удалось за 1000 км на пути корабля обнаружить метеорит с поперечником в 10 см. Такой метеорит, даже если он «стоит» неподвижно на пути космического корабля, при скорости корабля в 20 км в секунду, обладает разрушительной силой, равной артиллерийскому снаряду среднего калибра. А ведь даже маленькое повреждение в полете космического корабля, где нельзя остановиться и починить поврежденное место, грозит сорвать программу опыта, грозит жизни членам экипажа. Но расстояние в 1000 км космический корабль проскочит за 50 секунд. Это значит, что, получив сигнал, корабль (а они уже сейчас весят многие тонны) должен успеть увернуться от столкновения меньше чем за минуту.

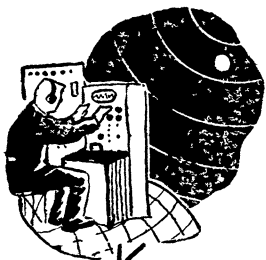
А нельзя ли увеличить время предупреждения, то есть увеличить дальность обнаружения крупных метеоритов?

Возможно, это и удастся сделать. Но задача эта очень сложная. Вспомните хотя бы то, что на корабле нельзя установить из соображений экономии ни мощный передатчик, ни большую приемную антенну, которые смогли бы увеличить дальность действия локаторов.

Некоторое облегчение, а может быть и полное решение задачи, должны принести созданные в последние годы генераторы когерентных электромагнитных колебаний светового диапазона (так называемые лазеры). Эти генераторы, установленные в качестве передатчиков в радиолокаторе, обладают весьма значительным преимуществом по сравнению с генераторами сантиметрового и миллиметрового диапазона. У лазеров диаграмма направленности излучения (угол раствора луча) не превышает нескольких угловых минут, в то время как у радиолокатора в сантиметровом диапазоне диаграмма направленности составляет единицы и десятые доли градуса. Это означает, что на расстоянии тысячи километров перед космическим кораблем радиолокатор сантиметрового диапазона «осветит» пятно диаметром в 20 км, а радиолокатор с оптическим генератором — пятно с диаметром только 0,5—1 км. Понятно, что при одинаковой мощности передатчиков сигнал, отраженный от препятствия в последнем случае, будет значительно больше. Кроме того, вероятно, легче будет отличить

препятствие, близкое к курсу корабля, от препятствий, которые пройдут мимо.

Однако это только проект, и лазеры еще только входят в обиход электроники. Современные автоматические межпланетные станции, межпланетные корабли отправляются без специальной локационной защиты от метеоритной опасности. Пока такой риск оправдан. Полеты космонавтов, имеющих к тому же и дублирующую систему герметизации в скафандре, длятся недолго. Автоматические станции движутся к назначенной цели месяцы. А вероятность встречи с метеоритом, который мог бы нанести заметное повреждение космическому кораблю, при его теперешних размерах весьма невелика: одно столкновение за многие годы. Но пройдут десятилетия, а может быть лишь годы, вырастут размеры космических кораблей, увеличится продолжительность программы полетов, и конструкторам придется прибегнуть к помощи радиолокации для создания дополнительной защиты корабля.



КАКУЮ ПОЛЬЗУ МОГУТ ПРИНЕСТИ ЛЮДЯМ ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМОСА

Если понимать термин «радиолокация» не в узком смысле, как обнаружение объектов по пассивному, отраженному от объекта электромагнитному сигналу, то к космической радиолокации следует отнести и новые эксперименты, конечная цель которых состоит в обнаружении с помощью радиолокаторов миров, населенных разумными существами.

Эти эксперименты ученые начали ставить недавно. Основная мысль, лежащая в их основе, — с помощью направленного излучения попытаться обратить на себя внимание жителей планет других звезд и узнать, что сигнал замечен, получив в ответ, так сказать, «отраженный» сигнал, содержащий, быть может, какую-то разумную информацию.

Прежде чем описывать, как нужно ставить такой эксперимент, обратимся (в самых общих чертах) к проблеме межзвездного перелета на космическом корабле. До Венеры, в наилучшем положении по отношению к Земле, электромагнитный сигнал идет около 150 секунд, а автоматическая межпланетная станция — несколько месяцев. До ближайшей к Солнцу звезды — Проксимы в созвездии Центавра свет (электромагнитный сигнал) идет 4,3 года. Астрономы так и говорят: расстояние составляет 4,3 световых года. Это означает, что если даже удалось бы создать в ближайшее время космический корабль с «крейсерской» скоростью, превышающей в 10 раз скорость современных АМС, то ему пришлось бы лететь до звезды Проксимы Центавра около 40 тысяч лет, то есть примерно столько же лет, сколько насчитывает наша цивилизация (от кроманьонцев до наших дней).

Таким образом, если говорить о полетах внутри солнечной системы, включая посадку космонавтов на поверхность ближайших планет, то такие полеты могут, по-видимому, осуществиться в течение ближайших десятилетий. А полеты даже к ближайшим звездам (если они вообще состоятся) вряд ли

произойдут ранее чем через несколько столетий. Поэтому особенно заманчива возможность получить «отраженный» сигнал от наших ближайших по Галактике соседей, содержащий информацию об уровне их жизни и т. п. Тем более, что время, затраченное на такой опыт (сигнал идет всего несколько лет), сравнимо с жизнью одного поколения.

Как же такой опыт должен быть поставлен?

Во-первых, должна быть выбрана такая длина волны передатчика, на которую легче всего было бы «наткнуться» жителям другого мира. По весьма остроумному предложению Коккони и Морисона, удобнее всего взять в качестве длины волны одну из резонансных длин волн водорода, равную 21 см. Ведь водород — самый распространенный в мире элемент. Изучая распределение излучающих атомов водорода, радиоастрономы получили и получают очень ценную информацию о строении нашей Галактики, о пылевых облаках, скоплениях материи и т. п., которые не видны в лучшие оптические телескопы.

Эта длина волны является чем-то вроде международного (в галактическом смысле) эталона длины. И если наши «соседи» по Галактике имеют уровень развития цивилизации близкий к нашему или превосходящий его, то весьма вероятно, что и их попытки обнаружить достаточно развитых соседей были бы сделаны с помощью передатчика и приемника, настроенных на эту длину волны.

Второй вопрос состоит в том, куда направить узкий луч радиолокатора. Тут можно отметить, что жителям солнечной системы не очень «повезло». Мы (наша солнечная система) находимся примерно на расстоянии в $2/3$ радиуса Галактики от ее ядра, в области, сравнительно слабо заполненной звездами. Подсчитано, что если ограничиться сферой вокруг Солнца с радиусом в 15 световых лет, то разумнее всего было бы отправить сигналы к двум звездам: Тау созвездия Кита и Эпсилон созвездия Эридана. Послав туда сигнал, придется дожидаться ответа (учитывая время движения сигнала туда и обратно) около 20 лет. Но это все же значительно приятнее, чем ждать несколько тысячелетий, пока долетит автоматическая межзвездная станция и обратит на себя внимание.

Несколько замечаний об электронной аппаратуре. Как отмечалось выше, мощность, попадавшая на всю поверхность Венеры от радиолокатора, использованного советскими физиками, составляла около 15 вт. До звезды Тау Кита около 10 световых лет, то есть примерно в 2 миллиона раз дальше, чем до Венеры. Это означает, что если там есть планета, похожая по размерам на Венеру, то на всю ее поверхность падала бы мощность $4 \cdot 10^{-12}$ вт, а на один квадратный метр площади поверхности только 10^{-25} вт. Приемник, использовавшийся советскими радиофизиками, мог обнаружить сигнал

после 5 минут накопления, если его мощность составляла 10^{-23} вт на квадратный метр.

Как видно из этого простого расчета, мощности немного не хватает (она примерно в 100 раз меньше). При современных темпах развития электроники этот разрыв, вероятно, будет быстро перекрыт. Однако пока мы можем только «слушать» сигналы с других планет, рассчитывая на то, что наши «соседи» имеют достаточно мощные передатчики и делают попытки установить с нами связь.

В 1961 году американские радиофизики предприняли попытку уловить электромагнитное излучение на длине волны 21 см, приходящее на Землю от Тау Кита и Эпсилон Эридана и содержащее модуляцию (изменение амплитуды или частоты), напоминающую разумную информацию. Попытка пока не дала положительного результата. Но можно надеяться, что многократное повторение подобного рода опытов с активным участием Земли в таких «переговорах» может привести к положительным результатам.

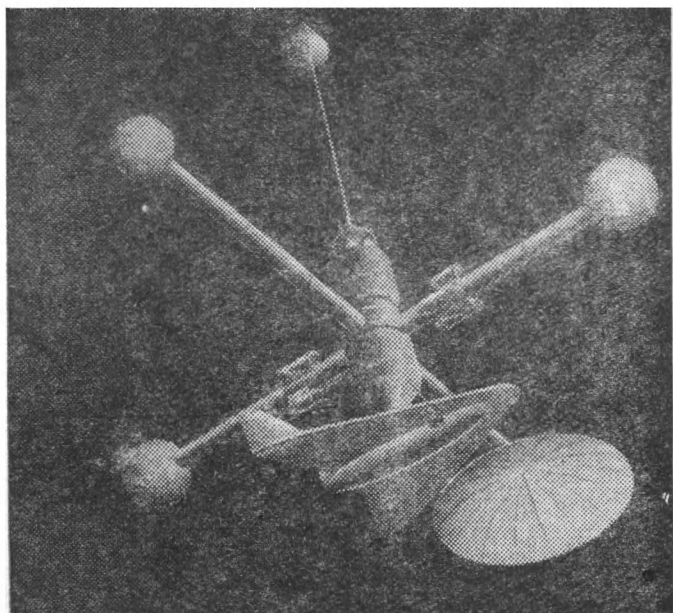
Некоторые читатели, вероятно, хотят задать вопрос: как можно было бы «договориться» с жителями другой планеты, не зная их языка?

На международных конференциях ученые разных стран, часто не зная языка собеседника, легко объясняют друг другу весьма сложные проблемы. Они пользуются языком математических символов. Очевидно, и при первых передачах из космоса, чтобы наладить взаимопонимание, придется установить соответствие в основных, простейших символах, которые описывают одни и те же понятия. Например, можно было бы сразу договориться о числе π , связывающем длину круга с радиусом, об основании натуральных логарифмов и т. п. Обратив внимание на длину волны, можно было бы с помощью умножения на 2, 3 и т. д. договориться об обозначении элементов гелия, лития и других элементов, следующих за водородом, то есть договориться об основных терминах для описания физического мира.

Передавать числа можно было бы, пользуясь простейшей, так называемой двоичной системой единиц: она содержит только единицы и нули. Кроме того, ученые Земли обладают мощным арсеналом электронных счетных машин, которые могли бы облегчить расшифровку кода получаемой информации. Ведь эти машины уже сейчас играют очень большую роль в научных изысканиях. Вспомните хотя бы о том, что с помощью электронно-счетных машин советским математикам удалось расшифровать древние рукописи народа майя.

А какова вероятность того, что не слишком далеко от нашей солнечной системы находятся разумные существа с уровнем развития цивилизации, близким к земному?

На этот вопрос ученые пока не могут ответить достаточно



Один из американских проектов спутника Земли.

определенно. Относительно легко можно оценить (ошибаясь примерно в 100 раз), сколько звездных систем в Галактике имеют планеты с условиями, сходными с земными, и исходя из этого оценить среднее расстояние между ними. Но для того чтобы вычислить вероятность установления контакта, необходимо знать продолжительность жизни цивилизации.

Сколько времени живет общество разумных существ, развиваясь и проникая в тайны природы и подчиняя ее себе? Ученые пока не знают законы хранения и передачи наследственной биологической информации за длительные промежутки времени в условиях жизни без естественного отбора. Сумеет ли человечество сохранить наследственную информацию и, глубоко познав законы наследственности, улучшать человеческий организм или, растеряв важные наследственные признаки, человечество придет к вырождению? На эти вопросы биологическая наука пока не дала ответа.

Важно заметить, что на Земле была и развивалась жизнь в течение сотен миллионов лет, а разумная жизнь на нашей планете имеет историю лишь около 50 тысяч лет.

Косвенный ответ на вопрос о продолжительности жизни цивилизации будет получен и в том случае, если длительные и энергичные попытки установить контакт с нашими галактическими соседями дадут отрицательный результат. Это будет

означать, что мы довольно одиноки в нашем районе Галактики или что время жизни цивилизации относительно невелико.

Представим себе и другой результат опыта — ученым удалось с помощью радиосигналов установить контакт с разумными существами какой-то планеты. Наиболее интересно, «выгодно» для землян, если общество, с которым мы установим контакт, будет старше нас. В этом случае даже разница в 200—300 лет сыграла бы огромную роль. Мы могли бы получить такую научную информацию, которая произвела бы буквально революцию в нашей науке. Для того чтобы оценить, сколько новых знаний мы могли бы получить, достаточно вспомнить, что представляла собой физика 60 лет назад, физика без квантовой механики, теории относительности, радиофизики, электроники, кибернетики и т. д.

Правда, возможен и иной вариант: узнав о том, что мы очень сильно отстали в развитии, нашим соседям будет «не интересно» иметь с нами дело и, по выражению американского физика Р. Лэппа, они только «пожмут плечами или другой соответствующей частью тела» в ответ на наш «детский лепет». Однако этот случай маловероятен, так как любая стадия развития цивилизации не может не представлять огромного интереса для представителей другой цивилизации.

По существу, в такой возможности установления контакта с разумными существами других миров частично и содержится ответ на вопрос о том, какую пользу приносят обществу космические эксперименты. Но кроме этого полезного «выхода», преувеличить значение которого, по-видимому, трудно, можно отметить и целый ряд других, на первый взгляд более скромных.

Обнаружение новых форм жизни на ближайших к Земле планетах дало бы мощный толчок к развитию биологической науки. А это в свою очередь привело бы к цепной реакции открытий в смежных областях науки. Изучая геологическое строение близких по размерам Земли планет, можно будет очень многое узнать и о строении нашей планеты, и об эволюции планет солнечной системы.

Таких возможных полезных результатов космических экспериментов можно было бы привести много. Однако и этот весьма краткий перечень показывает, что в недалеком будущем человек, житель Земли, начнет черпать знания и силу, осваивая космическое пространство.

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
Радиолокация Венеры и определение астрономической единицы	5
Сколько времени длятся сутки на Венере?	11
Радиолокация Меркурия, радиосвязь через Венеру	14
Радиоокно в космос	16
Радиоотклик от автоматов в космосе	19
Немного о космической радиолокации в ближайшем и отдаленном будущем	23
Какую пользу могут принести людям исследования космоса	26

Автор
Владимир Борисов

Редактор **Л. И. Ланина**
Техн. редактор **А. С. Назарова**
Корректор **Н. Н. Огородникова**
Оформление **А. Г. Ординарцева**

Сдано в набор 19.II 1963 г. Подписано к печати 12.III 1963 г. Изд. № 84
Формат бум. 60×90¹/₁₆ Бум. л. 1,0 Печ. л. 2,0. Уч.-изд. л. 1,53
А 04057 Цена 6 коп. Тираж 61 000 экз. Заказ 561.
Издательство «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

Типография изд-ва «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

6 коп.

70073