

НЕВИДИМЫЙ КОСМОС

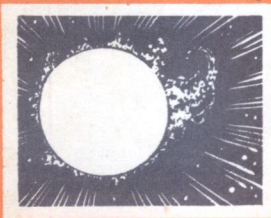


Ф. ЗИГЕЛЬ

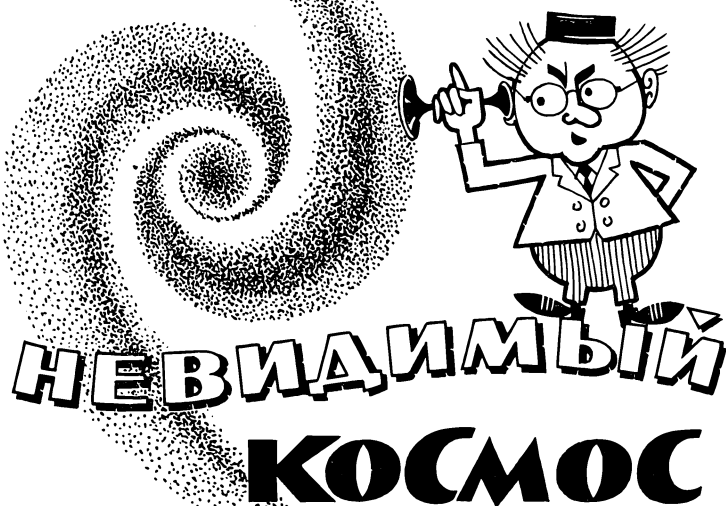
Ф. ЗИГЕЛЬ

НЕВИДИМЫЙ КОСМОС





Ф. Зигель



ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ДЕТСКАЯ ЛИТЕРАТУРА»
МОСКВА · 1970

В книге известного писателя-популяризатора кандидата педагогических наук Ф. Ю. Зигеля «Невидимый космос» рассматриваются наиболее интересные проблемы современной астрономии. Кроме того, автор знакомит школьников 8—10-х классов с новейшими достижениями в изучении планет, звезд, галактик и туманностей с помощью аппаратуры, чувствительной к различным невидимым излучениям.

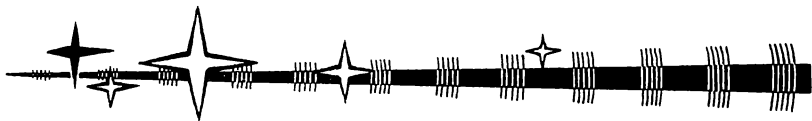
Издательство и автор глубоко признательны доктору физико-математических наук В. Г. Курту, тщательно прорецензировавшему рукопись этой книги и высказавшему ряд ценных замечаний и пожеланий для ее улучшения.

Отзывы об этой и других книгах издательства «Детская литература» просим присылать по адресу: Москва, А-47, ул. Горького, 43. Дом детской книги.

Рисунки Б. Белова



Scan AAW



О ТОМ, КАК БЫЛ ОТКРЫТ НЕВИДИМЫЙ КОСМОС

Эту книгу, посвященную самым последним, новейшим достижениям астрономии, мне хочется начать с истории давней и в общих чертах хорошо известной. Пусть юный читатель не посетует на меня — в конце концов, каждый автор имеет право по-своему писать предисловие. А разве может быть что-либо поучительнее человеческой истории вообще и истории науки в частности?

Историческое прошлое — это опыт человечества. В нем мы находим руководство для правильных действий в настоящем и будущем. В нем нередко встречаются ситуации, положения, напоминающие те, что приходится переживать сегодня.

Дату рождения «астрономии невидимого» можно указать безошибочно. Именно в тот ясный звездный вечер 7 января 1610 года, когда Галилео Галилей впервые направил телескоп в глубины Вселенной, и был открыт невидимый космос.

Нам, избалованным открытиями радиоастрономии и уже привыкающим к таким новым разделам естествознания, как «гамма-астрономия» или «нейтринная астрономия», — нам трудно понять, насколько вопиюще несовместимыми во времена Галилея были эти два слова — «невидимый космос».

«Космос», как известно, слово греческое, означающее «мир». В понимании древнего и средневекового ученого космос — это Солнце, Луна, планеты, звезды и прочие небесные светила, короче — все то, что видит человек у себя над головой. Если и говорилось в те времена о «невидимом мире», то под этим подразумевали сверхъестественный «эмпирей» — местопребывание богов.

Есть, существует только то, что мы видим. О том, что видимый космос есть лишь ничтожно маленькая часть космоса невидимого, подавляющее большинство ученых и философов даже не подозревало. Гениальные догадки Джордано Бруно

и ему подобных мыслителей ничем не могли быть подтверждены. Они считались крайне вредными вымыслами, а упорствующих в этих заблуждениях ждал костер.

Но стоило только направить первый телескоп на небо, и глазу наблюдателя открылось новое, никогда никем не виданное.

Вы, наверное, вспоминаете, что книга, в которой Галилей оповестил мир о своих открытиях, называлась «Звездный вестник». На ее заглавном листе было написано:

«Звездный вестник, открывающий великие и в высшей степени удивительные явления и представляющий их каждому, в особенности философу и астроному, в том виде, в котором они были наблюдаемы Галилео Галилеем при помощи недавно открытой им подзорной трубы на лике Луны, на неисчислимом количестве звезд, на четырех обращающихся с изумительной быстротой вокруг Юпитера на неравных расстояниях и с различными периодами планетах, никому до сей поры неизвестных, которые автор первый недавно открыл и решил назвать Медичевыми звездами».

Вы вспоминаете, конечно, какой взрыв произвела эта книга в тогдашнем мировоззрении. И как отозвалась на книгу католическая церковь, инквизиция. Казалось, что можно было возразить на очевидные факты?

Но возражения находились. И, что весьма примечательно, они были типичны для всякого мракобесия, борющегося с наукой.

Приводили аргументы чисто умозрительные, «теоретические», похожие на известные рассуждения одного чеховского героя: «Этого не может быть потому, что этого не может быть никогда!» Так, например, противники Галилея ссылались на «совершенство» числа семь: семь отверстий содержит голова человека; семь дней составляют неделю; наконец, в книге пророка Захарии сказано, что число планет равно семи. Как же после этого могут быть «невидимые планеты»?

Когда в ответ Галилей предлагал посмотреть в телескоп и самим убедиться, что невидимые без телескопа звезды на самом деле есть, что невидимый космос — это факт, на это отвечали, что тем хуже для телескопа и тем хуже для фактов. Были попытки объяснить всё иллюзиями, обманом зрения, галлюцинациями или какими-то неизвестными атмосферными явлениями. А кое-кто избрал самый простой путь, обвиняя Галилея в мошенничестве и мистификациях.

История эта старая, известная и, к сожалению, много раз повторявшаяся в других разделах науки и по другому, похожему поводу. Но истина в конце концов всегда торжествует

S I D E R E V S N V N C I V S

MAGNA, LONGEQVE ADMIRABILIA
Spectacula pandens. suspicitionēque propiciens
vnicuique, præstatim vciō

PHILOSOPHIS, atq; ASTRONOMIS, quæ à
GALILEO GALILEO
PATRITIO FLORENTINO

Patauini Gymnasij Publico Mathematico

PERSPICILLI

*Nuper is se reperti beneficio sumit obfirmare in LVNÆ FACIE, FIXIS 174.
NUMERIS, LACTEO CIRCULO, STELLIS REEYLOSIS,*

Aggrime verò in

QVATVOR PLANETIS

*Circa IOVIS Sielci dispositibus interuallib; atque periodis, ceteri-
tate mirabilib; circumuoluti: quos, nemini in hanc vsque
diem cognitos, nouissime Author deptz.
hendu primus; atque*

MEDICEA SIDERA

NVNCVPANDOS DECREVIT.



VENETLLS, Apud Iohannem Baglionum. M DC X.

Superici nrm Perunja, O & vniuerso.

Рис. 1. Заглавный лист «Звездного вестника» Галилея.

победу. То, что во времена Галилея приходилось доказывать, рискуя жизнью (а то и отдавая жизнь), сегодня выглядит очевидным.

Вы прочтете в этой книге о многом, что еще представляется спорным, не вполне доказанным. Но, как и три с половиной века назад, в этих спорах рождается истина. И новое знание приходит не в результате отвлеченных рассуждений, а как следствие технического, научного прогресса человечества. Не много в космосе видит невооруженный глаз. Но, оснащенный современной техникой, он приобретает необыкновенную проникаемость и зоркость.

Договоримся: в книге пойдет речь не об успехах телескопической астрономии вообще (эта тема необъятна и неопределенна), а лишь об исследовании тех космических тел или излучений, которые недоступны для наблюдения в обычные оптические современные телескопы. Причины этой «ненаблюдаемости» могут быть разные. Или тело проявляет себя (пока!) лишь своим гравитационным полем, то есть притяжением, действующим на другие, видимые, наблюдаемые тела. В таких случаях почти всегда невидимое тело имеет шансы стать видимым (вспомните известную, наверное, вам историю открытия Нептуна). Или — и это, пожалуй, особенно интересно — тело излучает невидимые глазом частицы или волны, и мы узнаем о его существовании и его свойствах лишь через посредников: специальные приборы и инструменты. За редкими исключениями подобные тела излучают и видимый свет. Называть их невидимыми, конечно, нельзя. Но о них мы знали бы очень мало или почти ничего, если бы ограничились лишь наблюдаемой глазом картиной. Главные секреты в этих случаях содержатся именно в невидимых лучах.

Пойдет речь и о невидимых частицах (например, о нейтрино). Разве не по праву и их следует отнести к невидимой части космоса, равно как и невидимые глазом магнитные и электрические поля?

Короче, нам предстоит взглянуть на мир новыми глазами, напоминающими глаза фантастического воображаемого существа, которое видит все волны и все частицы. Пусть испытаем мы тогда то чувство изумления, которое охватило когда-то Галилея, открывшего невидимый космос.

СЛЕДЫ НЕВИДИМОГО

Тяготение — одно из самых удивительных свойств окружающих нас тел. К сожалению, человек привыкает ко всему, с чем он повседневно встречается. А привыкнув, он уже не видит ничего необыкновенного в окружающем мире, утрачивает способность удивляться — качество, очень нужное человеку вообще и ученому в особенности.

Не привыкайте к чудесам, —
Дивитесь им, дивитесь!
Не привыкайте к небесам,
Глазами к ним тянитесь.
За мигom миг, за шагом шаг
Впадайте в изумление.
Все будет так — и все не так
Через одно мгновение¹.

Общеизвестно, что все тела притягивают друг друга. Но почему они тяготеют одно к другому, какой «механизм» этого всеобщего взаимодействия, пока неясно.

Отметим важную деталь: в формуле закона всемирного тяготения

$$F = f \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

участвуют массы взаимно притягивающихся тел (m_1 и m_2), расстояние между ними (r), коэффициент пропорциональности f , называемый гравитационной постоянной, наконец сила F . Но в этом знаменитом законе нет ни слова о температуре тел и характере их излучения. Видит ли наш глаз эти тела или их нельзя увидеть ни в один телескоп, так как их излучение не воспринимается человеческим глазом, — безразлично. Закон тяготения во всех этих случаях будет действовать совершенно одинаково.

¹ В. Шефнер, Миг. Сб. «Путешествие в страну Поэзия», Лениздат, 1968.



Рис. 2. Только такой исполинский стальной трос мог бы заменить тяготение Земли, удерживающее Луну на ее орбите.

Отсюда ясен вывод: если в космосе где-либо движутся невидимые тела, то их существование можно обнаружить по тому действию, которое они оказывают на тела видимые, наблюдаемые. Тяготение непременно выдаст невидимку.

Конечно, речь идет о принципиальной стороне дела. Практически же отклонения в движении видимых тел под действием тел невидимых могут оказаться неощутимо малыми для современных инструментов. Тогда придется ждать лучших времен, новой, более чувствительной техники.

В этом разделе мы расскажем о нескольких примерах поисков невидимых космических тел с помощью закона всемирного тяготения.

НА ОЧЕРЕДИ — ТРАНСПЛУТОН!

История открытия планеты Нептун — одна из самых популярных в астрономии. О подвиге Адамса и Леверье, сумевших «на кончике пера», то есть с помощью одних вычислений, открыть новую планету, рассказано во множестве книг и статей. Можно не сомневаться, что она известна (хотя бы в общих чертах) и читателю этой книги.

Неправильности, невязки в движении планеты Уран натолкнули астрономов на мысль, что повинна в этих невязках

более далекая, неизвестная и никем дотоле не видимая планета. Задача состояла в том, чтобы по величине этих невязок, используя закон всемирного тяготения, вычислить, где на небе должна находиться неизвестная планета.

Вы помните — задачу решали двое, причем независимо друг от друга: французский астроном Леверье и английский студент Адамс, еще только специализировавшийся в области астрономии. Адамс решил задачу быстрее Леверье. Но ему не повезло: маститые английские астрономы не хотели верить молодому студенту (ох уж эта отвратительная черта — предвзятость!). И английский королевский астроном Эри поленился отыскать Нептун по указаниям Адамса. Поискам он предпочел длительную и бесполезную дискуссию с помощью тогдашней почты.

Немецкий астроном Галле был более оперативным. Получив телеграмму Леверье, он сразу же направил телескоп в указанный район неба, и новая планета в ту же памятную ночь, 23 сентября 1846 года, была открыта.

Все это хорошо известно. Но далеко не все знают некоторые отнюдь не маловажные детали.

В конце XVIII века астрономами Тициусом и Боде была открыта простая закономерность, связывающая средние расстояния планет от Солнца. Это правило Тициуса — Боде можно получить так. Напишем последовательность чисел: 0, 3, 6, 12, 24, 48...

Легко заметить, что начиная со второго числа (3) каждое последующее число вдвое больше предыдущего. Прибавим теперь к каждому написанному числу по 4 и результат поделим на десять. Тогда получится такая последовательность: 0,4, 0,7, 1,0, 1,6, 2,8, 5,2, 10,0, 19,6, 38,8, 77,2...

Как это ни странно, мы получили средние расстояния планет от Солнца, если расстояние Земли от Солнца принять за единицу. Так, например, число 0,4 соответствует Меркурию, число 0,7 — Венере, и т. д.

Мы до сих пор не знаем, как объяснить эту любопытную закономерность, — приходится принимать ее как факт. Так поступил и Леверье, когда для расстояния от Солнца неизвестной планеты взял число 38,8. Лучшего он сделать не мог, но вся беда в том, что для далеких планет (особенно Нептуна и Плутона) правило Тициуса — Боде дает величины, как мы теперь знаем, далекие от действительности.

Ни Леверье, ни Адамс этого не знали, и в их вычисления вкрались существенные ошибки. Если бы остальные величины, характеризующие орбиту Нептуна, они выбрали более или менее точно, то их предсказания вряд ли можно было на-

звать точными — действительное положение Нептуна отличалось бы от вычисленного на десятки градусов!

На самом деле Леверье и Адамс ошиблись еще раз: вытянутость орбиты Нептуна они приняли слишком большой и к тому же неудачно поместили в пространстве перигелий — ближайшую к Солнцу точку орбиты. И тогда произошло то, что иногда бывает: разные ошибки случайно скомпенсировали, взаимно «уравновесили» одна другую, и результат вычислений оказался весьма точным.

Выходит, что Леверье и Адамсу просто повезло и их слава порождена случайностью? Не будем умалять заслуги этих великих ученых — они бесспорны. Они сделали все, что было в их силах, и рано или поздно по их предсказаниям Нептун был бы найден. Случайность помогла, но не она определяла конечный успех. Если мы обращаем сейчас внимание читателя на эти детали, то лишь для того, чтобы показать трудность задачи, решенной Адамсом и Леверье. Их подвиг велик и не нуждается в упрощенной трактовке. Знаете ли вы, однако, что описанная история повторяется ныне в третий раз?

Притяжение Нептуна объяснило не все невязки в движении Урана. Оставшиеся отклонения снова были объяснены воздействием неизвестной занептунной планеты. И снова, повторяя подвиг Леверье и Адамса, «вычислительными» поисками невидимой планеты занялся астроном, на этот раз — знаменитый исследователь Марса Персиваль Ловелл. История этих поисков, как известно, завершилась триумфом — 13 марта 1930 года молодой американский астроном Клайд Томбо открыл планету Плутон¹.

Снова невидимая планета сначала была открыта пером вычислителя, а потом уже ее увидели на небе. И снова хочется подчеркнуть, что и на этот раз случайность содействовала успеху. Даже более того — вычисления Ловелла не имели прямого отношения к открытию Томбо.

Мы знаем теперь, что для Плутона правило Тициуса — Боде совсем не годится — оно дает расстояние в 77,2 а. е.², тогда как на самом деле Плутон отстоит от Солнца в среднем на 39,5 а.е. Известно теперь и другое: масса Плутона так мала, что его влияние на движения Нептуна и Урана буквально неощутимо. Оно «тонет» в ошибках наблюдений.

Ловелл, а за ним и другой известный американский астроном Пиккеринг этого не знали. Им казалось, что они ухвати-

¹ Подробнее об этом см. книгу Т. Саймон «Поиски планеты Икс», изд. «Мир», 1966.

² А. е. — астрономическая единица расстояний, равная среднему расстоянию от Земли до Солнца (149,6 миллиона километров).

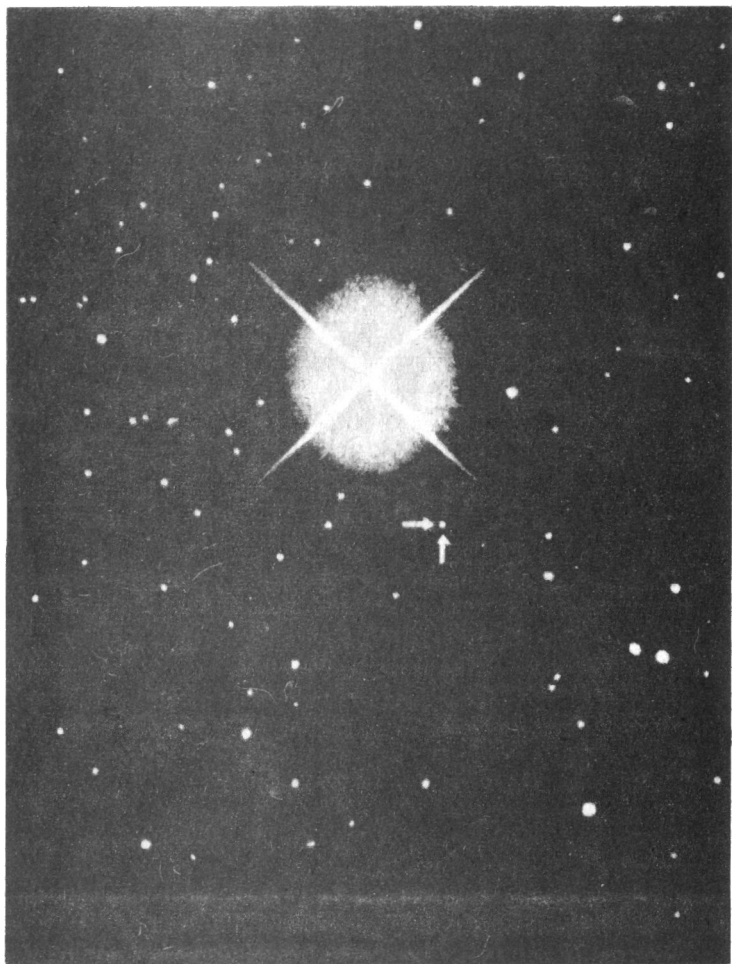


Рис. 3. На фотографии стрелками отмечен Плутон, находившийся в момент открытия вблизи одной из ярких звезд созвездия Близнецов.

ли жар-птицу за хвост. В неправильностях движения Урана и Нептуна они усматривали влияние Плутона. И оба вычислили орбиту «планеты Икс», и оба указали ее местоположение — созвездие Близнецов. И надо же такому случиться, что Томбо открыл Плутон именно в этом созвездии (откуда, кстати сказать, Плутон не ушел до сих пор)!

Нет, это не «ложка дегтя в бочке меда». Как и во всем, исследователям надо стремиться к истине. А в данном случае она заключается в том, что Ловелл и Пиккеринг блестяще применили метод поиска невидимых планет (не их вина, что исходные данные позже оказались ошибочными).

Теперь, после этой краткой исторической справки, читателю станут понятными невероятные трудности, связанные с поисками Трансплутона — невидимой, но, может быть, существующей заплутонной планеты. Уверенности в последнем, конечно, нет. Но есть некоторые факты, заставляющие считать гипотезу о Трансплутоне правдоподобной.

Среди множества комет, обращающихся вокруг Солнца, можно выделить несколько групп или семейств. Кометы, объединяющиеся в какое-нибудь семейство, имеют сходные орбиты. Так, например, афелии орбит (то есть самые далекие от Солнца их точки) комет «семейства Юпитера» группируются вблизи орбиты этой величайшей из планет. У Сатурна есть свое кометное семейство, с теми же отличительными признаками. По-видимому, образование кометных семейств вызвано гравитационным воздействием Юпитера и Сатурна — их притяжение так изменяет кометные орбиты, что они в конце концов приобретают орбиты, связанные с движением этих планет.

Как бы там ни было, но есть кометные семейства и у Урана, и у Нептуна, и даже у Плутона. Не считаться с этим фактом нельзя. Но тогда обращает на себя внимание группа из восьми комет, афелии которых расположены от Солнца почти на одинаковом расстоянии — около 70 а.е. И возникает естественный вопрос: не порождено ли это семейство комет тяготением невидимого Трансплутона?

С другой стороны, в движении Урана и Нептуна продолжают наблюдаться необъяснимые невязки. Можно, конечно, предположить, что они вызваны Плутоном. Но тогда этой планете придется приписать нереально большую массу и, соответственно, огромную среднюю плотность — около 50 г/см^3 , что в шесть раз больше плотности железа!

Немецкий астроном Критцингер поступил иначе. Часть невязок он приписал тяготению невидимого Трансплутона. И, по примеру своих знаменитых предшественников, в 1959 году опубликовал следующие данные об орбите Трансплутона:

Долгота перигелия	358°
долгота восходящего узла	206°
наклонность	38°
расстояние от Солнца	77 а. е.,
период обращения	676 лет.

Обратите внимание — расстояние от Солнца взято как раз таким, какое оно получается по правилу Тициуса — Боде для Плутона. Что это, ошибка? Нет. Просто Критцингер, как и некоторые другие зарубежные ученые, считает Плутон, так сказать, «не настоящей планетой», а бывшим спутником Нептуна. Отсюда и странности Плутона — его необычно вытянутая орбита, большая полуось которой никак не ложится в правило Тициуса — Боде.

Еще одна примечательная деталь: плоскость орбиты невидимого Трансплутона образует с плоскостью земной орбиты угол 38° . Выходит, что искать Трансплутон следует не только в полосе зодиакальных созвездий, но и в других, удаленных от эклиптики районах неба. Необычный характер орбит Плутона и Трансплутона привел кое-кого из астрономов к мысли, что, быть может, за орбитой Нептуна начинается второй пояс астероидов. Идея любопытная, но пока совсем, конечно, не обоснованная — надо сначала отыскать Трансплутон.

Поиски заплутонной планеты начались сразу же после открытия Плутона. И возглавил их все тот же неутомимый Клайд Томбо.

С 1930 по 1943 год Томбо и его коллеги систематически каждую ночь фотографировали звездное небо, а затем в лаборатории тщательно изучали полученные негативы. Если на этих снимках окажется зафиксированной неизвестная планета, она непременно выявит себя перемещением на фоне неподвижных звезд. Конечно, угловое смещение Трансплутона ничтожно, и за время двух-трехчасовой экспозиции его изображение не растянется в черточку (как это случается с близким к Земле астероидом). Но на двух негативах одного и того же участка неба, снятых с интервалом в несколько суток или недель, смещение искомой планеты должно стать заметным.

Так выглядит задача теоретически. На практике же все несравненно сложнее, и нередко исследователя подстерегают неприятные сюрпризы.

Общая площадь неба составляет 41 253 квадратных градуса. При поисках новых планет Томбо исследовал три четверти неба, то есть область с площадью в 30 000 квадратных градусов. В общей сложности за 7000 часов, проведенных в лаборатории, Томбо исследовал 90 миллионов изображений звезд. В итоге этой титанической работы открыты одна комета, 775 неизвестных астероидов, 1807 переменных звезд и 29 548 новых, никем до этого не зарегистрированных галактик.

И ни одной новой планеты или новой, неизвестной луны.

Неудача? Нет, успех, большой успех в познании Солнечной

системы. Сузились границы неведомого, и Клайд Томбо с полным основанием мог заявить, что никаких неизвестных удаленных планет ярче 16-й звездной величины не существует и любая планета между 16-й и 17-й звездной величиной имела бы достаточно шансов быть открытой.

И все-таки поиски Трансплутона будут продолжены с новыми, более мощными средствами исследования. Есть реальная возможность распространить обзор до звезд 20-й звездной величины, в миллионы раз более слабых, чем те, которые еле различает невооруженный глаз. Можно оценить и ожидаемые результаты. Так, например, тело, освещенное Солнцем и равное по размерам Земле, имело бы вид звездочки 20-й величины с расстояния 290 а.е. Такой же внешний облик приобрел бы Нептун на расстоянии 540 а.е. и Юпитер на расстоянии 950 а. е. Так как ожидаемое расстояние Трансплутона близко к 80 а. е., то даже при диаметре, равном земному, эта невидимая планета непременно станет доступной наблюдению как звездочка 18-й звездной величины. Правильнее сказать, ее можно увидеть, но, конечно, лишь после того, как она будет найдена. А искать ее придется среди мириад похожих на нее звездных изображений.

Что и говорить, работа не из легких. Придется затратить раз в десять больше труда, чем вложил в поиски Трансплутон Клайд Томбо. Может быть, будут предложены какие-то новые, менее трудоемкие методы поисков. Так или иначе, но, если существует заплутонная невидимая планета, она должна стать видимой!

КАК ВЗВЕСИЛИ НЕСУЩЕСТВУЮЩУЮ ПЛАНЕТУ

Если верить правилу Тициуса — Боде, между Марсом и Юпитером вокруг Солнца должна обращаться планета, радиус орбиты которой равен 2,8 а.е. На самом деле такой планеты нет. Точнее, в этом районе Солнечной системы движется вокруг Солнца не одна крупная планета, а тысячи малых планет — астероидов. И что примечательно — средний радиус орбит всех известных астероидов равен как раз 2,8 а.е.

Конечно, это совпадение — не единственный аргумент в пользу того, что когда-то существовала планета Фазтон, распавшаяся по неизвестным причинам на множество осколков. Часть из них, достаточно мелких, имеющих вытянутые эллиптические орбиты, сталкивается с Землей. В таких случаях попавшую к нам карликовую планету мы называем метеоритом. Изучая метеориты в лабораториях, ученые находят в их строе-

нии, составе и физических свойствах указания на то, что эти тела, по-видимому, когда-то входили в состав крупной земледобной планеты. В метеоритах найдены сложные органические соединения и микроскопические включения, очень похожие на простейшие ископаемые водоросли. Многие ученые полагают, что все это — следы жизни, когда-то существовавшей на погибшей планете Фаэтон.

Но если на Фаэтоне возникла жизнь и дошла в своем развитии до сравнительно совершенных, земледобных форм, то, значит, Фаэтон обладал атмосферой, водой и обстановка на нем напоминала земную. Если же астероиды и метеориты никогда не были объединены в крупную планету, а есть серьезные доводы и в пользу этого предположения, то на этих небольших небесных телах никогда не могла возникнуть жизнь. Вот почему, когда окончательно докажут, что метеориты несут в себе следы жизни, это будет означать, что Фаэтон реально существовал.

Пусть пока это не бесспорный факт, а лишь весьма вероятная гипотеза. Можно ли узнать, каковы были размеры и масса не только не видимой, но и ныне не существующей, гипотетической планеты Фаэтон?

Задача допускает разный подход, разные решения. Сегодня в каталогах астероидов числится 1685 объектов. Предпо-



Рис. 4. Таковы размеры некоторых из астероидов.

лагая, что известные нам малые планеты отражают солнечные лучи, скажем, так же, как Марс, можно по видимому блеску астероидов подсчитать их диаметр, а значит, и объем. Если затем мы сложим все эти объемы, то придем к выводу, что общий объем всех известных астероидов равен объему шара поперечником 1340 км, что почти в девять раз меньше диаметра Земли. Можно ли отсюда сделать вывод, что Фазтон имел именно такие размеры? Нет, конечно. Ведь в приведенных подсчетах учтены только открытые малые планеты. Значит, полученный результат — лишь первое приближение к истине.

Оценка станет точнее, если мы учтем невидимые, неоткрытые астероиды поперечником не меньше 1 км. Сделать это можно, зная по известным астероидам, как возрастает их количество с уменьшением размеров. Тогда, продолжив, или, как говорят, проэкстраполировав, эти зависимости вплоть до самых маленьких из открытых астероидов (их поперечники близки к 1 км), мы получим общее, суммарное количество всех как видимых, так и невидимых астероидов с диаметром не менее 1 км.

Допустим, что средняя плотность малых планет равна средней плотности Земли. Тогда получается, что общая масса всех астероидов, не меньших по поперечнику 1 км, равна одной тысячной массы земного шара.

Результат этот, конечно, лучше, точнее предыдущего. Но и он не может нас удовлетворить, так как заведомо занижает массу Фазтона. В самом деле, мы ведь не учли массу мелких и мельчайших астероидов диаметром в сотни метров, метры, сантиметры, микроны... Они малы, эти осколки Фазтона, но их почти неисчислимо много, и их общая масса, возможно, окажется значительной. Но вот вопрос — как ее найти?

Можно, конечно, поступить, как в предыдущем случае: продолжить зависимость между размерами астероидов и их количеством до частиц с поперечником в сантиметры или даже микроны. Но у нас нет уверенности, что эта зависимость строгая, точная и, используя ее, мы не упускаем большого количества невидимых астероидов. Вот тут и приходят на помощь надежные методы «астрономии невидимого». Общую массу всех малых планет, всего астероидного кольца можно оценить по тому возмущающему действию, которое оказывает это кольцо на движение Марса. Очевидно, что в этом случае будут учтены действительно все астероиды — и большие, и крошечные, и видимые, и невидимые.

Впервые этот метод применил Леверье. Рассмотрев необъясненные отклонения в движении перигелия марсианской

орбиты, Леверье подсчитал, что общая масса астероидов не превышает $\frac{1}{4}$ массы Земли и, скорее всего, близка к 0,1 массы земного шара. Этот результат с несущественными отклонениями был подтвержден позже и другими исследователями, причем у некоторых получалось, что Фазтон всего в шесть раз был легче Земли.

Если принять, что средняя плотность астероидов равна средней плотности земного шара, а общая масса малых планет составляет 0,1 массы Земли, диаметр Фазтона получается равным 5900 км. При средней же плотности в $3,7 \text{ г/см}^3$ поперечник Фазтона возрастает до 6880 км, что на 140 км превосходит диаметр Марса.

И опять — отметим это особо — наша оценка оказалась заниженной. Мы «взвесили» современное астероидное кольцо, но ведь раньше оно было, судя по всему, намного массивнее. Нет другого места в Солнечной системе, где процессы дробления, измельчения совершались бы с такой неотвратимой последовательностью, как здесь, между орбитами Марса и Юпитера. Сталкиваясь между собой, астероиды раскалываются на еще меньшие осколки, а те, в свою очередь, дробятся дальше, в конце концов превращаясь в мелкую и мельчайшую космическую пыль. При взаимных соударениях осколки приобретают сильно вытянутые орбиты, которые уводят их из кольца астероидов. За десятки, сотни миллионов лет, протекших с момента гибели Фазтона, сколько тонн его вещества упало на Солнце, планеты, луны и потому сегодня уже не может быть учтено! Ведь только на Землю ежегодно выпадает до 100 тысяч тонн твердого раздробленного космического вещества.

Похоже, что Фазтон действительно был крупной, землеподобной планетой. Если, конечно, он вообще когда-то существовал...

МНОГО ЛИ ПЛАНЕТНЫХ СИСТЕМ!

Хотя мы отлично знаем, что Земля лишь крошечный уголок мироздания, одна из множества планет бесконечной Вселенной, эта истина все же воспринимается скорее разумом, чем сердцем. Непосредственное чувство, что там ни говори, заставляет нас считать Землю главной частью космоса, если угодно, средоточием мира. Для нас так оно и есть — что может быть ближе, важнее родной планеты? Между тем для воображаемого постороннего «космического» наблюдателя, вооруженного теми же средствами исследования, какими об-

ладаем и мы, даже само существование Земли будет по меньшей мере сомнительным.

Нет, я говорю не о межзвездных дистанциях и, разумеется, не о поисках Земли из другой галактики. Даже при наблюдениях с Юпитера Земля окажется труднонаблюдаемым объектом, так как она почти постоянно будет скрываться вблизи Солнца, в его ослепительных лучах. С Плутона же Земля вряд ли вообще могла быть обнаружена с помощью наших современных средств исследования.

Теперь представьте себя в роли жителя планеты, обращающейся вокруг Альфы Центавра — ближайшей к нам звезды. С такого расстояния ни в один современный телескоп увидеть Землю, конечно, нельзя.

И не только Землю, но и вообще любую из планет Солнечной системы. Оптически, так сказать, наше Солнце будет выглядеть одиночной звездой. Вся наша планетная семья перейдет в разряд невидимых космических тел. И останется лишь один способ убедиться в существовании невидимых спутников Солнца — попробовать уловить неправильности в его движении, вызванные притяжением планет.

Будь Солнце одиночной звездой, оно обращалось бы вокруг центра Галактики по кривой, близкой к эллипсу. Галактическая орбита Солнца невообразимо велика, и полный оборот вокруг ядра Галактики Солнце вместе с планетами завершает за 180 миллионов лет. Понятно, что короткий отрезок пути в этом случае будет почти прямолинейным, если бы, повторяем, Солнце было одиноко. На самом же деле тяготение планет искривляет путь Солнца в пространстве, и эти отклонения от почти прямолинейного движения и есть признак существования невидимых планет.

К сожалению, применяя на практике этот метод, нельзя выяснить, сколько планет обращается вокруг Солнца и какая каждая из них. Уклонения в движении Солнца вызваны объединенным, суммарным действием всех планет, главным образом крупнейших из них.

В итоге наших воображаемых наблюдений с Альфы Центавра мы пришли бы к неожиданному выводу, что вокруг Солнца обращается массивная планета, в тысячу раз более легкая, чем Солнце, и ее период обращения близок к 59 годам!

В чем дело? Чем вызвана эта странная ошибка?

Разгадка — в «близорукости» применяемого метода. Оказывается, каждые 59 лет Юпитер и Сатурн располагаются на своих орбитах по одну сторону от Солнца. В этот период их возмущающие действия складываются, и они застав-

ляют Солнце в большей степени, чем когда-либо в другие моменты, отклониться от своего почти прямолинейного пути. Вот эти главные, самые заметные отклонения мы и посчитали за воздействие одной планеты, нашли ее характеристики и... ошиблись! Земля по-прежнему осталась неразличимой, но зато установлен важный факт: у Солнца есть один или несколько невидимых спутников с массой, близкой к типичным массам планет.

Теперь рассмотрим задачу с другой стороны: мы — на Земле и хотим выяснить, какие из звезд обладают невидимыми спутниками. Сформулированная таким образом, эта задача была впервые поставлена и успешно решена еще в прошлом веке знаменитым немецким астрономом и математиком Ф. Бесселем.

В 1834 году он заподозрил странные неправильности в движении двух ярких звезд — Сириуса и Проциона. Проведенные позже точные измерения подтвердили первоначальную догадку, и в 1844 году в письме к выдающемуся немецкому естествоиспытателю и путешественнику А. Гумбольдту Бессель высказал твердое убеждение, что «Процион и Сириус составляют каждый настоящую систему двойных звезд, куда входят по одной видимой и одной невидимой звезде».

В 1862 году при испытании нового телескопа действительно рядом с Сириусом был обнаружен его слабосветящийся спутник, а в 1896 году та же история повторилась и с Проционом.

Спутники Сириуса и Проциона — не планеты, а звезды, правда необычные, маленькие, горячие и очень плотные. Это — первые «белые карлики», открытые астрономами, и если теперь мы вспоминаем историю их открытия, то лишь по двум причинам. Во-первых, предсказанное заранее открытие невидимых до этого спутников Сириуса и Проциона считается одним из самых примечательных эпизодов в истории «астрономии невидимого». И, во-вторых, гравитационный метод поисков невидимых спутников звезд одинаково приложим к любым таким спутникам, будь это звезды или планеты.

Регулярные поиски планетных систем начались с 1938 года. К настоящему времени в ближайших окрестностях Солнца найдено несколько звезд, обладающих невидимыми спутниками. Уточним: в огромной сфере с центром в Солнце и радиусом около 33 световых лет насчитывается 53 звезды, и вокруг пяти из них кружатся какие-то невидимые тела, «искривляющие» почти прямолинейный полет этих звезд.

К сожалению, большинство из этих тел нельзя считать планетами — слишком велики их массы. Так, например, в со-

звезды Большого Пса известна маленькая звездочка 11-й звездной величины, занесенная в Каталог Росса под номером 614. Неправильности в ее движении давно уже обратили на себя внимание астрономов. Ныне установлено, что звезда Росс 614 имеет невидимого спутника, который обращается вокруг нее по вытянутой эллиптической орбите на среднем расстоянии, почти вчетверо большем астрономической единицы. И орбита не похожа на планетную, и масса разочаровывает — она в 80 раз больше массы Юпитера. Если Юпитер считается полузвездой и по некоторым определениям эта целиком газообразная планета имеет в центре температуру около 120 тысяч градусов, то невидимый спутник звезды Росс 614 заведомо должен быть самосветящейся звездой. И действительно, в 1955 году в крупнейший 5-метровый рефлектор обсерватории Паломар его наконец заметили, но не визуальным, глазом, а на фотографии, как очень слабый звездообразный объект. Позже убедились, что это на самом деле не планета, а обычная красная карликовая звездочка.

Другой пример — невидимый спутник звезды 61 Лебеда, той самой знаменитой звезды, до которой в 1837 году Бессель впервые удалось измерить расстояние (11 световых лет). Звезда 61 Лебеда двойная. При наблюдении даже в небольшие телескопы легко увидеть, что она состоит из двух оранжевых звездочек, истинное расстояние между которыми вдвое больше поперечника Солнечной системы.

Известный пулковский астроном А. Н. Дейч потратил много сил и времени, прежде чем ему удалось выяснить, каков невидимый спутник, обращающийся вокруг одной из звезд описанной пары. По первоначальным подсчетам получилось, что масса невидимого спутника лишь в 16 раз больше массы Юпитера. Есть, однако, подозрение, что вокруг одной из звезд 61 Лебеда кружится не один, а несколько невидимых спутников. Сейчас это проверяется на основе очень точных измерений тех неправильностей, которые выявлены в движении звезды. Если предположение оправдается, то можно будет с уверенностью утверждать, что звезда 61 Лебеда (А) обладает планетной системой.

Пока же только в одном случае найден невидимый спутник, похожий на планету. Обращается он вокруг звезды Летящей, исследованной в свое время Барнардом.

Летящая Барнарда названа так не случайно. Это самая быстрая из известных нам звезд, точнее, звезда, смещающаяся на небе заметнее всех других. За 180 лет она перемещается на величину, равную видимому поперечнику Луны, и через тысячелетие Летящая Барнарда покинет созвездие Змееносца, на

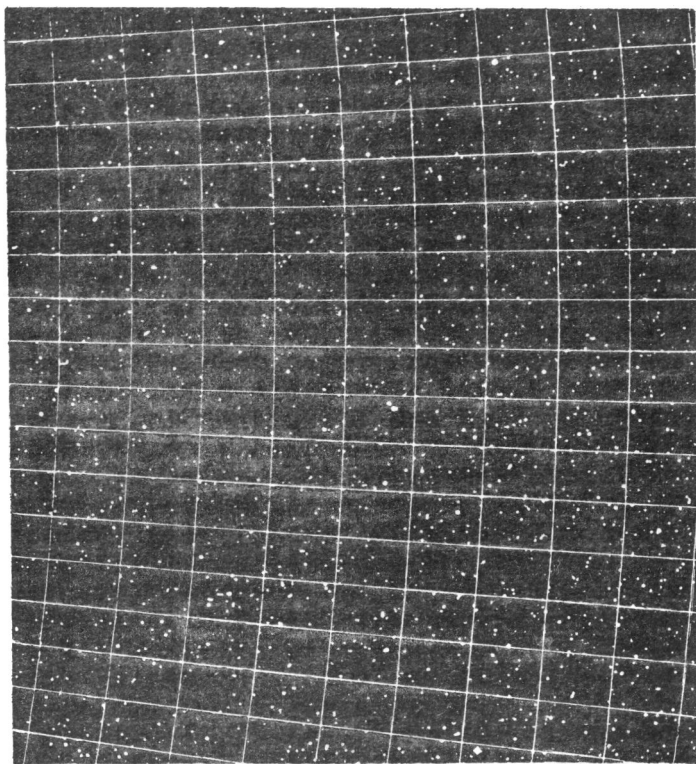


Рис. 5. Телескопы открыли человечеству множество миров, невидимых невооруженным глазом. Внизу, в маленьком прямоугольнике, — участок звездного неба, видимый глазом;верху — тот же участок при наблюдении в небольшой телескоп.



фоне которого ныне ее наблюдают. Стоит добавить, что после тройной звезды Альфа Центавра Летящая Барнарда — самая близкая к нам.

И вот у этой красной карликовой звезды в 1963 году астроном ван де Камп обнаружил невидимый спутник, по массе лишь в полтора раза больший, чем Юпитер. Вот это уже настоящая планета типа планет-гигантов Солнечной системы! Она обращается вокруг звезды с периодом в 24 года, что близко к «году» Сатурна (29 земных лет).

Легко писать об этих результатах, но как невероятно трудно было их получить! Четверть века наблюдали Летящую Барнарда. За 609 ясных ночей было получено 2413 негативов. Измерения положений звезды на них и привели к открытию первой чужой планетной системы. Но то, что такая система найдена в окрестностях Солнца, не может быть чистой случайностью. Этот факт доказывает, что общее число планетных систем в нашей Галактике, а тем более во всей наблюдаемой нами части Вселенной должно быть очень большим.

Можно подсчитать, что планета в системе Летящей Барнарда должна выглядеть звездочкой 30-й звездной величины, очень близко расположенной на небе от звезды и потому «тонущей» в ее лучах. Различить ее в современные телескопы, конечно, невозможно — самые слабые из доступных ныне космических объектов имеют 23-ю звездную величину. Впрочем, уже теперь намечаются средства для наблюдения в будущем даже таких неуловимых пока что для нас объектов.

Представьте себе, что в фокусе телескопа помещена специальная диафрагма. Она заслоняет звезду, оставляя открытой ее ближайшую окрестности. В условиях такого искусственного звездного «затмения» имеет смысл поискать планеты рядом со звездой. Чтобы увеличить зоркость, целесообразно применить особые приборы — фотоумножители, играющие в оптике такую же роль, как усилители в радиотехнике. Даже если планета посылает ничтожно малое количество света, с помощью фотоумножителей есть шансы его уловить.

С постройкой заатмосферных обсерваторий с телескопами очень больших размеров рано или поздно появится возможность прямого наблюдения планет у ближайших звезд. Но это — дело не слишком близкого будущего. Пока же познакомимся еще с двумя методами, позволяющими уже сегодня, правда косвенным путем, разыскивать невидимые спутники звезд.

Вообразите себе, что луч зрения наблюдателя лежит в плоскости орбиты невидимой планеты данной звезды. Тогда периодически планета должна частично заслонять звезду и тем самым уменьшать ее видимую яркость. В Солнечной системе такие события нередки, и уже много раз удавалось наблюдать прохождение Венеры и Меркурия на фоне солнечного диска. Разумеется, ослабление солнечного света при этом крайне незначительно — не то что при солнечных затмениях. Но точными фотометрами его можно обнаружить. То же самое можно сделать и при наблюдениях некоторых звезд.

Идея этого фотометрического метода, как видите, весьма проста. Замечательно, что впервые он был применен еще в XVIII веке молодым английским любителем астрономии Джоном Гудрайком. Может быть, потому, что внешний мир этим глухонемым юношей воспринимался главным образом посредством глаз, он страстно увлекся астрономией и не только сам внимательно наблюдал звезды, но и изучал наблюдения своих предшественников.

Сохранились интересные записи арабских средневековых астрономов об одной звезде из созвездия Персея, которую они называли «Звездой Дьявола» (или по-арабски «Эль-Гуль»). Причиной для этого необычного наименования послужили те загадочные колебания блеска, которые отличали «Звезду Дьявола» от других звезд.

Наблюдая Алголь (так теперь называют эту звезду), Гудрайк подметил, что видимая яркость этой звезды меняется с периодом в 2 дня 20 часов 49 минут. При этом в течение 2 дней 11 часов блеск остается неизменным, а затем в продолжение последующих 9 с лишним часов он уменьшается в шесть раз, чтобы потом снова возрасти до прежней величины.

После долгих размышлений Гудрайк сделал правильный вывод: вокруг Алголя обращается невидимый спутник, периодически заслоняющий собой звезду. Гипотеза эта полностью оправдалась, и на рисунке 6 вы видите график изменения блеска этой звезды.

Наверное, вы заметили важную деталь. Кроме двух

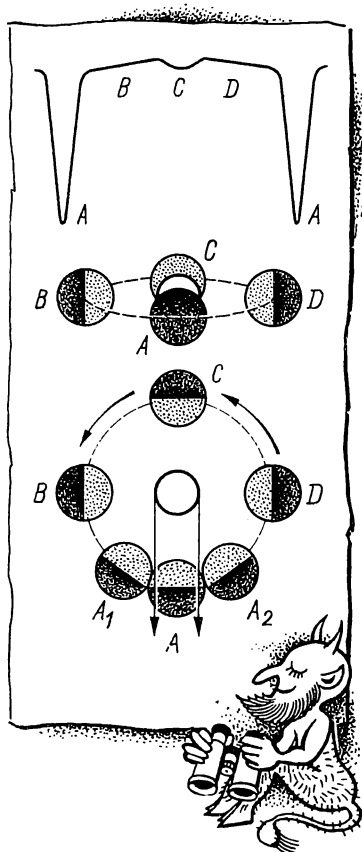


Рис. 6. Затменно - переменная звезда Алголь. Вверху — график изменения ее блеска. Внизу — схемы, поясняющие эти изменения.

главных минимумов, кривая блеска имеет еще минимум вторичный, расположенный между главными. Главные минимумы наступают тогда, когда невидимый спутник закрывает собой главную звезду. Вторичный минимум получается, очевидно, тогда, когда главная звезда закрывает собой спутник. Но ведь при этом общий блеск системы уменьшается. Значит, спутник сам светится, то есть это не планета, а звезда.

В настоящее время известны сотни звезд, похожих на Альголь. Их называют затменно-переменными звездами, и почти во всех случаях кривые их блеска имеют вторичный минимум. Иначе говоря, затменно-переменные — это двойные звезды, а вовсе не звезды, обладающие планетными системами. Но можно, применяя фотометрический метод, попробовать искать невидимые планеты у некоторых звезд.

Расчеты приводят к выводу, что если планета, подобная Юпитеру, покрывает часть диска звезды, похожей на Солнце, то яркость звезды уменьшится при этом на 0,01 звездной величины. Даже современные электрофотометры могут зафиксировать такую величину. Беда, правда, в том, что требуется исключительное стечение обстоятельств — луч зрения наблюдателя должен лежать в плоскости орбиты планеты. Такие случаи, конечно, не часты, но опыт наблюдения затменно-переменных звезд показывает, что искать невидимые планеты при помощи фотометрического метода все же стоит.

Физикам давно известно явление, называемое принципом Допплера — Физо. Выражается он в том, что источник света, удаляющийся от нас, чуть-чуть краснеет, а приближающийся — синеет. Говоря более строго и точно, в спектре приближающегося источника света линии смещаются к фиолетовому концу, а в спектре удаляющегося источника — к красному. Мало того, по величине смещения спектральных линий легко подсчитать скорость источника света.

Пусть вокруг звезды обращается невидимый спутник. Когда мы говорим «обращается», то употребляем выражение не совсем точное. На самом деле по законам небесной механики всегда и во всех случаях два тела обращаются вокруг общего центра тяжести, и потому ни одно из них не остается неподвижным. Если массы обоих тел одинаковы, центр тяжести находится посередине между ними, и оба тела обращаются по одной орбите. Если же одно тело несравненно массивнее другого, то центр тяжести лежит внутри главного, тяжелого тела. При поверхностном взгляде извне может создаться впечатление, что большое тело неподвижно, а маленькое обращается вокруг него. На самом деле это не так — движутся по-прежнему оба тела, но орбита, описываемая маленьким телом,

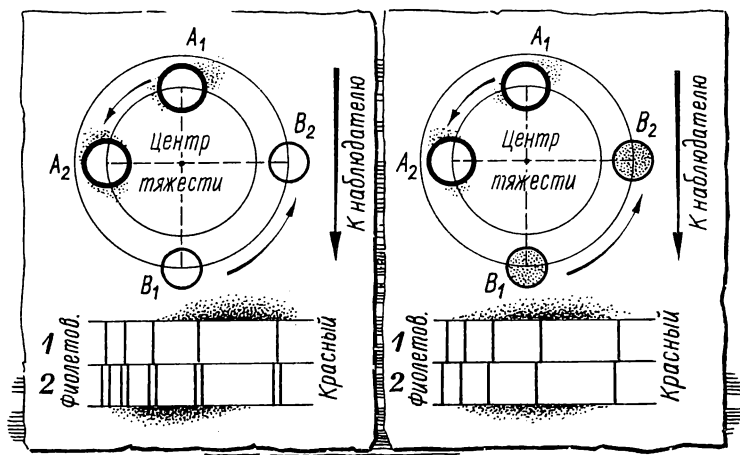


Рис. 7. Спектральные линии в спектре тесной двойной звезды или периодически раздваиваются (если светят обе звезды), или периодически смещаются (если одна из звезд невидимая).

весьма велика и потому заметна, а орбита крупного тела не-приметно мала. Однако в спектре главного тела это движение непременно проявится, и при достаточной точности наблюдений земной исследователь его обнаружит, если только, конечно, плоскость, в которой движутся оба тела, не перпендикулярна лучу зрения.

В самом деле, обращаясь по своей, пусть очень небольшой, орбите, звезда будет то приближаться к наблюдателю, то удаляться от него. Значит, в спектре звезды линии периодически будут смещаться то к красному, то к фиолетовому концам. Если таких смещений нет, звезда одиночна, если они есть, звезда имеет невидимого спутника.

Таков спектральный метод обнаружения других планетных систем. В принципе он годится, но существующие инструменты еще слишком грубы, чтобы подобным путем найти планеты вокруг звезд. Пока что этим способом удалось отыскать другое — множество так называемых спектрально-двойных звезд, каждая из которых в отдельности неразличима (из-за близости одной к другой) ни в какой телескоп.

И все-таки мы уверены, что планет в космосе очень много. В этом нас убеждает не только открытие невидимых спутников звезд, но и другие факты.

Если бы все планеты Солнечной системы упали на Солнце, они бы передали при этом Солнцу свой «запас движения», и Солнце по законам небесной механики стало бы вращаться вокруг оси в сотни раз быстрее, чем теперь. При отделении же от Солнца планет вращение Солнца резко бы замедлилось.

Можно думать, что все медленно вращающиеся и не очень горячие звезды нашей Галактики обладают планетными системами. Таких звезд только в нашей Галактике многие миллиарды. И на сотнях миллионов этих невидимых планет жизнь в своем развитии, вероятно, достигла высших форм.

БЫВШИЕ ЗВЕЗДЫ

Известно древнее невеселое изречение: «Все возникающее достойно гибели». Напомним и другую азбучную истину: ничто не вечно в этом мире, кроме самого мира, всей Вселенной. Любой предмет — одушевленный или неодушевленный, безразлично — когда-то возник и когда-то исчезнет. Это общее правило — или, лучше сказать, закон природы — применимо, разумеется, и к звездам.

Звезды по своему устройству — тела несравненно более простые, чем человек или даже любое известное нам живое существо. Каждая звезда — исполинский газовый шар. Огромная масса (Солнце, например, весит $2 \cdot 10^{27}$ т) приводит к тому, что в недрах звезды создаются невообразимо высокие давления. Так, например, вышележащие слои Солнца давят на его центральные области с силой 10^{10} атм! Но если сжимать газ, он разогреется. Можно подсчитать, что в недрах Солнца и ему подобных звезд температура близка к 15 миллионам градусов.

Но это не просто невообразимая жара, при которой немислимо твердое или жидкое состояние вещества. При температуре в полтора десятка миллионов градусов и огромной плотности в недрах Солнца и звезд неизбежно возникают ядерные реакции. Суть их сводится (например, для Солнца) к превращению водорода в гелий. Первое из этих веществ, наиболее обильное в природе, служит исходным материалом. Гелий — конечный продукт ядерных реакций.

Заметим (это важно для дальнейшего), что в процессе ядерных реакций солнечное вещество превращается в свет, в излучение. Солнце светит и... «тает», превращая каждую секунду в лучи света 4 миллиона тонн своего вещества. Кстати сказать, этим веществом можно было бы нагрузить 4 тысячи товарных поездов, по 50 вагонов в каждом!

Ядерные реакции такого типа, какие сейчас поддерживают свечение Солнца, будут продолжаться, вероятно, еще миллиарды лет. Затем они должны смениться ядерными реакциями другого типа, и так будет до тех пор, пока не израсходуются все запасы ядерного топлива и в недрах Солнца не создастся обстановка, при которой дальнейшие ядерные реакции не будут давать прежнего мощного выхода энергии. Рано или поздно Солнце и любую другую звезду ждет один конец — постепенное погасание и превращение в несамосветящееся темное, невидимое тело.

Пока неясно, может ли что-либо (кроме, скажем, взаимных столкновений или особых гравитационных взрывов) оживить эти звездные трупы. Более того — нет пока никаких указаний на реальное существование в нашей Галактике таких бывших звезд. Если бы их было очень много, они неизбежно повлияли бы на движение видимых звезд или в чем-то ином проявили свое существование. Но, повторяю, до сих пор ни одна бывшая звезда пока не открыта.

Известный американский астроном Харлоу Шепли, однако, полагает, что в Галактике есть немало карликовых полупогасших звезд. Они уже покрылись твердой корой, но внутри себя еще сохранили звездный жар. Обнаружить эти остывшие звезды-лилипуты очень трудно — массы их малы, а значит, неуловимо малы и вызываемые ими возмущения в движении обычных звезд. Собственное свечение они утратили и потому в телескопы невидимы.

Не исключено (и Шепли развивает эту смелую мысль), что на поверхности погасшей звезды все-таки теплится какая-то жизнь, поддерживаемая сохранившимся внутри жаром.

В этом странном мире господствующим было бы длинноволновое излучение твердой коры звезды. И фантазия подсказывает Шепли образы странных существ, «видящих» радиоволны.

Как знать, может быть, когда-нибудь астрономы встретят бывшие звезды. А если их пока нет, то это, по-видимому, означает, что наша Галактика еще молода.

ДОЗВЕЗДНЫЕ ТЕЛА

Издавна образование небесных тел мыслилось как результат сгущения каких-то огромных разреженных масс космического вещества. Эта старая идея ведет начало от древних фантастических легенд о сотворении мира. Ее можно найти в основе почти всех космогонических гипотез. Но так ли уж

бесспорна эта схема? Нельзя ли представить себе процессы совсем иного рода, создавшие видимый нами космос? Не идет ли развитие мира (в главном, основном) от плотного и даже сверхплотного состояния вещества к состоянию разреженному?

Нужно было обладать смелостью и прозорливостью Виктора Амазасповича Амбарцумяна, советского академика, одного из выдающихся астрономов мира, чтобы вопреки установившимся взглядам развить и обосновать гипотезы об образовании звезд и галактик из сверхплотных дозвездных невидимых тел.

Когда в 1947 году В. А. Амбарцумян открыл существование звездных ассоциаций и впервые высказал идею о необычном дозвездном состоянии вещества, он поначалу нашел не много сторонников. Как все новое, необычное, гипотеза Амбарцумяна мужала в борьбе с традиционными, привычными взглядами. И хотя у нее осталось немало противников, факты заставляют думать, что развитие от сверхплотного к разреженному вполне возможно в природе.

Что же это за факты?

Представьте себе огромный, многомиллионный город типа, скажем, Москвы или Ленинграда. Вы — житель этого города и имеете в нем много знакомых. И вот однажды с вами происходит странная история: совершенно случайно, не сговариваясь, вы встречаетесь на улице одновременно с десятью вашими знакомыми. Согласитесь, что этот выдуманный случай выглядит совершенно невероятным. Так в жизни не бывает.

Другое дело, если вы заранее сговоритесь с приятелями пойти на стадион. Тогда тот факт, что среди тысяч болельщиков вы оказались вместе, ничего удивительного, конечно, в себе не заключает.

Звездными ассоциациями В. А. Амбарцумян назвал группировки однотипных или близких по свойствам звезд, объединение которых в ограниченном и сравнительно небольшом объеме пространства нельзя считать игрой случая.

Различают два типа звездных ассоциаций: так называемые О-ассоциации и Т-ассоциации. Первые из них — это объединение гигантских горячих звезд. Вторые включают в себя холодные карликовые звезды с некоторыми необычными физическими свойствами.

И те, и другие звезды сравнительно редки в звездном мире. Когда мы неожиданно находим среди звездной россыпи группировки таких звезд, ясно, что свел их не случай, а причины более основательные — общее происхождение. Звезд-

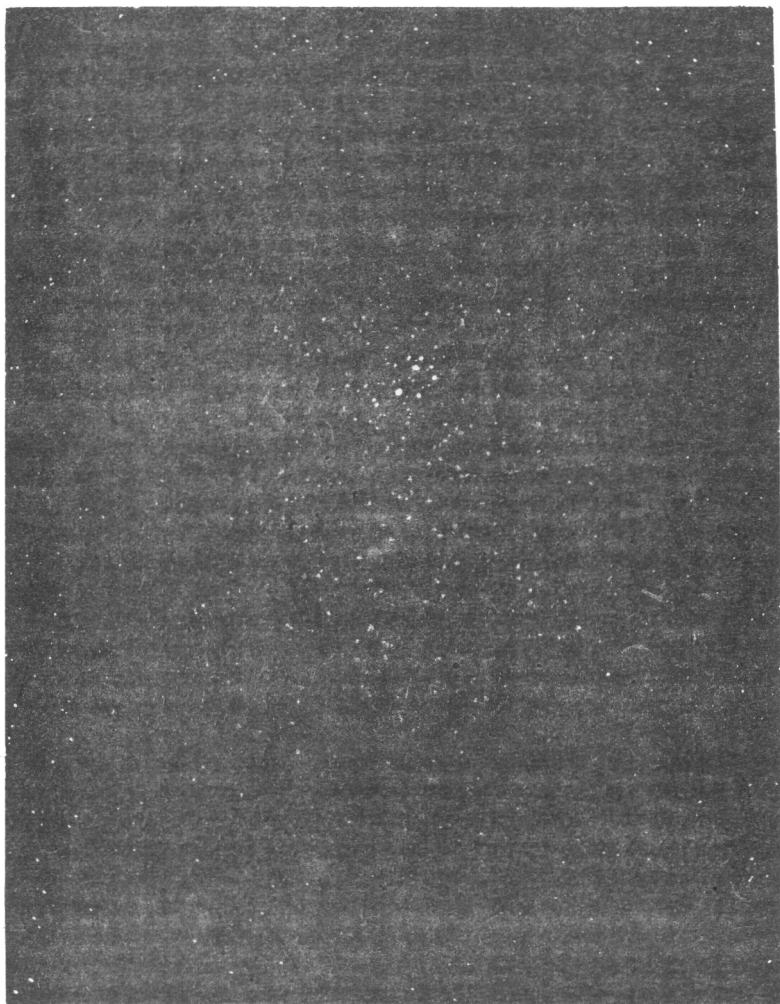


Рис. 8. Звездное скопление Плеяды. Как и звездные ассоциации, эта группа звезд образовалась совместно.

ные ассоциации образовались недавно — миллионы или десятки миллионов лет назад. Старше они никак быть не могут — под действием тяготения других звезд Галактики каждая ассоциация должна быстро «рассосаться», раствориться среди множества других звезд. Если же этого пока не произо-

шло, значит, она молода, значит, возникла она сравнительно недавно.

В 1952 году открыли, что некоторые из ассоциаций расширяются, причем так, что объяснить это расширение притяжением окружающих звезд и центра Галактики не удастся. Похоже, что какие-то силы выбросили звезды из центра ассоциации и теперь они разлетаются во все стороны со скоростями, в среднем близкими к 5—10 км/сек. Если считать, что так звезды движутся с момента своего зарождения в центре ассоциации, то можно подсчитать, что возраст некоторых ассоциаций никак не больше нескольких миллионов лет!

Складывается впечатление, что если не все, то, по крайней мере, многие из звезд возникают группами, образуются в ассоциациях и процесс звездообразования продолжается в настоящую эпоху.

Все, казалось бы, стройно, убедительно, но не хватает, пожалуй, главного. Мы не видим тел, из которых возникают звезды. В центре звездной ассоциации вроде бы нет ничего, что можно посчитать «родителями» звезд: обычное черное межзвездное пространство, усеянное множеством далеких, не имеющих отношения к ассоциации звезд. Значит, если в центре ассоциации все-таки есть дозвездные тела, то они должны быть очень маленькими (иначе бы мы их увидели) и в то же время исключительно массивными (иначе из них не могли бы образоваться тела такой огромной массы, как звезды). Но колоссальная масса и ничтожно малые размеры мыслимы только, очевидно, для сверхплотных тел. Вывод ясен: если дозвездные тела реально существуют, они должны быть сверхплотными.

То, что уже сказано о звездных ассоциациях, повторяется, только в несравнимо больших масштабах, в мире галактик — далеких звездных системах.

На современных фотоснимках, сделанных с помощью специальных мощных фотокамер, видны миллионы галактик. Самые крупные и близкие из них обнаруживают заметную структуру, нередко спиралеобразную. Большинство же галактик выглядят крошечными пятнышками, которые только специалист сможет отличить от звезд. Кстати сказать, на некоторых участках негатива звезд иногда видно меньше, чем галактик — этих великих звездных систем, каждая из которых включает в себя миллионы, миллиарды звезд.

Как и среди звезд, в мире галактик наблюдается стремление к сгущиванию, к объединению галактик в двойные, кратные системы. Иногда же встречаются даже облака галактик, включающие в себя тысячи звездных систем. Что свело их

вместе? Не связаны ли группы, «ассоциации» галактик общим происхождением?

В некоторых случаях такой вывод напрашивается сам собой. Вот, например, известная группа из пяти галактик, получившая у специалистов наименование Квинтет Стефана. Четыре из них удаляются от Земли со скоростью 6695 км/сек . Пятый же член системы отстает от других — земной наблюдатель фиксирует у него скорость всего в 1073 км/сек . Нужно ли долго пояснять, что пятая галактика Квинтета Стефана удаляется от остальных четырех со скоростью, большей 5000 км/сек . Иначе говоря, мы наблюдаем здесь нечто напоминающее расширение звездных ассоциаций. Только другие масштабы, иные, гораздо большие скорости. По нашим, земным, представлениям расширение Квинтета Стефана с полным основанием можно назвать взрывоподобным.

Единственный ли это пример? Нет. Открыта группа из трех галактик, в которой одна из звездных систем удаляется от остальных со скоростью около 7000 км/сек . Известны и другие, не менее выразительные случаи.

Более того, ядра некоторых галактик обладают поразительной активностью. Из них истекают с огромными скоростями облака межзвездного водорода, причем не видно тел, которые могли бы порождать столь мощные процессы. Да и наблюдаемых в ядре запасов вещества (главным образом в форме звезд) явно недостаточно, чтобы объяснить странную «расточительность» галактических ядер.

Такова, например, одна из галактик в созвездии Девы. Из нее выброшено нечто вроде струи, точнее — ряд сгущений, как бы нанизанных на невидимый стержень. Массы, скорости, свечение этих сгущений остались бы совершенно необъяснимыми, если думать по традиции, что ядра галактик состоят только из звезд, газовых и пылевых туманностей. Можно предположить, как это делает В. А. Амбарцумян, что в этой далекой звездной системе мы наблюдаем явные проявления дозвездного вещества. Сконцентрированное где-то около центра галактик, сверхплотное, начиненное огромнейшими запасами внутренней энергии, оно породило и извергло огромные массы звездного вещества. Правда, большинство астрономов считает, что взрыв в галактике из созвездия Девы не связан с дозвездным веществом, а имеет какую-то иную, не вполне еще ясную природу.

Недавно в центре нашей Галактики и туманности Андромеды открыли странные объекты — маленькие шаровидные объекты, поперечником всего около 16 световых лет, что во много тысяч раз меньше поперечника звездной системы. Вряд



Рис. 9. Туманность Андромеды.

ли случайно эти объекты расположены в самом центре галактик, служа их сердцевиной. Скорее можно думать, что они играют большую роль в жизни многих галактик, и не исключено, что в них когда-нибудь будет найдено загадочное дозвездное вещество.

Впрочем, пока дозвездное вещество остается невидимым. Что-то очень мощное управляет жизнью звезд и галактик,

предпочитая оставаться «в тени». Одно несомненно: дозвездные тела, судя по всему, должны быть невидимыми, сверхплотными, обладающими невообразимыми запасами вещества и энергии.

Вполне возможно, как пишет об этом В. А. Амбарцумян, «свойства дозвездного вещества являются качественно новыми для нас» и потому не поддающимися легкому объяснению. Поэтому В. А. Амбарцумян предлагает «собрать по возможности больше опытных данных о внешних проявлениях дозвездного вещества, искать эти проявления и изучать их закономерности».

Если гипотеза В. А. Амбарцумяна будет окончательно доказана, выходит, что космос наполнен невидимыми сверхплотными телами. Им мы обязаны своим существованием, так как из них возникают звезды и, вероятно, когда-то возникло Солнце — источник жизни на Земле. В этих невидимых телах заключена главная сила, мощь космоса. Все, что мы видим, — лишь порождение этого невидимого. Странная картина, не правда ли? Впрочем, надо еще убедиться, соответствует ли она истине.

РЕКОРДЫ СВЕРХПЛОТНОСТИ

Идея о невидимых сверхплотных космических телах возникла задолго до открытия первых звездных ассоциаций. Поводом для этого послужили вспышки так называемых сверхновых звезд.

Термин «сверхновые» не принадлежит к числу удачных. Некоторые из звезд по причинам не вполне пока ясным взрываются. Взрывы сопровождаются выделением невообразимого количества энергии. В эти моменты с Земли мы фиксируем появление на небе незнакомой звезды. Естественно, что в древности такое событие расценивалось как зарождение в буквальном смысле слова новой звезды. На самом же деле вспыхнула, разгорелась давно существовавшая неприметная звездочка. Если при вспышке звезды выделяется 10^{45} эрг, она называется новой, если же энергия взрыва в сотни тысяч раз больше, говорят, что вспыхнула сверхновая звезда.

Разница здесь, однако, не только в словах. Новые звезды, по-видимому, могут вспыхивать неоднократно на протяжении своей долгой жизни. Вспышка же сверхновой звезды уникальна, неповторима. Испытав такую вспышку, звезда переходит в совершенно иное физическое состояние, и то, что с ней произошло, судя по всему, повториться не может. Очень

трудно указать процессы, которые могли бы сопровождаться выделением энергии в 10^{50} эрг. Кстати сказать, величина эта трудно представима.

Не знаю, почувствовали ли вы мощь звездных взрывов, но для астрономов еще несколько десятилетий назад возникла проблема, как все это можно объяснить. И вот в 1938 году известный американский астроном Д. Цвикки высказал интересную гипотезу. По его мнению, вспышки сверхновых звезд вызваны превращением обычных звезд в сверхплотные нейтронные звезды.

В окружающей нас привычной повседневной обстановке каждый атом вещества состоит из положительно заряженного ядра и обращающихся вокруг ядра электронов. Когда же вспыхивает сверхновая звезда, она сбрасывает с себя внешние разреженные газовые оболочки, и остается лишь «оголенное» плотное ядро звезды, состоящее в основном из нейтронов — частиц, по массе близких к протонам, но не имеющих электрического заряда.

Плотность такой нейтронной звезды должна быть близка к плотности атомных ядер — 10^{14} г/см³. Вероятно, эта величина станет более наглядной, если мы сообщим, что булавочная головка, изготовленная из вещества нейтронной звезды, весила бы 100 тысяч тонн! Это куда больше плотности белых карликов — маленьких, очень плотных горячих звезд, к которым относится и упомянутый выше спутник Сириуса. Когда раньше писали, что спичечный коробок с веществом спутника Сириуса уравнивал бы 60 человек, это поражало воображение. Что же можно сказать о плотности нейтронных звезд?

И все-таки это не самые плотные из возможных, теоретически рассчитанных, но практически еще не найденных небесных тел.

В 1963 году советские академики В. А. Амбарцумян и Г. С. Саакян теоретически обосновали возможность существования не только нейтронных, но и еще гораздо более плотных гиперонных звезд. Поясим основные результаты их расчетов.

В природе существует три типа элементарных частиц — лептоны, мезоны и барионы. Первые из них — самые легкие. К ним относятся электрон, позитрон, нейтрино и др. В группу лептонов помещают и фотон — элементарную «порцию света», обладающую некоторыми свойствами обычных частиц.

Мезоны — частицы средней массы, примерно в 200—1000 раз более тяжелые, чем электрон. Но все они уступают барионам — наиболее массивным из элементарных частиц.

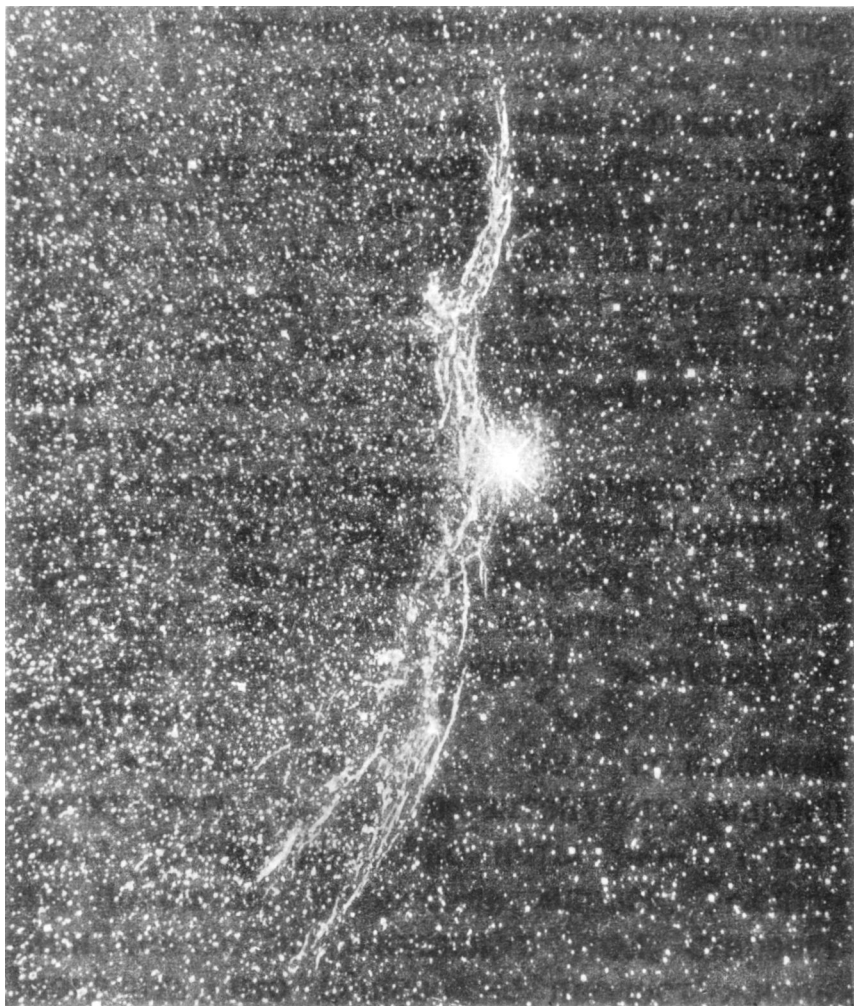


Рис. 10. Возможно, что эта волокнистая газовая туманность из созвездия Лебедя образовалась в результате вспышки сверхновой звезды.

Самый легкий из барионов, протон, почти в 1840 раз (как и нейтрон) тяжелее электрона. Но есть частицы, более чем в две тысячи раз по массе превосходящие электрон. Их и называют гиперонами.

Амбарцумян и Саакян доказали, что могут быть устойчи-

выми звезды, плотность которых значительно больше плотности атомного ядра. По их расчетам можно представить себе следующую последовательность состояний звезды.

До тех пор, пока плотность не превысила 10^7 г/см^3 , звездный газ состоит в основном из протонов и электронов. При дальнейшем возрастании плотности число нейтронов начинает все более и более преобладать над числом протонов. При плотности выше 10^8 г/см^3 вещество звезды в основном состоит из нейтронов.

Так будет и дальше, вплоть до того момента, когда звезда достигнет ядерной плотности (10^{14} г/см^3). Однако самое интересное впереди. Уже при «сверхъядерной» плотности в 10^{15} г/см^3 возникают первые гипероны. С возрастанием плотности до величин почти фантастических количество гиперонов быстро увеличивается, и при плотности в 10^{17} г/см^3 звезда становится практически гиперонной.

Советские исследователи так представляют себе схему строения сверхплотной звезды. Ее можно условно разделить на четыре основные области. Центральное ядро и окружающая его внутренняя оболочка состоят из гиперонов разного типа. Далее, ближе к поверхности, расположен нейтронный слой. Наконец, самая внешняя, очень тонкая оболочка напоминает обычное вещество — здесь мы встретим ядра атомов, протоны и электроны.

Самое, пожалуй, поразительное — размеры сверхплотных гиперонных звезд. При массе, близкой к массе Солнца, поперечники нейтронных и гиперонных звезд не превосходят 10—15 км! Даже на территории Москвы можно было бы разместить несколько гиперонных звезд. У некоторых из них плотность столь велика, что булавочная головка, изготовленная из их вещества, весила бы... 10 миллионов тонн! Сверхплотное ядро гиперонной звезды примерно втрое меньше ее поперечника. Зато ее «атмосфера», то есть самый наружный слой, имеет толщину всего в несколько десятков метров!

Не следует думать, что нейтронные, гиперонные звезды и есть та дозвездная материя, из которой возникают звезды. Нет, пока это только теоретические модели сверхплотных тел, поиски которых доньше безуспешны. Это и неудивительно. Нейтронные и гиперонные звезды неразличимы в глубинах космоса не только из-за ничтожно малых своих размеров. Можно доказать, что температура их атмосфер не ниже многих миллионов градусов. А это означает, что такого рода тела должны излучать в основном невидимые рентгеновы лучи.

Но тут мы уже вторгаемся в область, которой посвящен следующий раздел книги.

УЛЬТРАФИОЛЕТОВАЯ



АСТРОНОМИЯ



о сих пор мы говорили о космических телах, невидимых не потому, что они излучают невидимые, не воспринимаемые глазом лучи, а по причинам, так сказать, технического характера — слабости и несовершенства современных телескопов. В тех случаях, когда исследователь вооружался достаточно мощным оптическим инструментом, невидимое нередко становилось видимым.

В этом же разделе и в дальнейшем речь пойдет о невидимых излучениях небесных тел. Эти излучения недоступны глазу, даже вооруженному обычным телескопом. Чтобы воспринимать их и исследовать, нужны особые приборы. Они и есть посредники, связывающие нас с невидимым. Без них наши знания о космосе были бы весьма скудны, потому что из всех излучений, существующих в природе, глаз воспринимает лишь ничтожную их часть.

В самом деле, посмотрите на рисунок 11. Перед вами так называемый спектр электромагнитных колебаний. Справа указаны длины волн соответствующих лучей. Слева — наименования соответствующих излучений.

Глаз видит очень немногие из электромагнитных волн — лишь те, длины которых заключены в пределах от 400 до 760 миллимикрон (*ммк*)¹. Стекла́нная призма растягивает эти излучения в радужную полоску с фиолетовой окраской на концах.

Над видимыми глазом лучами расположены излучения с длиной волны меньше 400 *ммк*. Это ультрафиолетовые, рентгеновы и гамма-лучи. Можно всю эту невидимую часть электромагнитного спектра назвать условно ультрафиолетовой. Заголовок раздела показывает, что наш рассказ посвящен «ультрафиолетовому космосу», точнее — исследованию

¹ 1 миллимикрон = 0,001 микрона (*мк*), 1 ангстрем (\AA) = 0,1 миллимикрона (*ммк*).

космоса в лучах с длиной волны меньше 400 *мкм*. Под красным концом видимого участка спектра расположена область невидимых «тепловых», инфракрасных лучей. К ней примыкает область радиоволн, ничем, собственно, не ограниченная, так как, по крайней мере, теоретически мыслимы электромагнитные волны сколь угодно большой длины.

Мы последовательно пройдем весь спектр — от гамма-лучей до длинноволнового радиоизлучения, минуя, естественно, видимый участок спектра. Попробуем «увидеть» космос в невидимых лучах. Убедимся в том, что во многих отношениях невидимый космос отличается от видимого.

ИДЕАЛЬНЫЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ

Можно вообразить некоторое тело, которое будет излучать волны всех длин — от нуля до бесконечности. Можно наделить это воображаемое тело такими свойствами, чтобы оно излучало электромагнитные волны наиболее «простым» способом, по самым «простым» законам. Мы нарочно поставили слово «простые» в кавычки, так как за этим кроются совсем не простые пояснения. И, чтобы не углубляться в дебри теоретической физики, мы воздержимся от этих пояснений. Подчеркнем лишь еще раз, что воображаемое нами тело — самый «простой», идеальный излучатель, испускающий лучи всех длин волн. Физики называют такой излучатель абсолютно черным телом.

Пусть не смущает вас странное сочетание слов — абсолютно черный излучатель. Житейский опыт подсказывает нам, что чем чернее тело, тем ярче светит оно, будучи сильно нагретым. Вспомните, например,

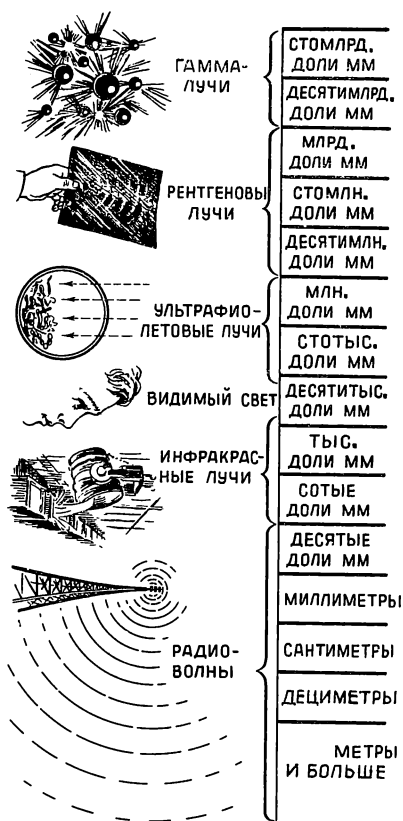


Рис. 11. Спектр электромагнитных колебаний.

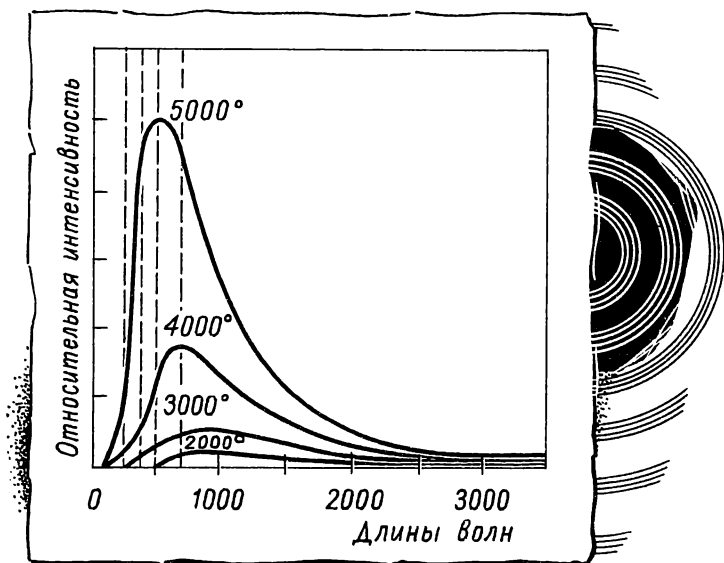


Рис. 12. Кривые Планка для разных температур.

как горят обыкновенные дрова и какой жар и свет исходят от раскаленного каменного угля. Конечно, правило, которое мы только что сформулировали в таком упрощенном виде, не всегда верно. Но суть природы воображаемого абсолютно черного тела им несколько поясняется.

Абсолютно черное тело, оказывается, не только идеально просто испускает при нагревании всевозможные лучи, но оно обладает и другим идеальным свойством — абсолютной поглощаемостью. Да, именно так — абсолютно черное тело поглощает все падающие на него лучи.

Моделью абсолютно черного тела может служить, например, небольшое отверстие в зачерненном внутри шаре или ящике. Луч света, попав в отверстие, имеет очень мало шансов выбраться наружу. После многих отражений от зачерненной внутренней поверхности он в конце концов поглотится ею. В какой-то степени любое окно напоминает эту модель — вспомните, какими темными выглядят издалика открытые окна, особенно в солнечный яркий день.

Теперь несколько слов о законах излучения абсолютно черного тела. Посмотрите на рисунок 12. По горизонтальной

оси графика отложены длины электромагнитных волн, по вертикальной оси — лучеиспускательная способность тела. Кривые, изображенные на рисунке, называются кривыми Планка (в честь знаменитого немецкого физика, исследовавшего, в частности, законы излучения абсолютно черного тела). Они показывают, как излучает абсолютно черное тело, нагретое до данной температуры T . Вы замечаете, у кривых есть единственная наивысшая точка — точка максимума. Если из нее мы опустим перпендикуляр на горизонтальную ось, то встретим там точку, которую обозначают λ_{\max} . Именно эти лучи с длиной волны λ_{\max} абсолютно черное тело (при данной температуре) излучает больше, интенсивнее всех остальных.

Слева от этой точки кривая Планка спадает постепенно до нуля. Значит, на этом участке действует закон: чем меньше длина волны, тем слабее испускает соответствующие лучи абсолютно черное тело. Где-то вблизи начала отсчета (точка 0) излучение становится неуловимо малым.

Справа от точки максимума кривая Планка также спадает к горизонтальной оси. Но тут она ведет себя иначе: спадает более полого, медленнее, и, кроме того, постоянно приближаясь к горизонтальной оси, кривая Планка тем не менее нигде ее не пересечет.

Может ли это быть? Конечно, может. Такой характер сближения в математике называется асимптотическим. Представьте себе, что вы решили дойти до какого-нибудь близкого предмета, каждый раз шагая на половину того расстояния, которое осталось до цели. Вы можете двигаться таким способом непрерывно, не останавливаясь ни на секунду, в продолжение не только всей своей жизни, но даже вечности. И все-таки цель не будет достигнута — до нее всегда останется вторая, пусть очень малая, но непреодоленная часть пути. Вот что такое асимптотическое приближение!

Сделаем важный вывод. Слева от точки максимума кривая Планка выходит «из нуля», справа она продолжается «в бесконечность», неограниченно приближаясь при этом к горизонтальной оси. Значит, абсолютно черное тело излучает волны всех длин от нуля до бесконечности. Но излучает, конечно, по-разному — одни более интенсивно, другие менее. Сильнее же всего излучаются электромагнитные волны с длиной λ_{\max} , а также близкие к ним.

Еще раз отметим — для каждой температуры абсолютно черного тела придется вычерчивать свою кривую Планка. Если, скажем, нагреть это тело сильнее, чем раньше, до тем-

пературы T_1 , то новая кривая Планка, соответствующая T_1 , будет отличаться от старой двумя особенностями: ее горб (точка максимума) сместится влево, в сторону более коротких волн, и, кроме того, этот горб расположится несколько выше первого.

Кривую Планка можно описать математической формулой, называемой законом Планка (мы приводить ее не будем). А вот другой закон — закон Вина — очень прост, и математически он выражается так:

$$\lambda_{\max} = \frac{\kappa}{T}.$$

Здесь λ_{\max} — уже известная нам величина, T — абсолютная температура абсолютно черного тела, а κ — обычный коэффициент пропорциональности. Выходит, что λ_{\max} обратно пропорциональна температуре тела. Чем выше эта температура, тем меньше λ_{\max} . Но ведь именно это мы только что подметили, когда рисовали кривые Планка для температур T и T_1 . Горб кривой Планка сместился при этом влево и немного вверх. Разве удивительно после этого, что закон Вина иначе называют также законом смещения?

Полноты ради упомянем еще об одном, третьем, законе излучения абсолютно черного тела — законе Стефана — Больцмана. Представьте себе, что мы вычислим площадь, заключенную между кривой Планка и горизонтальной осью (особенно легко это делается с применением интегрального исчисления). Величина, которую мы при этом получим, равна общей лучеиспускательной способности абсолютно черного тела во всех длинах волн. Иначе говоря, это вся энергия, которую вообще излучает такое тело с единицы своей поверхности. Обозначим ее буквой E . Оказывается, что $E = \kappa T^4$ и в этом равенстве как раз и выражается закон Стефана — Больцмана (только, конечно, коэффициент пропорциональности здесь имеет иное числовое значение, чем в законе Вина). Нетрудно сообразить, что с ростом температуры излучение абсолютно черного тела растет очень быстро. Увеличив, например, температуру вдвое, можно получить излучатель, в 16 раз более мощный, чем первоначальный.

Все рассуждения до сих пор носили отвлеченный, чисто теоретический характер. Нет в природе идеальных излучателей, не существует и абсолютно черных тел. К чему же тогда вся эта вроде бы ненужная игра воображения?

Все дело в том, что очень многие тела, в особенности кос-

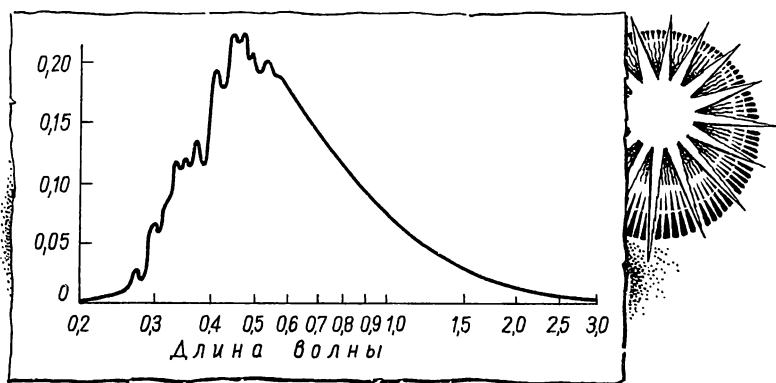


Рис. 13. Кривая распределения энергии в спектре Солнца очень похожа на кривую Планка.

мические, хотя и не абсолютно черные, но по характеру своего излучения очень похожи на идеальные излучатели. Такова, например, раскаленная, ослепительно яркая нить обыкновенной электрической лампочки. Еще более похожи на абсолютно черное тело Солнце и звезды. Это радует астрофизиков: значит, к Солнцу и звездам можно применить законы Планка, Вина, Стефана — Больцмана — наиболее простые законы излучения. Это облегчает расчеты, позволяет разгадать причины свечения звезд и многое другое. И даже в иных, менее удачных случаях астрофизики всегда стараются использовать свойства несуществующих идеальных излучателей.

В дальнейшем еще не раз придется возвращаться к этим законам, иначе мы не заняли бы ими внимание читателя. Очень важно также твердо усвоить различие между тепловым и нетепловым излучением тела.

Хотя каждый из нас вряд ли имеет большое сходство с абсолютно черным телом, кое в чем мы все-таки на него похожи. Как и идеальные излучатели, мы (как и вообще все тела в природе) излучаем волны всех длин — от гамма-лучей до радиоволн.

Не правда ли, странно ощущать себя какой-то естественной радиостанцией? Но это так, и универсальная «излучаемость» всех тел природы порождена единственной причиной — их «нагретостью».

Будем называть тепловым такое излучение, которое (для данной температуры тела) подчиняется, пусть не совсем точно, закону Планка. Если же этот закон нарушается, если

тело излучает некоторые волны гораздо сильнее, чем должно быть по кривой Планка, значит, секрет подобного излучения не в нагретости тела, а в каких-то иных причинах. В таких случаях, когда излучение тела не подчиняется закону Планка, оно называется *нетепловым*.

Нам придется в дальнейшем встречаться и с тем, и с другим типом излучения. Тепловое излучение, очевидно, не потребует длинных пояснений. Зато, столкнувшись с нетепловым излучением, надо упорно доискиваться причин, его породивших. Это не всегда легко, но всегда желательно, даже, скажем сильнее, необходимо.

ТЕЛЕСКОПЫ БЕЗ ЛИНЗ И ЗЕРКАЛ

Трудно поверить, что воздух почти непрозрачен, что до наших глаз доходит лишь ничтожная доля всех излучений, возникающих в космосе. До самого последнего времени астрономам приходилось рассматривать космос сквозь почти непрозрачную преграду. И можно только удивляться, что, несмотря на это, наши знания о космосе достаточно обширны.

Нет, мы не сгущаем краски. Посмотрите на рисунок 14. Вы снова видите спектр электромагнитных волн, но на этот раз в нем выделены два «окна», точнее — две «щели», сквозь которые проглядывается космос. Первая из них расположена главным образом в области видимых лучей. Ее левая граница отмечена длиной волны в 290 *ммк*. Более короткие волны поглощаются слоем озона, находящимся на высотах 35—60 *км*. Он спасает нас и многие другие живые организмы от ультрафиолетового солнечного ожога — вспомните, какими мучительными могут быть ожоги даже от тех сравнительно «мяг-

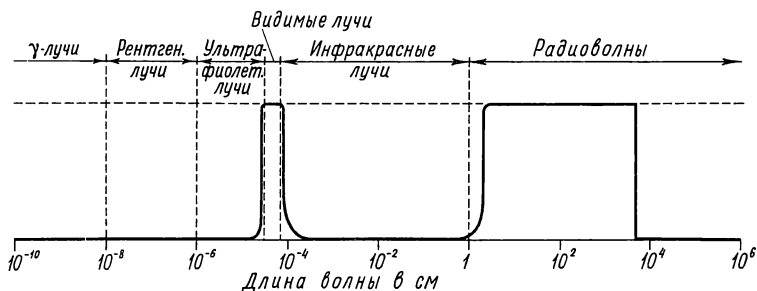


Рис. 14. Два «окна прозрачности» в земной атмосфере

ких» ультрафиолетовых лучей, которые пропускает земная атмосфера. Исчезни внезапно слой озона, Солнце «спалило» бы если не все живое, то многое из живущего на Земле. В этом защитном действии — положительная роль слоя озона.

Но есть и нечто отрицательное. «Срезая» начисто почти всю ультрафиолетовую часть спектра, атмосферный озон мешает изучать невидимые ультрафиолетовые излучения небесных тел. А это обстоятельство в свое время тормозило прогресс астрофизики.

Справа узкое «оптическое окно» ограничено волнами с длиной около 1 микрона (*мк*). Инфракрасные лучи с большой длиной волны поглощаются главным образом водяными парами земной атмосферы. Много тысячелетий астрономы изучали Вселенную только через узкое «оптическое окно» атмосферы. Они и не подозревали, что есть еще другое «окно», гораздо более широкое. Оно лежит в области радиоволн.

Левый край «радиоокна» отмечен ультракороткими радиоволнами с длиной волны 1,25 *см*, правый край — радиоволнами с длиной волны около 30 *м*. Радиоволны, длина которых меньше 1,25 *см* (кроме волн с длиной около 8 *мм*), поглощаются молекулами кислорода и водяных паров. От них есть непрерывный переход к электромагнитным волнам, которые мы называем инфракрасными.

Радиоволны, длина которых больше 30 *м*, поглощаются особым верхним слоем атмосферы, носящим наименование ионосферы. Как показывает само название, ионосфера состоит из ионов, то есть атомов, лишенных части своих электронов.

Для некоторых радиоволн слой ионизированного газа подобен зеркалу — радиоволны отражаются от него. Поэтому приходящие на Землю из космоса радиоволны с длиной волны больше 30 *м* почти полностью отражаются от ионосферы. Для них Земля является «блестящим шариком» (как для солнечных лучей блестящий игрушечный елочный шар), и пробыть ионосферу они не в состоянии.

Зато нам, живущим под «ионосферной крышей», ее свойства помогают вести радиопередачи на большие расстояния. Для этой цели применяют короткие радиоволны, которые, многократно отражаясь от поверхности Земли и ионосферы, могут достигать самых отдаленных уголков земного шара.

«Радиоокно» гораздо шире «оптического окна». На рисунке 14 по горизонтальной оси отложена так называемая логарифмическая шкала длин, то есть единицы масштаба вдоль этой оси есть степени числа 10. Если же иметь дело с числами, а не с логарифмами, то ширина «радиоокна» (около

30 м) получится почти в 10 миллионов раз больше ширины «оптического окна».

Естественно ожидать, что широко распахнутое в космос «радиоокно» покажет нам Вселенную еще более многообразной и сложной.

Если излучение небесного тела по длине волны подходит для «радиоокна», оно практически беспрепятственно достигает земной поверхности, и задача астрономов состоит в том, чтобы уловить и исследовать каким-то способом это излучение.

Воздушная оболочка Земли мешает изучать космос не только потому, что она почти непрозрачна. Воздух всегда очень неспокоен и неоднороден. В жаркий летний день над крышами зданий или над полотном железной дороги хорошо видно, как струится воздух и как искажаются предметы, рассматриваемые сквозь колеблющиеся воздушные слои. При астрономических наблюдениях с такими помехами приходится иметь дело всегда. И именно воздух прежде всего мешает употреблять в обычных оптических телескопах «сильные» окуляры, дающие большие увеличения.

От Солнца и из глубин звездного мира на Землю приходят потоки крошечных, очень быстрых частиц — корпускул. В основном это протоны и альфа-частицы — ядра атомов гелия. Взаимодействуя с молекулами воздуха, корпускулы порождают новые частицы и, что сейчас для нас особенно важно, невидимые лучи с очень малой длиной волны. Если изучать невидимое излучение небесных тел, находясь на поверхности Земли, то не всегда легко удастся отличить лучи, пришедшие из космоса, от лучей, возникших в атмосфере.

Теперь вам должно быть понятно, почему астрономы так настойчиво стремятся вырваться за границы земной атмосферы. Очень долго это им не удавалось, и они ограничивались лишь тем, что строили большие обсерватории в пустынях со спокойным и чистым воздухом или на горах, поближе к звездам, где прозрачность и чистота воздуха гораздо выше, чем на уровне моря.

Задолго до начала космической эры астрономы при каждом удобном случае старались подняться на аэростате или самолете. Неустойчивость этих летательных аппаратов препятствовала астрономическим наблюдениям, но почти мгновенные снимки солнечных затмений получались удачными.

Теперь, пожалуй, можно говорить об аэростатной, ракетной, спутниковой астрономии. Точнее, об использовании аэростатов, геофизических ракет и космических аппаратов для астрономических исследований. Более того, уже прошло не-

сколько лет с той поры, как впервые на околоземных орбитах появились астрономические и физические летающие обсерватории. Что же касается космических ракет, то каждая из них непременно начинена различными приборами, в том числе и такими, которые ловят невидимые излучения. И эти ракеты все в большем и большем количестве бороздят просторы Солнечной системы.

Атмосфера, как известно, неоднородна. С удалением от Земли ее плотность падает очень быстро, и уже на высотах порядка 200 км наступают условия, равноценные межпланетному пространству. Почти черное небо, одновременно видны Солнце и звезды — даже не знаешь, как назвать такую картину: «солнечной ночью» или «звездным днем»? Присутствие воздуха здесь можно обнаружить лишь специальными приборами, а космические излучения наблюдаются тут почти в таком же чистом виде, как и в межпланетном пространстве. Да что там — даже аэростат, взлетевший на высоту 30 км, оставляет под собой большую часть массы всей земной атмосферы. Так что человечество уже вышло за границы атмосферы и, следовательно, преодолело преграду, мешающую изучать невидимые излучения космических тел. Весь вопрос заключается теперь в том, как и чем эти излучения можно поймать и исследовать.

Когда произносят слово «телескоп», возникает представление о некой трубе, в которой укреплены линзы, зеркала и призмы — короче, какая-то «оптика». Действительно, до последнего времени Вселенную изучали с помощью именно таких оптических инструментов. Они, конечно, сохранили и поныне свое значение для наблюдений космоса сквозь «оптическое окно». Не надо, однако, думать, что все космические излучения можно уловить с помощью таких телескопов. Для излучений, сильно отличающихся от видимого глазом света, нужны особые приемники, совсем не обязательно напоминающие рефлектор или рефрактор. О радиотелескопах речь впереди. Сейчас же познакомимся с приемниками коротковолновых излучений — от гамма-лучей до ультрафиолетовых лучей, граничащих с видимым участком спектра.

Еще в начале века было открыто, что свет (как видимый, так и невидимый) излучается порциями, или квантами. Энергия кванта E определяется очень простой формулой:

$$E = h\nu,$$

где h — коэффициент пропорциональности, называемый постоянной Планка, а ν — частота электромагнитных коле-

баний. Как известно, эта последняя величина связана с длиной волны λ соотношением

$$\nu = \frac{c}{\lambda},$$

где c — скорость света, близкая к 300 000 км/сек.

Чем меньше длина электромагнитной волны, тем больше частота колебаний, тем энергичнее соответствующий квант. Физики употребляют образный термин — «жесткость» излучения. Гамма-кванты самые «жесткие», самые энергичные; кванты радиоизлучения, наоборот, предельно «мягкие».

В этих выражениях заключен важный физический смысл, который можно пояснить следующим примером. Вы бросаете в стену теннисный мячик, и он отскакивает от нее, не оставив никакого следа. Другое дело, если выстрелите в стену дробью. Дробинки поведут себя иначе. Они не отскочат, а внедрятся в стену, разрушат ее.

Вы понимаете, для чего я привожу этот пример. Маленькие энергичные дробинки (кинетическая энергия их велика) подобны жестким гамма-квантам, а легкий теннисный мячик — квантам какого-нибудь очень «мягкого» излучения.

И еще одна справка из области физики. Любое электромагнитное излучение имеет двойственную природу. В одних случаях оно проявляет себя как совокупность волн различной длины. В других свет (как видимый, так и невидимый) представляет собой потоки особых частиц — фотонов. Каждый фотон обладает некоторой энергией — она и будет квантом, соответствующим данному фотону. То, что энергия излучается порциями, как раз и вызвано тем, что существуют фотоны — частицы электромагнитного излучения.

Так что же такое свет — частицы или волны? И то, и другое. Природа электромагнитного излучения двойственна, но в то же время и неделима. Нельзя представить себе излучение только как поток частиц или только как совокупность волн. Всегда сосуществует и то, и другое.

Вот теперь, после этого краткого экскурса в область физики, станет понятнее принцип устройства и действия «коротковолновых» телескопов. Вся трудность приема коротковолнового излучения заключается в том, что для волн с длиной меньшей 200 ангстрем обычные преломляющие и отражающие системы становятся попросту непригодными. Если на участке от 400 мкм до 200 мкм еще кое-как, с большими ухищрениями, удастся пользоваться линзами и зеркалами, то для рентгеновской части спектра (не говоря уж о гамма-лучах) кван-

ты становятся такими энергичными, что они запросто пробивают все известные нам материалы, не изменяя первоначального направления полета. Они ведут себя как дробинки в нашем примере, тогда как кванты видимого света вполне можно уподобить мячикам, отскакивающим от стены.

Но если нельзя сфокусировать рентгеновы и гамма-лучи, то как же их исследовать, как построить для них телескоп?

Выход все-таки был найден. Коротковолновое излучение очень жестко. Значит, фотоны рентгеновых и гамма-лучей по своим свойствам похожи на обычные частицы (скажем, протоны), приходящие из космоса на Землю. Но тогда для регистрации жестких квантов годятся такие же счетчики, какие применяются при изучении космических лучей.

Самый несложный из них — знаменитый счетчик Гейгера — Мюллера. Принцип его действия прост. По оси металлического цилиндра натянута металлическая нить, изолированная от цилиндра. Цилиндр наполнен газом под давлением примерно в восемь раз меньше атмосферного. Между цилиндром и нитью с помощью источника тока создается напряжение, близкое к разрядному: вот-вот между цилиндром и нитью проскочит искра, произойдет разряд.

Так и случится, если внутрь счетчика, пробив его цилиндрическую стенку, вторгается энергичная частица или жесткий квант. Столкнувшись с молекулами газа, они ионизируют их, то есть лишают части электронов, и нейтральная молекула превратится в положительный ион. «Выбитые» электроны устремляются к положительно заряженной нити, ионизируя на своем пути другие молекулы газа. Электроны множатся. За какие-то доли секунды возникает лавина электронов, иначе говоря, происходит разряд.

Теперь должна быть понятна принципиальная схема рентген-телескопа. Его основа, его приемное устройство — счетчик жестких квантов. Счетчик заключают в массивный металлический тубус, для того чтобы узнать, откуда приходит рентгеновское излучение. Можно покрывать счетчики пленками различного состава. Тогда разные счетчики будут принимать кванты различной жесткости. Получается что-то вроде спектрографа — появляется возможность выявить состав рентгеновского излучения.

Конечно, такой рентген-телескоп очень несовершенен. Один из его главных недостатков — слишком малая разрешающая способность, своеобразная близорукость. Счетчик фиксирует только то излучение, которое пропускает тубус. На практике оказывается, что при этом сразу охватывается обзором участок неба поперечником в несколько градусов. А ведь на та-

кой площади даже в средний обычный телескоп видны тысячи звезд и других объектов. Какой из них посылает рентгеновые лучи, неясно.

В некоторых случаях (при наблюдениях Солнца) придумали приемное устройство, гораздо более зоркое, чем рентген-телескоп. В сущности, это не какой-то новый, сложный современный инструмент, а давно известная камера-обскура.

Помнится, в детские годы, не имея возможности приобрести настоящий фотоаппарат, я соорудил себе камеру-обскуру. В простейшем варианте — это обыкновенная картонная коробка с маленьким отверстием в дне, которое можно проткнуть иглой. Если на место крышки наклеить тонкую папиросную бумагу, камера-обскура готова.

Направьте ее из глубины комнаты на яркое освещенное окно — на папиросной бумаге тотчас появится перевернутое изображение окна.

Сейчас нет нужды строить такие «первобытные» приборы — в продаже есть дешевые отличные школьные фотоаппараты. Но вот в современной рентгеновской астрономии при изучении Солнца камера-обскура играет заметную роль.

Устройство современных астрономических камер-обскур принципиально совершенно такое же, как и у детской самоделки. Но только на место прозрачной бумаги помещают фотопластинку, а крошечное отверстие камеры закрывают фольгой из бериллия, алюминия или органической пленки. Не будь ее, камера-обскура дала бы видимое глазом изображение Солнца. Непрозрачная заслонка выполняет роль фильтра — она пропускает только жесткие рентгеновые лучи. На стр. 55 воспроизведена одна из рентгенограмм Солнца, полученная камерой-обскурой.

В отличие от рентген-телескопа, камера-обскура создает изображение Солнца с большими подробностями — на снимке можно различить детали, угловые размеры которых близки к минуте дуги. А это уже такая же зоркость, как и у человеческого невооруженного глаза — для начала совсем неплохо.

Теперь посмотрите, как выглядит гамма-телескоп (рис. 15). Пришедшие из космоса жесткие гамма-кванты поступают сначала в особый радиатор, внешне несколько напоминающий слоеный пирог (кстати, его называют иногда кристаллом-сэндвичем). Взаимодействуя с веществом этого «сэндвича», гамма-кванты порождают электроны и позитроны. Эти частицы поступают в свою очередь в особый, так называемый черенковский счетчик.

В отличие от гейгеровского счетчика, где появление частицы или жесткого кванта вызывает электрический разряд, в

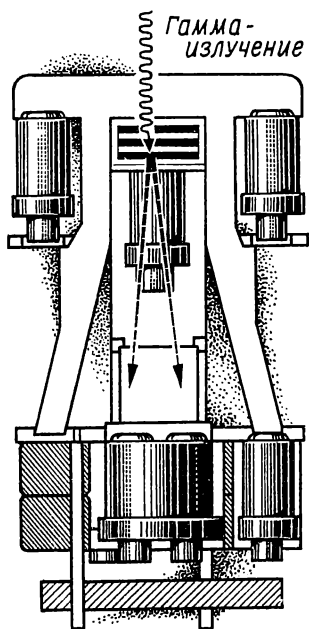


Рис. 15. Схема гамма-телескопа.

черенковском счетчике быстро движущиеся частицы порождают особое свечение вещества. Явление это впервые было открыто советским физиком П. А. Черенковым — отсюда и наименование счетчика.

Конечно, свечение это очень слабое, и его приходится усиливать с помощью так называемых фотоумножителей. Но так или иначе, гамма-телескоп регистрирует приходящие гамма-кванты, и можно даже с помощью дополнительных устройств рассортировать их на более жесткие и менее жесткие.

«Близорукость» гамма-телескопа очень велика. Угол зрения, или конус видимости, определяется, очевидно, размерами радиатора и счетчика. В совершенных гамма-телескопах регистрируется поступление гамма-квантов с участка неба поперечником 30—35°. Из всех существующих телескопов гамма-телескопы в этом от-

ношении самые несовершенные, самые «близорукие».

И все-таки, как и рентген-телескопы, их выносят на границу атмосферы и за ее пределы. И они уже сегодня доставили нам множество интереснейших сведений о невидимом коротковолновом излучении небесных тел. Не исключено, что некоторые волнующие нас загадки (скажем, природа нейтронных звезд) будут решены именно этими средствами.

ЗАРОЖДЕНИЕ ГАММА-АСТРОНОМИИ

Где и как могут возникать гамма-кванты? Взглянув на кривые Планка (стр. 39), хочется дать простой ответ: «Везде и всегда». Ведь по закону Планка любое тело, нагретое выше абсолютного нуля, излучает все электромагнитные волны, в том числе и гамма-кванты.

Формально ответ верен. Практически все гораздо сложнее. Как уже отмечалось, кривая Планка резко спадает к на-

чалу графика, а это значит, что поток «тепловых» гамма-квантов неуловимо мал (кроме, быть может, некоторых исключительных случаев). Следовательно, надо искать в природе особые, нетепловые процессы, при которых возникновение гамма-квантов шло бы достаточно интенсивно. Можно указать несколько случаев.

Известны такие процессы внутри атомных ядер, при которых ядро излучает гамма-кванты. Образуются они при соударениях очень быстрых электронов с протонами или с другими покоящимися электронами. Собственно, здесь происходит не соударение в прямом смысле слова, а резкое торможение, которое испытывает один электрон при встрече с другим. Скорости встречи близки к световой, и когда электрон тормозится, его первоначальная энергия движения переходит в другой вид энергии — энергию излучения, причем (опять-таки из-за больших скоростей движения) излучения весьма жесткого.

Третий случай — это когда электрон сталкивается с фотоном видимого света. Происходит нечто вроде соударения бильярдных шаров. Ударившись «в лоб» с фотоном, электрон передает ему часть энергии и, ослабленный, отлетает в одну сторону, а в другую сторону уносится обогащенный энергией фотон — на этот раз фотон гамма-лучей.

Бывает и так, что какая-нибудь частица космических лучей (например, протон) столкнется с ядром атома межзвездного газа. Возникнут сложные процессы, в итоге которых появятся гамма-кванты. К сожалению, подобным образом возникают гамма-кванты в земной атмосфере, и далеко не всегда удастся выяснить родословную пойманных гамма-квантов — откуда они пришли, из космоса или из верхних слоев атмосферы.

Пожалуй, самым интересным источником гамма-квантов служат процессы аннигиляции — превращения частиц и античастиц (например, электронов и позитронов) в жесткое излучение. Если где-то существуют антитела, состоящие из антивещества, и этот пока только теоретически мыслимый антимир как-то взаимодействует с нашим, «обычным» миром, процессы аннигиляции не должны быть исключительной редкостью. Значит, гамма-кванты могут быть вестниками встреч тел и антител, частиц и античастиц.

Видите, как много нетепловых процессов, при которых возникают гамма-кванты. Можно думать, что на Землю непрерывно поступают мощные потоки гамма-лучей, и астрофизики с трудом разбираются, откуда они пришли и какие процессы их породили.

На самом деле все это не совсем так. Когда начали исследовать космос гамма-телескопами (а произошло это сравнительно недавно), поток гамма-излучения оказался обескураживающе малым. Шутка сказать, гамма-телескоп, установленный на аэростате или спутнике, регистрирует в среднем за час поступление всего одного гамма-кванта! Позже были случаи, когда за 9 часов наблюдений поймали 22 гамма-кванта. Согласитесь, эта оценка не меняет общего вывода: поток космического гамма-излучения очень мал. Отсюда ясен и другой вывод: перечисленные случаи возникновения гамма-квантов в природе встречаются, очевидно, не часто и идут они не бурно.

Сильно мешает наблюдениям «близорукость» гамма-телескопов. Можно думать, что некоторые квазары, о которых речь пойдет позже, должны быть заметными источниками гамма-лучей. Но как узнать, что пойманный гамма-квант послан именно квазаром, когда гамма-телескоп принимает излучение сразу от тысяч небесных тел?

Не будем унывать. Несмотря на все трудности, в одном случае все же удалось принять гамма-излучение от отдельного конкретного небесного тела — нашего Солнца. Более того, выяснилось, что источником этих гамма-лучей послужили солнечные вспышки — своеобразные высокотемпературные взрывы в солнечной атмосфере.

До второй мировой войны некоторые ученые улавливали радиоизлучение небесных тел, но не знали, что с ним делать, где применить. Сравните это жалкое начало хотя бы с современным состоянием радиоастрономии.

Будем оптимистами, поверим в большое будущее гамма-астрономии. Скорее всего, наши надежды оправдаются, и притом в недалеком будущем.

РЕНТГЕНОГРАММЫ СОЛНЦА

Когда в рентгеновском кабинете нас подвергают просвечиванию, источник рентгеновых лучей находится, естественно, вне нашего тела. Создаваемый им поток жесткого коротковолнового излучения пронизывает нас, а затем попадает на особый люминесцирующий экран, и получается видимое глазом изображение. Если экран заменить фотопленкой, получится рентгенограмма, в сущности демонстрирующая нашу прозрачность в рентгеновых лучах. Ткани лучше пропускают рентгеновы лучи, чем кости. Поэтому на медицинских рентгенограммах легко различимы детали скелета.

При получении рентгенограммы Солнца ни о каком «просвечивании» не может быть и речи. Само Солнце, в отличие от человеческого тела, служит источником рентгеновых лучей. Типичная рентгенограмма Солнца сильно отличается от снимков Солнца в видимых лучах спектра.

Во время полных солнечных затмений удалось выяснить, какие части Солнца преимущественно испускают рентгеновы лучи. Помогла Луна, которая, как исполинская заслонка, загораживала разные части солнечного диска, а в момент полной фазы оставила незакрытой лишь солнечную атмосферу (точнее, хромосферу) и корону. Если бы в этот момент рентгеновское излучение Солнца упало до нуля, это значило бы, что рентгеновы лучи зарождаются на солнечной поверхности — ведь огромный лунный шар для них непрозрачен. Наоборот, если в момент полной фазы рентгеновское излучение не исчезло совсем, а только ослабло, значит, источники этих лучей находятся над солнечной поверхностью.

Как раз этот случай и наблюдался в действительности. Тем самым было доказано, что рентгеновское излучение возникает в солнечной атмосфере и короне.

В отличие от солнечной поверхности, солнечная корона имеет температуру миллион градусов! Заметим, что эта величина характеризует очень высокую подвижность частиц, составляющих корону, — протонов, альфа-частиц, электронов. Расчеты показывают, что солнечная корона порождает тепловое рентгеновское излучение и излучение это достаточно велико.

Известны, однако, и другие источники солнечных рентгеновых лучей. Разглядите внимательно четыре снимка Солнца, сделанных одновременно, но в разных лучах (рис. 16). Два верхних снимка — рентгенограммы. Правая в более жестких, левая в менее жестких лучах. Внизу — фотографии Солнца в лучах кальция и водорода.

Заметьте, на всех четырех снимках выделяется одна и та же область — область повышенной солнечной активности. Здесь образовалась группа солнечных пятен, возникли в атмосфере Солнца очень горячие облака газов, наряду с другими лучами они посылают во все стороны и рентгеновы лучи.

Когда на Солнце возникает хромосферная (или солнечная, как ее иначе называют) вспышка, рентгеновское излучение Солнца увеличивается иногда в сотни раз. Еще бы — ведь температура вспышек достигает сотен миллионов градусов! На рисунке 17 воспроизведена еще одна уникальная рентгенограмма. На ней стрелкой указана вспышка, мощный источник рентгеновых лучей. Предстоит выяснить закономерности в образовании этих взрывов на Солнце. Когда это

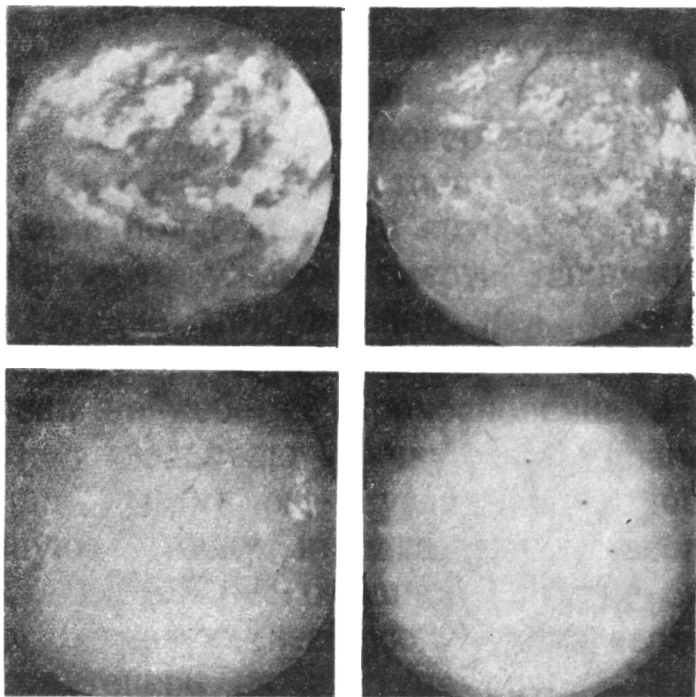


Рис. 16. Четыре снимка Солнца. Из них два верхних — рентгенограммы.

будет сделано, быть может, станет возможным прогноз предстоящих вспышек, что очень важно для космонавтики. Не исключено, что в этом деле сильно поможет изучение солнечных рентгеновых лучей.

ЕСТЬ ЛИ НЕЙТРОННЫЕ ЗВЕЗДЫ!

В разделе «Следы невидимого» мы уже ставили этот вопрос, но он остался без ответа. Попробуем подойти к решению этой проблемы совсем с иных позиций. Проследим жизненный путь звезды.

Из всех химических элементов космоса наиболее обилен водород. Не будет преувеличением, если мы скажем, что наблюдаемая часть Вселенной состоит из водорода (80%) и гелия (18%) с незначительной примесью остальных элементов. Хотя мы сами и окружающие нас земные предметы как будто

противоречат такому заключению (вокруг нас — обилие тяжелых элементов), но это лишь видимость, опровергаемая элементарным расчетом.

В начале своей жизни звезда состоит в основном из водорода. В недрах звезды идут процессы, сводящиеся в конечном счете к образованию атомов гелия из атомов водорода. Именно такую стадию переживают Солнце и похожие на него звезды. В этом — суть тех ядерных реакций, в результате которых каждую секунду 4 миллиона тонн солнечного вещества превращается в излучение.

Но так будет не всегда. При «сгорании» водорода температура звездного ядра повышается, и в конце концов гелий

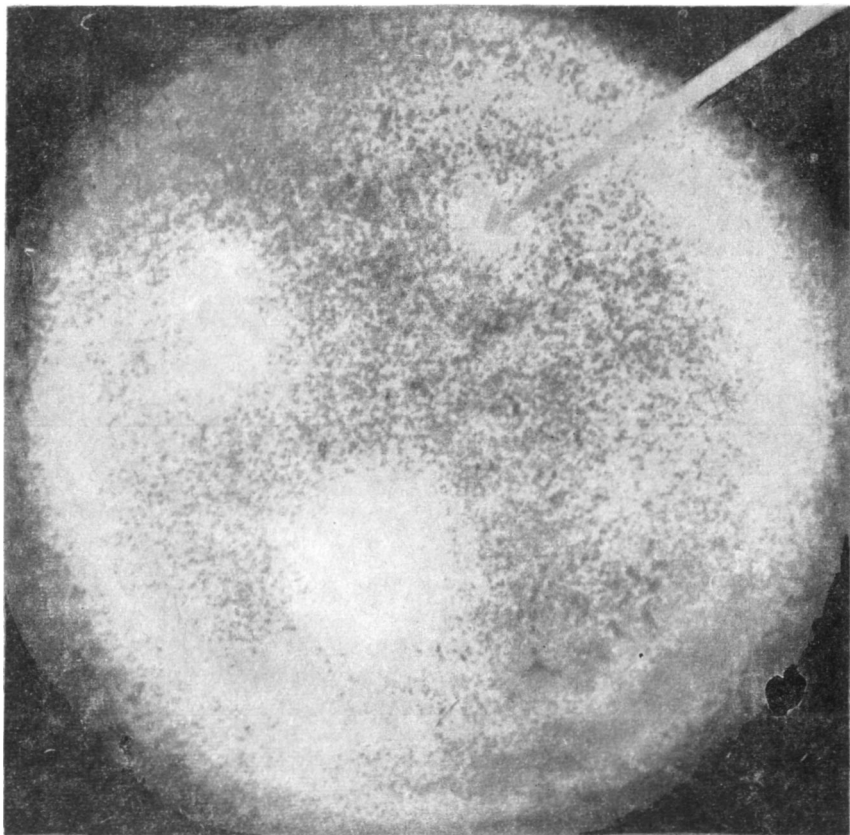


Рис. 17. Уникальная рентгенограмма Солнца.

начинает превращаться в углерод. Но и это — не конечная стадия, а только очередной этап в жизни звезды.

Когда температура ядра возрастет до миллиарда градусов, углерод в результате нового цикла ядерных реакций будет превращаться в кислород (с выделением альфа-частиц, то есть ядер атома гелия). Потом настанет очередь для неона, магния, серы и других, еще более тяжелых элементов.

Но вот температура ядра звезды достигла 5 миллиардов градусов, началось образование железистых соединений, и наступил качественно новый этап в жизни звезды. Ее гравитационное сжатие идет теперь быстрее, чем повышение температуры ядра. Неизбежно наступает катастрофа — звезда вспыхивает, взрывается с невообразимой мощностью, становится сверхновой звездой. Возможно, что взрыв произойдет еще раньше, в процессе образования кислорода, который, по-видимому, может иметь взрывной характер. Как уже говорилось, ее внешняя оболочка с огромной скоростью улетает в межзвездное пространство, и при этом оголяется сверхплотное и очень горячее ядро звезды.

Наступает старость звезды, за которой неизбежна смерть — ее полное угасание. Но, прежде чем это произойдет, звезда должна проявить себя как очень мощный источник невидимого рентгеновского излучения.

Еще несколько лет назад полагали, что нейтронная звезда из-за весьма малой величины своей поверхности не может быть мощным источником излучения. Теперь же, когда ход развития звезд стал достаточно ясным, прежний вывод оказался неверным. В свете новых данных даже поверхностная температура нейтронной звезды должна быть близка к 10 миллионам градусов. А это означает (вспомните закон Стефана — Больцмана), что при прочих равных условиях нейтронная звезда должна излучать в 10^{16} раз больше Солнца, поверхность которого имеет температуру 6 тысяч градусов.

Но разница по сравнению с Солнцем будет не только в мощности излучения. По закону Вина (надеюсь, вы его не забыли) с увеличением температуры максимум кривой Планка смещается в сторону все более и более коротких волн. При температуре же в 10 миллионов градусов он и вовсе увидит в рентгеновскую область спектра, и нейтронная звезда в основном будет излучать рентгеновы лучи. Более же длинноволновое ее излучение окажется попросту неуловимо малым.

Подсчеты показывают, что существующие ныне рентгентелескопы смогли бы обнаружить нейтронную звезду даже с расстояния в тысячи световых лет. Такова теория. Что же говорит практика?

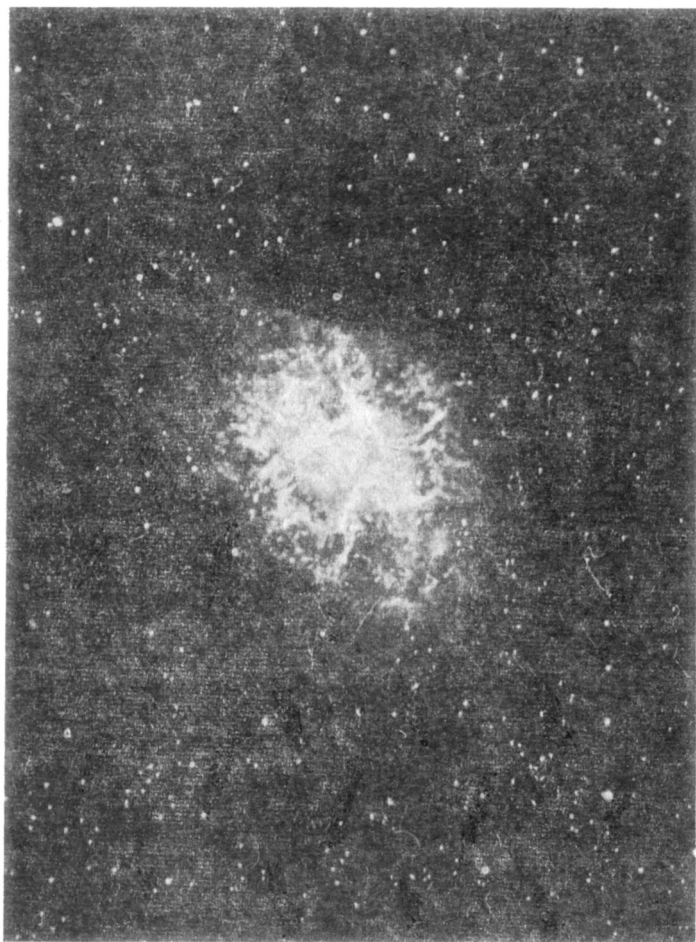


Рис. 18. Крабовидная туманность из созвездия Тельца.

Еще в 1963 году приборы американской ракеты «Аэробы» зафиксировали на звездном небе два мощных источника рентгеновского излучения. Один из них находился в созвездии Тельца и, по-видимому, связан со знаменитой Крабовидной туманностью (рис. 18), другой — в созвездии Скорпиона. Выходит, что на небе, если бы наши глаза воспринимали рентгеновы лучи, мы увидели бы три Солнца — одно «настоящее», обычное, и два других — менее ярких — в созвездиях Тельца и Скорпиона.

И в том, и в другом созвездии в прошлом отмечены вспышки ярких новых (а скорее даже сверхновых) звезд. В созвездии Тельца это произошло в 1054 году, что было отмечено китайскими и японскими летописцами. В созвездии Скорпиона сверхновая звезда вспыхнула несколько раньше — в 827 году. И это событие также было зафиксировано в арабских летописях. Казалось, все говорит в пользу того, что источниками мощного рентгеновского излучения служат нейтронные звезды. Но как это можно было бы проверить?

Мы уже высказали много нелестных слов в адрес современных «близоруких» рентген-телескопов. Никак с ними не рассмотришь, какие именно объекты посылают из глубин космоса мощный поток рентгеновых лучей. Адрес «с точностью до созвездия» астрономов, естественно, не устраивает. И тут неожиданно помог счастливый случай.

Обращаясь вокруг Земли, Луна проходит по небу через зодиакальные созвездия. Бывает она ежемесячно и в созвездии Тельца, причем раз в 9 лет ее путь проходит столь удачно, что Луна на короткое время заслоняет собой Крабовидную туманность. Как раз такое событие произошло летом 1964 года.

Возможны два случая: или рентгеновы лучи посылает нейтронная звезда, находящаяся где-то внутри Крабовидной туманности, или рентгеновское излучение исходит от самой этой туманности. В первом случае поток рентгеновского излучения резко, сразу упадет до нуля в тот момент, когда Луна закроет гипотетическую нейтронную звезду. Во втором случае, поскольку рентгеновы лучи посылает вся туманность, интенсивность этого излучения будет падать постепенно, по мере того как туманность станет покрываться Луной.

Наблюдения показали, что посылает рентгеновы лучи не нейтронная звезда, а туманность, что лучи эти зарождаются в ней при торможении в магнитных полях быстрых электронов. Важная деталь: рентгеновы лучи все-таки посылаются не всей Крабовидной туманностью, а только ее вдвое меньшей центральной частью. Но это, конечно, не нейтронная звезда, следы которой и на этот раз обнаружить не удалось.

По-видимому, такой же процесс совершается и в созвездии Скорпиона. Здесь тоже есть очень небольшая, но весьма горячая (50 миллионов градусов) газовая туманность, излучающая рентгеновы лучи. И, как в созвездии Тельца, эта туманность образована когда-то вспыхнувшей, взорвавшейся звездой.

Теперь известно на звездном небе еще около десяти источников рентгеновского излучения. Они гораздо слабее тех, ко-

которые наблюдаются в созвездиях Тельца и Скорпиона, и, что примечательно, почти все они расположены в Млечном Пути, в созвездиях Стрельца, Лебедя, Змеи и других. По оценке выдающегося советского радиоастронома И. С. Шкловского, расстояния до них огромны — один, два десятка тысяч световых лет, тогда как «рентгеново Солнце» в Скорпионе примерно вдесятеро ближе. Можно думать, что во всей нашей Галактике есть не меньше сотни подобных рентгеновских источников.

Не исключено, что источники рентгеновского излучения в Тельце и Скорпионе нетипичны, то есть что из остальных источников рентгеновского излучения большинство — нейтронные звезды.

Возможно, однако, что пока мы еще не обнаружили нейтронные звезды, а все открытые источники рентгеновских лучей имеют иную природу. Ведь стадия, когда нейтронная звезда мощно излучает рентгеновы лучи, весьма непродолжительна — она длится несколько месяцев, от силы несколько лет. Если так, то в Галактике одна нейтронная звезда появляется раз в несколько лет, и шансы обнаружить ее не так уж велики.

НА ГРАНИЦЕ С ВИДИМЫМ СВЕТОМ

Не знаю, как вы, а я не люблю читать журнальные повести или очерки «с продолжением». Настроишь себя на тон повествования, привыкнешь к героям, увлечешься сюжетом, и вдруг «на самом интересном месте» все обрывается.

Нечто подобное встречается и в астрономии. Изучает астрофизик, скажем, спектр Солнца. Выясняет разные свойства спектральных линий какого-нибудь элемента, например водорода. А линии эти располагаются в электромагнитном спектре сериями. Часть из них приходится на видимый участок спектра, а часть — на невидимый. Для полноты картины желательно изучить все серии — и видимые, и невидимые. Но тут вмешивается атмосфера и начисто «срезает» всю ультрафиолетовую часть спектра начиная с волны 290 мкм. Вот и обрывается исследование «на самом интересном месте», совсем как при чтении большого романа в журнале.

Ультрафиолетовая астрономия тем, в частности, и ценна, что она дает возможность продолжить изучение спектральных линий в ультрафиолетовой части спектра. А это очень важно для раскрытия многих процессов, происходящих как на телах Солнечной системы, так и в звездном мире. Приведем некоторые примеры.

Поверхность Солнца — фотосфера — и примыкающие к ней сверху сравнительно холодные атмосферные слои в ультрафиолете почти ничего не излучают. Зато корона Солнца служит источником мощного коротковолнового излучения. Собственно, весь солнечный спектр, начиная с длины волны 100 *ммк* и короче, целиком создается именно этими областями. Значит, изучая ультрафиолетовый спектр Солнца, можно проверять теоретические модели солнечной хромосферы, короны. Этот спектр оказывается пробным камнем для многих типотез.

Для того чтобы выяснить, какому химическому элементу принадлежат линии в солнечном спектре, недостаточно знать только те из них, которые может увидеть глаз. Многие химические элементы удалось найти на Солнце лишь после того, как возникла «астрономия ультрафиолета».

Ультрафиолетовые части спектра ряда звезд выглядят на снимках менее яркими, чем им полагается быть по теории звездных атмосфер. Может быть, это вызвано свойствами самой звезды, а может быть, поглощением ультрафиолетовых лучей в межзвездной среде. Вот еще загадка, решение которой ищут сегодня астрофизики.

В межзвездных облаках, по теоретическим соображениям, должен быть молекулярный водород, но его пока не нашли, так как он излучает в основном в ультрафиолете. Излучение это очень слабое, но с развитием «астрономии ультрафиолета» его, наверное, обнаружат.

Нередко в ультрафиолетовом свете замечают такое, что глазом не видно. Таковы, например, темные пятна, найденные некоторыми астрономами на снимках Венеры в ультрафиолете. Глазам же поверхность Венеры всегда представляется повсюду почти одинаково светлой. Загадочные пятна обнаруживают некоторое постоянство, странное для изменчивой облачной атмосферы Венеры. Период вращения планеты, определяемый по смещению этих пятен, совсем не похож на тот, который недавно уверенно получен средствами радиолокации. Может быть, перемещение этих пятен вызвано атмосферными вихрями или потоками? Загадка пока не решена.

Взгляните теперь на фотографию известной туманности Северная Америка (рис. 19). Наименование дано, очевидно, за форму туманности. Сама же она ни в один телескоп не видна, хотя отыскать ее нетрудно: на небе она находится по соседству с Денебом — самой яркой звездой созвездия Лебедя. Обычно поясняют этот парадокс тем, что туманность излучает невидимые ультрафиолетовые лучи.



Рис. 19. Туманность Северная Америка.

Объяснение это не совсем точно. В видимых глазом лучах туманность Северная Америка также излучает, но очень слабо. К тому же она весьма разрежена, и потому ее поверхностная яркость очень мала. Может быть, когда-нибудь в будущие сверхмощные оптические телескопы ее и увидят. Но пока что она числится среди типичных ультрафиолетовых небесных объектов.

Последний пример показывает, что в ультрафиолетовых лучах звездное небо стало бы для нас неузнаваемым (как, впрочем, и в других невидимых лучах спектра). Самой яркой звездой вместо Сириуса оказалась бы звезда Дзета из

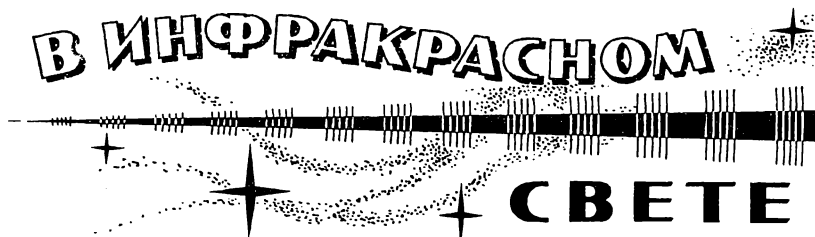
южного созвездия Кормы. Она выглядела бы примерно такой же яркой, как Венера. В Северном полушарии неба выделялась бы Дзета Ориона, самая левая звезда в его «поясе». Необычно яркими выглядели бы и некоторые особенно горячие звезды.

Самое же удивительное на ультрафиолетовом небе — обилие огромных, ярко светящихся туманностей. Одна из них заняла все созвездие Ориона. Это продолжение той части туманности Ориона, которую с трудом, в виде крохотного слабосветящегося пятнышка, различает глаз.

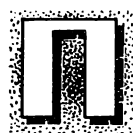
Из других похожих огромных светящихся пятен особенно примечательна исполинская ультрафиолетовая туманность, окутывающая Спикку — главную звезду созвездия Девы. Она очень яркая, почти круглая, с поперечником, в 50 раз большим видимого диаметра полной Луны. А вот сама Спика почему-то не видна — ее ультрафиолетовое излучение сравнительно слабо.

Необычен невидимый ультрафиолетовый космос. И в этом невидимом непременно надо тщательно разобраться. Только тогда познание Вселенной станет всесторонним, полным.

В ИНФРАКРАСНОМ



СВЕТЕ



П ерешагнув через «окно» видимого света, мы оказываемся в инфракрасной части электромагнитного спектра. Слева она ограничена самыми красными лучами, которые еще может воспринять человеческий глаз (напомним, что соответствующая длина волны равна 760 ммк). Справа, в области миллиметровых волн, инфракрасная часть спектра граничит с радиодиапазоном.

В отличие от рентгеновской или гамма-астрономии, инфракрасная астрономия зародилась очень давно, в самом начале прошлого века. Вильям Гершель, знаменитый исследователь звездного мира, в 1800 году наблюдал Солнце сквозь различно окрашенные темные стекла. «Самым замечательным, — писал он, — было то, что при рассматривании Солнца через определенные стекла я чувствовал тепло, несмотря на то что стекло почти не пропускало света; в то же время в опытах с другими стеклами, пропускавшими много света, тепловое ощущение было ничтожным».

Чтобы выяснить, в чем тут дело, Гершель поставил простой опыт, который легко может повторить и читатель этой книги. С помощью стеклянной призмы он разложил солнечный луч в радужную полоску — спектр — и измерил термометром с зачерненным ртутным концом температуру в разных участках спектра. С продвижением от фиолетового его конца к красному температура неуклонно росла. Но более всего Гершеля удивило то, что, когда ртутный шарик оказался за пределами красной границы спектра, там, где глаз уже не видел никаких лучей, температура оставалась достаточно высокой. Так были открыты невидимые «тепловые», инфракрасные лучи.

Хотя Гершель был уверен, что источником инфракрасного излучения является любое нагретое тело, он, естественно, не мог предвидеть грандиозных последствий своего открытия. Мы сознательно употребили это сильное выражение «грандиозных», потому что в современной земной и космической тех-

Рис. 20. Невидимые инфракрасные лучи можно обнаружить с помощью термометра.



нике инфракрасные лучи играют очень большую роль. Велико их значение и в современной астрофизике, и можно думать, что «инфракрасной астрономии» принадлежит большое будущее. Так заставляют думать даже те успехи, которые уже достигнуты сегодня.

Впрочем, об этом позже. А теперь познакомьтесь с основными принципами действия астрономической инфракрасной техники.

ИНФРАКРАСНАЯ ТЕХНИКА

Термометр, употребленный Вильямом Гершелем, был, конечно, самым примитивным приемником инфракрасного излучения. Последователи Гершеля старались использовать более совершенную технику. В 1840 году его сын, Джон Гершель, не менее знаменитый исследователь космоса, впервые получил инфракрасную фотографию Солнца. Приемником излучения была бумага, пропитанная спиртом, который содержал в себе частички сажи. «Тепловые», инфракрасные лучи, оправдав свое первое наименование, выпарили спирт, и на бу-

маге был зафиксирован некоторый, не очень, конечно, четкий рисунок.

Эмульсии современных фотопластинок чувствительны к лучам с длиной волны от 760 до 1200 *ммк*. Примерно век спустя после первой инфракрасной фотографии, полученной Джоном Гершелем, удалось сфотографировать инфракрасные спектры Венеры, Марса и Юпитера. В атмосфере первой из этих планет был обнаружен углекислый газ. Его же нашли и в атмосфере Марса, где, кроме того, оказались в крайне незначительном количестве и водяные пары. Что же касается атмосферы Юпитера, то в ней, как и ожидали, преобладающая роль отведена водороду. Скромное начало имело немалые по значению последствия.

Начиная с длины волны 1,2 *мк* все более длинноволновое инфракрасное излучение принимается специальными «точечными» приемниками. Они и в самом деле чувствительны только к той лучистой энергии, которая собрана в данной отдельной точке изображения.

Среди них долгое время безраздельно господствовала термопара (рис. 21). В простейшем случае — это спай двух металлов, например сурьмы и висмута. При нагревании спаи термопары возникает разность потенциалов, появляется электрический ток, который фиксируется чувствительным гальванометром. Если параллельно соединить несколько термопар, получится термоэлемент. Его в середине прошлого века впервые использовал для астрономических наблюдений лорд Росс, известный ирландский астроном. Его рефлектор с диаметром

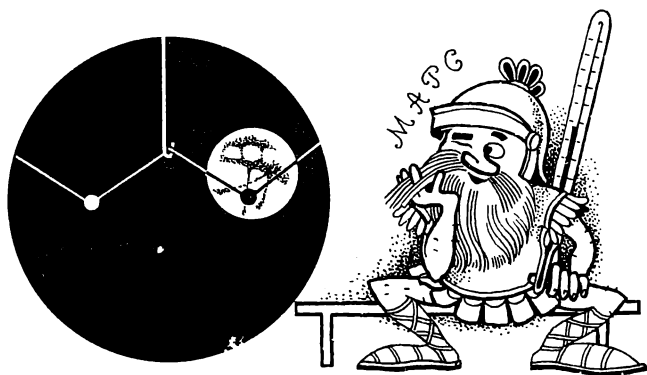


Рис. 21. С помощью термопары можно измерить температуру поверхности Марса.

зеркала 180 см был в свое время крупнейшим телескопом мира. Термоэлемент помещался в фокус этого телескопа, где собиралось тепловое излучение, посланное Луной (диапазон волн длиной 8—14 мк). Телескоп-рефрактор был бы для этой цели непригоден — ведь стеклянные линзы рефрактора задерживают излучение с длиной волны больше 1,5 мк.

Другой прибор — болометр — был впервые применен в 1880 году. В простейшем виде — это тонкая, зачерненная сажей проволочка (или кусочек металлической фольги), включенная в электрическую цепь. Как известно, при нагревании проводника его сопротивление увеличивается, при охлаждении, наоборот, уменьшается. Представьте себе, что такую проволочку мы помещаем в разных местах солнечного спектра. Ясно, что нагрев ее будет при этом неодинаков. Но, что очень важно, проволочка, подобно термометру Вильяма Гершеля, будет нагреваться и в невидимой, инфракрасной части спектра. Значит, с помощью болометра можно изучать инфракрасные лучи.

Оба эти прибора — термоэлемент и болометр — постепенно совершенствовались. В 20-х годах текущего века термоэлемент поместили в вакуум, чем увеличили его чувствительность. Несколько улучшили и конструкцию болометров, что позволило проникнуть дальше в инфракрасный спектр Солнца, вплоть до волн длиной около 22 мк.

Во время второй мировой войны вошел в практику так называемый элемент Голея. Идея его устройства несложна. В замкнутом объеме находится газ, давление которого при нагревании, естественно, увеличивается. С ростом давления искривляется поверхность зеркала, на которое постоянно направлен луч света специального источника. Следовательно, изменение температуры элемента неизбежно влечет за собой изменение положения отраженного луча, что с большой точностью фиксируется на особой шкале.

Совсем на другом принципе действуют квантовые или фотопроводниковые приемники инфракрасного излучения. Их основа — некоторые кристаллы, обладающие свойствами так называемых полупроводников. Когда на них падают невидимые инфракрасные лучи, кристаллы нагреваются, их проводимость меняется, что и фиксируется специальными измерительными приборами.

Земная атмосфера мешает «инфракрасной астрономии». Мало того, что она поглощает часть инфракрасного излучения небесных тел и тем маскирует действительную картину. Земной воздух сам излучает инфракрасные лучи в диапазоне от 8 до 14 мк. Это дополнительное излучение только мешает

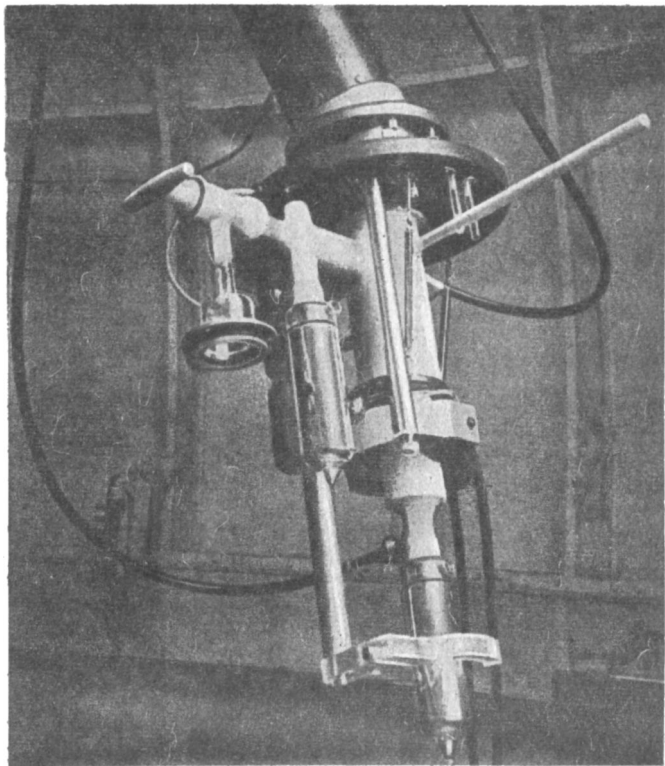


Рис. 22. Спектрограф, укрепленный на окулярной части крупного телескопа. С подобной аппаратурой можно также изучать инфракрасные лучи.

наблюдениям. Создается почти такое же незавидное положение, как если бы астроном стал наблюдать звезды днем с помощью освещенного изнутри телескопа.

Стремясь преодолеть это препятствие, приемники инфракрасного излучения размещают на воздушных шарах и космических аппаратах. Атмосфера вся или почти вся оказывается внизу и не мешает наблюдениям. Зато возникают другие неудобства. В космос трудно выносить массивные приборы, трудно применять там длительные экспозиции, повторять наблюдения до тех пор, пока появится полная уверенность в достоверности полученных результатов. В общем, наземные средства наблюдения пока конкурируют с заатмосферными,

хотя рано или поздно первенство все же перейдет к последним.

Крупнейший советский телескоп — 125-сантиметровый рефлектор Крымской обсерватории. На его окулярном конце был укреплен призменный инфракрасный спектрометр, с помощью которого В. И. Мороз, видный исследователь в области инфракрасной астрономии, изучил недавно спектры планет и их спутников. Приемником инфракрасного излучения служило особое сернисто-свинцовое фотосопротивление, проводимость которого при нагревании заметно менялась. Хотя наблюдения велись с Земли, сквозь толщу мешающей им атмосферы, результаты получились очень интересными — о них мы сейчас расскажем.

Хочется перед этим отметить одно важное обстоятельство: в диапазоне волн длиной от 22 мк до 1 мм земная атмосфера очень сильно поглощает инфракрасное излучение небесных тел. Не мудрено, что в этой области спектра — «белое пятно». Что оно скрывает, пока неясно, так как в этом диапазоне не было сделано еще ни одного важного астрономического наблюдения. Вот тут-то и должна прийти на помощь заатмосферная астрономия.

НОВОЕ О ПЛАНЕТАХ И ЛУНАХ

Почти всякий раз, когда исследователям планет удавалось проникнуть в инфракрасную часть спектра и изучить находящиеся там спектральные линии, они совершали важное открытие. Так было в 1932 году — в инфракрасном спектре Венеры нашли неизвестные ранее линии с длинами волн 7820, 7883, 8689 ангстрем. Их удалось уверенно приписать углекислому газу и даже (по их интенсивности) сделать правильный вывод об обилии углекислоты в атмосфере Венеры. Подобным образом в 1947 году в спектре Марса были обнаружены две полосы углекислоты с длинами волн, близкими к 1,6 мк.

Но это — в прошлом. А вот несколько выдающихся открытий, сделанных в последние годы при изучении невидимого инфракрасного излучения планет.

Давно обсуждался вопрос о природе густого облачного слоя Венеры. Что это — облака, похожие на земные, то есть состоящие из множества мельчайших водяных капелек, взвешенных в атмосфере? Или это облака пыли, вздымаемые ураганами над сухими, безводными пустынями Венеры? Или, наконец, поверхность Венеры постоянно скрыта от наших глаз ядовитыми парами формальдегида?

В 1963 году американский астроном Стронг с помощью воздушного шара и инфракрасной аппаратуры с высоты 25 км пытался найти полосы поглощения водяных паров в инфракрасном спектре Венеры. Их не совсем четкие следы были зафиксированы, но только год спустя с более совершенной аппаратурой первоначальное открытие было подтверждено. К таким же выводам почти одновременно пришел и известный французский исследователь планет Дольфус.

Можно теперь утверждать, что в стратосфере над облачным слоем Венеры содержится водяных паров примерно в сто раз меньше, чем у поверхности Земли. Если бы вся эта «венерианская» вода осела на поверхность планеты, она покрыла бы ее пленкой толщиной всего в 0,1 мм.

Хотя этот результат, повторяем, относится к стратосфере Венеры, можно думать, что и вся венерианская атмосфера небогата водой. Во всяком случае, советская межпланетная автоматическая станция «Венера-4», пройдя всю толщу атмосферы Венеры, зарегистрировала всего 1,6% воды. Тем не менее облачный слой Венеры по своей природе скорее всего напоминает земные облака.

Этому выводу не противоречит исключительно высокая температура поверхности Венеры (по данным «Венеры-4», она близка к плюс 280°) — ведь облака Венеры плавают в высоких и сравнительно холодных слоях ее атмосферы. Кстати сказать, оставаясь холодными, они, подобно одеялу, задерживают тепло у поверхности Венеры, создают так называемый парниковый эффект. Строгости ради все-таки заметим, что окончательный вывод о природе облаков Венеры еще не сделан. Ледяные кристаллики должны давать полосы поглощения для длин волн в 1,5 и 21 мм — их же в инфракрасном спектре Венеры почему-то нет.

Любопытна инфракрасная карта Венеры (рис. 23). Сплошными линиями показаны изотермы, то есть кривые, соединяющие точки с одинаковыми температурами. Пунктиром показан терминатор — граница света и тени (дня и ночи) на поверхности планеты. Примечательно, что на распределение температур он не влияет — факт, доказывающий медленное вращение Венеры вокруг оси, медленное настолько, что разница дневных и ночных температур, по-видимому, сглаживается.

Еще одна интересная деталь — горячее пятно около южного полюса Венеры. Оно не единственное. Наблюдались и другие подобные пятна, возникавшие и исчезающие за короткие сроки (за 20—25 часов). Может быть, они порождены мощными действующими вулканами Венеры?

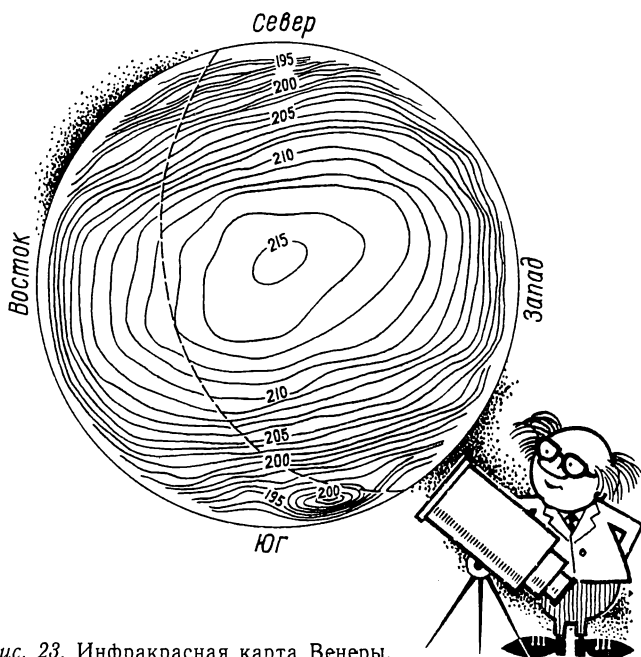


Рис. 23. Инфракрасная карта Венеры.

Даже в небольшой телескоп на диске Юпитера легко различимы сероватые полосы. Это облака в мощной метано-аммиачной атмосфере Юпитера. Естественно было ожидать, что в инфракрасном свете картина получится сходной. На самом же деле в диапазоне волн от 8 до 14 мк Юпитер выглядел неузнаваемым — на нем нельзя было различить ни одной из характерных для него полос. Получается, что распределение температур на видимой поверхности Юпитера никак не связано с распределением облачности в его атмосфере.

Но вот что заслуживает особого упоминания: на инфракрасных картах Юпитера его знаменитое Красное пятно, образование загадочное, во многом непонятное до сих пор, оказалось примерно на два градуса холоднее окружающих областей. Это еще раз говорит о том, что Красное пятно в известной степени «инородное» образование в атмосфере Юпитера.

Совсем удивительным и неожиданным показался другой факт. Когда тень от одного из больших спутников Юпитера упала на поверхность планеты, из этого темного теневого пятна инфракрасное тепловое излучение вдруг увеличилось почти

в 30 раз! В другой раз повторилось почти то же самое. Чем вызваны эти странности, пока неясно.

Давно известно, что кольца Сатурна представляют собой рой из множества глыб. Московский астроном М. С. Бобров, почти всю жизнь посвятивший исследованию сатурновых колец, нашел, что их составляют тела диаметром от сантиметра до метра. Вместе взятые, они по объему примерно в тысячу раз меньше того объема пространства, которое занимают кольца, причем весят кольца Сатурна примерно в сто тысяч раз меньше, чем земной шар.

Уже много лет назад было подмечено, что распределение энергии в инфракрасном спектре сатурновых колец не совсем такое, как у Солнца. Было высказано предположение, что частицы сатурнова кольца покрыты льдом или инеем. Недавно В. И. Мороз с более современной аппаратурой подтвердил эту гипотезу.

Пожалуй, наибольших успехов инфракрасная астрономия достигла в изучении Марса. Именно в этой области найдены доказательства, не оставляющие серьезных сомнений в наличии марсианской растительности. Но обо всем по порядку.

Более ста лет назад удалось подметить, что на Марсе регулярно совершаются сезонные изменения. С наступлением в одном из полушарий Марса весны уменьшается полярная

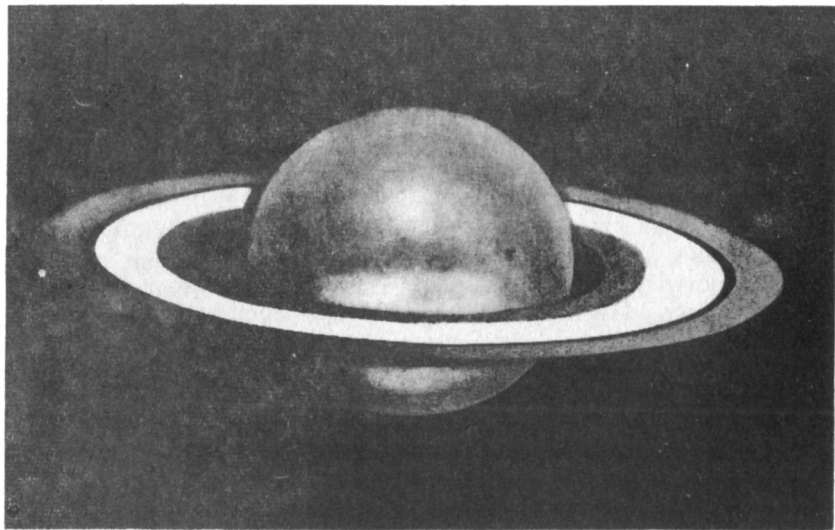


Рис. 24. Кольца Сатурна.

шапка, темнеют марсианские «моря», «оазисы» и «каналы». Какая-то темная волна бежит от тающей полярной шапки к марсианскому экватору. Но здесь она не останавливается, а продолжает свое движение до умеренных широт противоположного полушария. К этому времени меняются времена года. И вновь повторяется прежняя картина, но только постепенно уменьшается другая полярная шапка, а темная волна от нее бежит в противоположном направлении.

Самое простое и естественное объяснение всем этим явлениям очевидно: перед нами сезонные изменения произрастающей и увядающей марсианской растительности. Но как найти тому убедительные доказательства? Вот тут-то очень существенно и помогла инфракрасная астрономия.

У земных растений есть одно характерное свойство — они сильно рассеивают инфракрасные, «тепловые» лучи. Поэтому на снимках с инфракрасным фильтром земные растения даже летом кажутся покрытыми инеем. В этом заключается так называемый эффект Вуда. Неожиданно выяснилось, что у марсианских морей эффект Вуда отсутствует. Заметно ослаблен он и у тех земных растений, которые живут в суровой климатической обстановке.

Знаменитый основоположник астробиологии Г. А. Тихов в свое время из всех этих фактов сделал важный вывод: марсианским растениям невыгодно терять, рассеивать инфракрасные лучи. Именно поэтому в инфракрасном свете марсианские моря остаются темными.

В 1947 году американский астроном Д. Койпер в инфракрасном спектре Марса заметил полосы углекислоты — газа, который, как известно, служит источником питания для земных растений. Не менее важным было и другое открытие: в 1963 году в инфракрасном спектре Марса наконец удалось обнаружить полосы водяных паров. Правда, атмосфера Марса, как и ожидали, оказалась необыкновенно сухой — над каждым квадратным сантиметром марсианской поверхности содержится в воздухе всего примерно 0,02 г водяных паров. По земным меркам для орошения растительности это маловато. Но кто знает, как далеко зашла приспособляемость марсианских растений к исключительно суровым условиям внешней среды.

Наконец пришло, как казалось, и прямое доказательство. В 1956 году во время великого противостояния Марса американский астроном Синтон в инфракрасном спектре Марса нашел четкие полосы, принадлежащие, по-видимому, органическим молекулам. Их длины волн 3,45, 3,58, 3,69 мк.

Два года спустя на крупнейшем 5-метровом рефлекторе

мира Синтон повторил прежние наблюдения. Чувствительность аппаратуры была вдесятеро больше прежней. И снова в спектре марсианских морей удалось зарегистрировать три загадочные полосы поглощения, тогда как в инфракрасном спектре марсианских пустынь (обратите на это внимание!) они отсутствовали. Подобный результат был получен и В. И. Морозом в 1963 году на Крымской астрофизической обсерватории.

Казалось, все ясно, и старый вопрос — «есть ли жизнь на Марсе?» — получил положительный ответ. Но как раз в 1963 году и появились первые сомнения, верно ли отождествлены полосы Синтона с полосами, характерными именно для органических молекул.

Из трех полос Синтона только та, которой соответствует длина волны $3,45\text{ мк}$, уверенно проявляет себя в спектре органических веществ. Две другие полосы у органических образований встречаются далеко не всегда. С другой стороны, нет таких полос у достаточно распространенных неорганических веществ — факт, как будто говорящий в пользу первоначального вывода Синтона.

Наконец, в 1965 году подыскивали вещество, как будто дающее полосы Синтона. Им оказалась обычная вода с примесью тяжелой воды, где роль водорода выполняет его тяжелый изотоп — дейтерий. Совпадение с двумя полосами Синтона хорошее — разницу можно объяснить ошибками наблюдений. Правда, полоса с длиной волны $3,45\text{ мк}$ не получалась и в этом случае.

Мало того: чтобы вообще объяснить существование таких полос в инфракрасном спектре Марса, пришлось предположить, что марсианская вода наполовину состоит из тяжелой воды. Это выглядит совсем неправдоподобно — ведь в земной воде такая примесь содержится в количестве всего около $0,02\%$.

Скептики, никак не желающие признать реальность марсианских растений, пустились тогда на другие ухищрения. Они предположили, что в появлении полос Синтона повинна... земная атмосфера! Действительно, в инфракрасном спектре Солнца заметны полосы с длинами волн $3,67$ и $3,56\text{ мк}$, причем они усиливаются с увеличением количества водяного пара. Но, во-первых, опять отсутствует полоса с длиной волны $3,45\text{ мк}$ — напомним, что именно она характерна для органических молекул, — а во-вторых, если полосы Синтона порождаются земной атмосферой, непонятно, почему они есть у марсианских морей и отсутствуют у марсианских пустынь. Объяснения полос Синтона с помощью тяжелой воды выгля-

дят как необоснованные, искусственные натяжки. Открытие Синтона надо рассматривать не изолированно от других данных о Марсе, а наоборот, в тесной связи с ними. Тогда станет очевидным, что, вероятно, только органической природой марсианских морей можно объяснить их сезонные изменения и полосы Синтона. Ясно, что «дейтериевая» гипотеза никак не увязывается со сменой сезонов на Марсе.

По-новому в инфракрасном «свете» выглядят и некоторые спутники планет.

Еще в 1947 году Д. Койпер в спектре Титана, главного спутника Сатурна, заметил полосы метана. Долгое время считалось, что Титан — единственная луна Солнечной системы, окруженная атмосферой. Теперь, после недавних исследований В. И. Мороза, этот вывод надо признать устаревшим.

Советский астроном изучил отражательную способность (в инфракрасном «свете») главных спутников Юпитера — Ио, Европы, Каллисто, Ганимеда — и сравнил результаты с отражательной способностью лишенной атмосферы Луны.

Оказалось, что кривые для Ио и Каллисто сходны между собой, но явно отличаются от кривых для Европы и Ганимеда. Последние похожи на кривые, полученные для полярных шапок Марса и сатурновых колец. Значит, напрашивается вывод: поверхность Европы и Ганимеда покрыта льдом. Расчеты показывают: эти льды должны испаряться под воздействием солнечных лучей. Но это означает, что вокруг Европы и Ганимеда, возможно, существует атмосфера.

У Луны отражательная способность увеличивается с ростом длины волны. У Ио и Каллисто она остается почти постоянной. Эти и другие особенности юпитеровых лун, по-видимому, также говорят о наличии атмосфер у Ио и Каллисто. Стоит заметить, что ряд наблюдателей отмечали на поверхности главных спутников Юпитера изменчивые полосы и пятна. Впрочем, во всем этом ничего поразительного нет — Ио, Европа, Каллисто и Ганимед весьма крупные тела, по размерам сравнимые не только с Меркурием, но даже и с Марсом. Если бы они обращались не вокруг Юпитера, а вокруг Солнца, мы бы считали их нормальными, сравнительно крупными планетами.

Добавим к сказанному, что в инфракрасном спектре Меркурия В. И. Мороз обнаружил слабые полосы углекислоты. Результат этот не вполне надежен, хотя известны и другие следы атмосферы Меркурия — еще Антониади отмечал эпизодические помутнения деталей на Меркурии, помутнения, вызванные, как он думал, пылевыми бурями. Вполне возможно, что он был прав.

Астроному Пулковской обсерватории Н. Ф. Купревичу пришла в голову счастливая идея — использовать телевидение для астрономических наблюдений. Принцип действия телевизионного телескопа, в сущности, прост — это сочетание обычного оптического телескопа с приемным и передающим телевизионным устройством.

Можно проделать нехитрый опыт — направить телескоп на Солнце, а за его окулярной частью поместить белый экран. Тогда, как известно, на экране появится изображение Солнца. Чем дальше отодвинут экран от окуляра, тем оно будет крупнее. Но, выигрывая в размерах, изображение Солнца теряет в яркости. Наоборот, вблизи окуляра яркость изображения возрастет настолько, что крошечное ослепительное «солнце» прожжет бумагу.

Если телескоп навести на Луну, можно на экране получить и ее изображение. Разумеется, изобразятся на экране и планеты, и звезды, и другие небесные объекты, но только яркость изображения получится несравнимо меньшей, чем для Луны.

Теперь представьте себе, что там, где находился экран, помещена передающая телевизионная трубка — та самая, которой пользуются в телевизионных студиях. Мы не станем разбирать ее устройство — это увело бы нас далеко от темы книги. Отметим лишь главное: передающая трубка превращает оптическое изображение в электрические сигналы. Эти сигналы можно с помощью радиоволн передать на большое расстояние, где они будут приняты антенной телевизора, причем последний снова превратит их в изображение. А можно телевизор поместить тут же, в обсерватории, и на экране его кинескопа наблюдать то, что происходит на небе.

Такова идея, таков основной принцип. Техническое воплощение этого принципа — телевизионный телескоп Пулковской обсерватории. Этот новый метод астрономических наблюдений имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными. Изображение астрономического объекта можно передать на большие расстояния.

На экране кинескопа можно получать очень крупные, подробные изображения. Удастся «накапливать» изображение в виде электрических зарядов на люминесцирующем слое кинескопа, а потом рассматривать или фотографировать его. Расчеты показывают, что таким способом в недалеком будущем на заатмосферных обсерваториях удастся получить изображения звезд 34-й звездной величины — в десятки тысяч раз более слабых, чем те, которые ныне на пределе видимо-

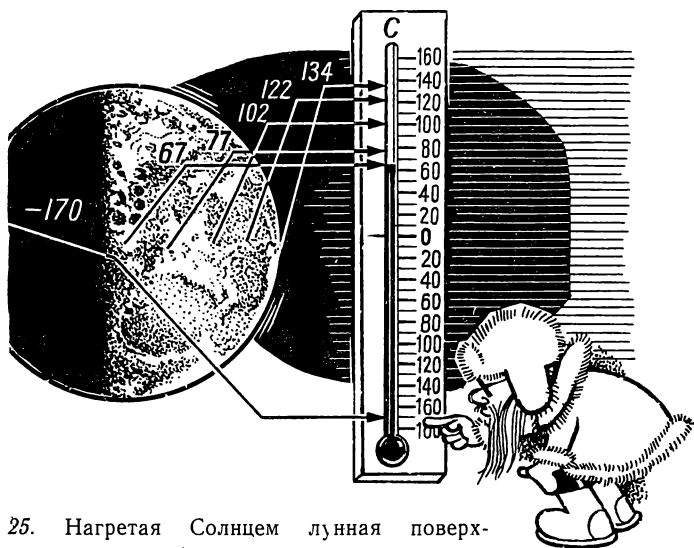


Рис. 25. Нагретая Солнцем лунная поверхность — источник инфракрасного излучения.

сти доступны в современные телескопы. Есть и другие достоинства телевизионных телескопов, но следует, конечно, отметить и их главный недостаток — громоздкость оборудования. Непостоянство изображения на экране телевизионного телескопа (перерывы в чередовании кадров) мешает четкому фотографированию объекта.

В инфракрасной астрономии телевизионный телескоп уже продемонстрировал свою силу. Если наблюдения ведутся в инфракрасной части спектра, перед видиконом — передающей телевизионной трубкой — устанавливают фильтр из кремния или особого стекла, который пропускает только инфракрасное излучение. Эти лучи попадают на тонкий слой полупроводникового материала, в разных частях которого создается разное электрическое сопротивление — в «светлых» меньше, в «темных» больше (речь идет, повторяем, об инфракрасном невидимом изображении). Таким образом, на полупроводниковой «мишени» видикона создается электрическое изображение объекта, которое затем и передается в приемный телевизор. На экране же последнего невидимое изображение становится видимым, потому что люминесцентный приемный слой кинескопа излучает видимые лучи. Теперь уже ничто не мешает сфотографировать невидимое, получить снимок небесного тела в инфракрасных лучах.

Еще в 1962 году Н. Ф. Купревич таким способом получил очень любопытные инфракрасные фотографии Луны. Картина получилась во многом отличная от того, что видит глаз.

Лунное Море Облаков обычно выглядит равниной с неопределенными пятнами и небольшим числом кратеров. В инфракрасном свете видны кольцевые горы, заполняющие все пространство моря. А вот светлые лучи, расходящиеся от кратера Тихо, в инфракрасном свете оказались совокупностью мелких, вытянутых в полоску кратеров — открытие, лишь через несколько лет подтвержденное средствами космонавтики. Там, где вокруг кратера Коперник глаз видит темные пятна, инфракрасный телевизионный телескоп Н. Ф. Купревича зафиксировал кратеры с резко выраженной структурой. Нежи-

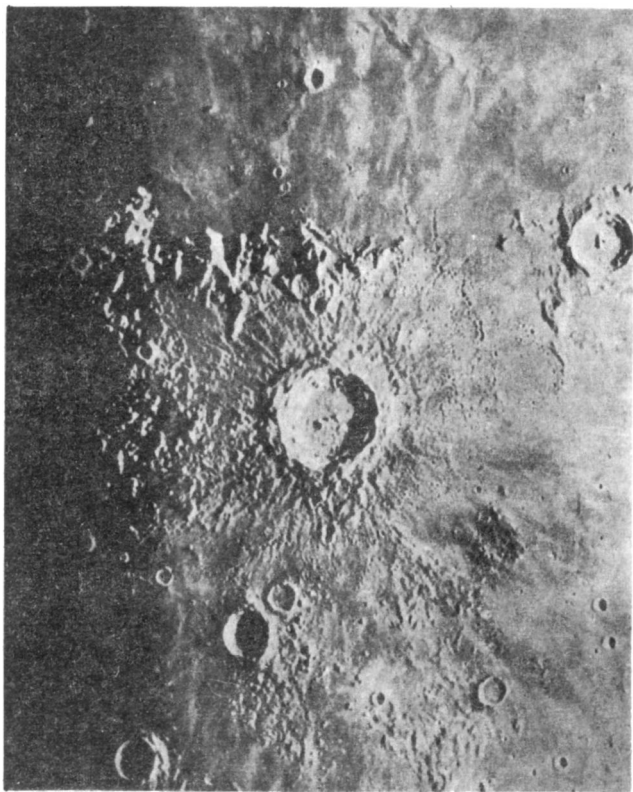


Рис. 26. Лунный кратер Коперник.

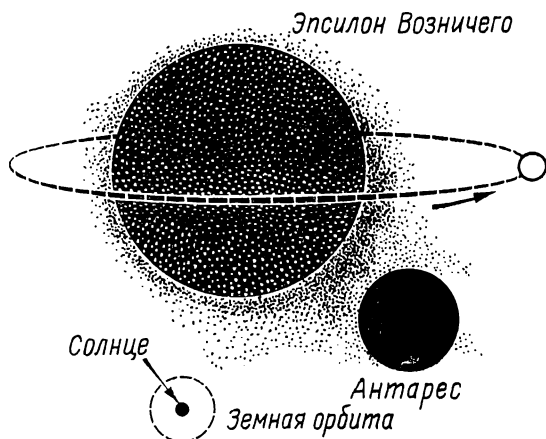


Рис. 27. Исполинская инфракрасная звезда Эпсилон Возничего в сравнении со звездой-гигантом Антарес и земной орбитой. Это один из наиболее замечательных инфракрасных объектов нашей Галактики.

данным было и то, что Море Дождей оказалось бугристой областью, усеянной множеством невидимых глазом кратеров. Подобные открытия были сделаны и в других районах Луны.

Астрономы Крымской обсерватории А. И. Абраменко и Е. С. Агапов с помощью 50-сантиметрового телескопа с присоединенным к нему телевизионным устройством наблюдали звезды 21-й звездной величины. Без помощи телевидения тот же телескоп фиксирует лишь звезды не слабее 18-й звездной величины.

Все это, конечно, только первые шаги. Но перспективы весьма заманчивы.

КАК УВИДЕЛИ ЯДРО ГАЛАКТИКИ

В созвездии Стрельца, там, где Млечный Путь становится более широким и ярким, должно находиться центральное сгущение нашей звездной системы — ядро Галактики. В этом направлении сгущаются звезды, звездные скопления, туманности. Здесь, именно здесь должно находиться огромное шаровидное скопище звезд, подобное тем, которые хорошо различимы на снимках ближайших галактик.

Но его нет, галактическое ядро мы не видим.

А в том месте неба, где ему следовало быть, наблюдается своеобразный темный «провал», выделяющийся на фоне Млечного Пути.

Причина несоответствия теории и наблюдений понятна. Ядро Галактики скрыто от нас огромными протяженными облаками темной космической пыли. Они обволакивают центральные области нашей звездной системы, делают их невидимыми. И все-таки увидеть ядро Галактики можно. Помогла решить эту задачу инфракрасная астрономия.

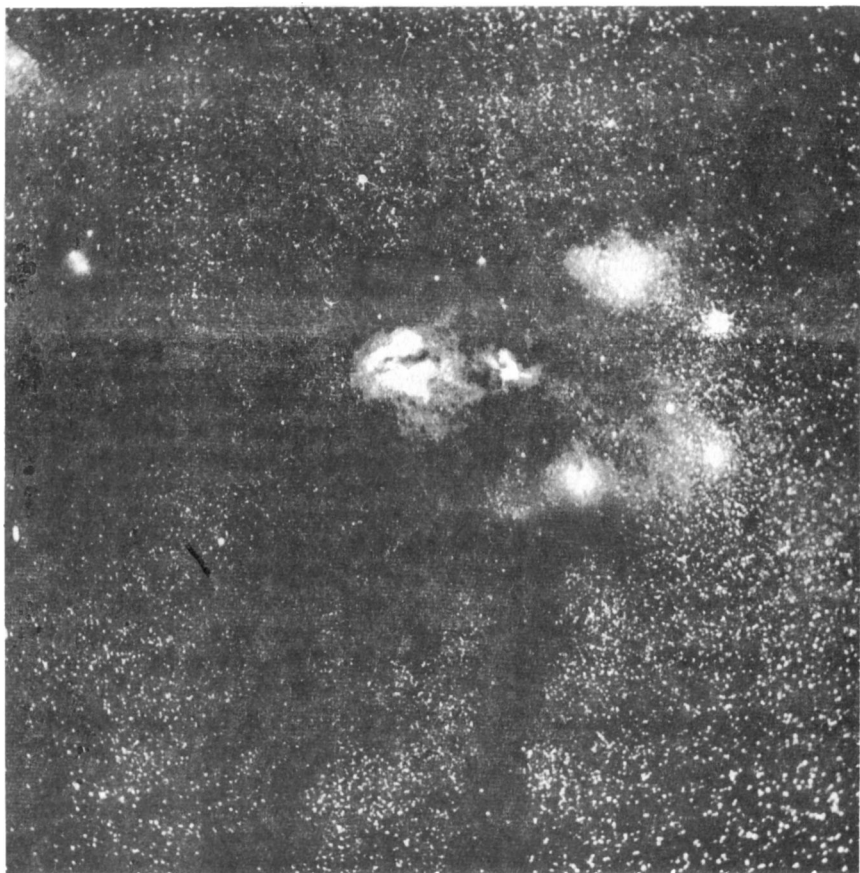


Рис. 28. Темные межзвездные облака на фоне Млечного Пути. Такими облаками окутано ядро нашей Галактики.

Помните, каким красным кажется Солнце, проглядывающее сквозь густое облако дыма? Подобно дымовой завесе ведут себя и межзвездные пылевые облака. Они задерживают синие и голубые лучи, но легко пропускают оранжевые и красные, поэтому Солнце сквозь дым зачастую выглядит кровавым. А инфракрасные лучи обладают еще большей проникающей способностью, чем лучи красные, видимые глазом. Читателю ясно, к чему клонятся эти рассуждения. Если галактическое ядро невидимо глазом, то, вероятно, инфракрасные лучи пробивают межзвездную пылевую завесу, а тогда в инфракрасных лучах ядро Галактики должно стать видимым.

В 1948 году советские астрономы В. Б. Никонов, А. А. Калинин и В. И. Красовский исследовали окрестности галактического ядра, а несколько ранее и менее удачно их американские коллеги попытались сфотографировать невидимое галактическое ядро. Прибор, позволяющий это сделать, получил ныне широкое признание в инфракрасной астрономии. Называется он электронно-оптическим преобразователем.

Основа прибора — полупрозрачный кислородно-цезиевый фотокатод. Его помещают в фокус телескопа и с помощью инфракрасного фильтра (вроде тех, о которых говорилось) направляют на него инфракрасные лучи от небесного тела. Кванты инфракрасного излучения хотя и менее энергичны, чем кванты видимого света, но все же, ударяясь о фотокатод, выбивают из него электроны, которые на специальном экране создают видимое глазом изображение.

Не зря этот прибор называется преобразователем. Он и на самом деле преобразует инфракрасное изображение в видимое. Благодаря ему и удалось впервые увидеть окрестности ядра Галактики. Спустя два десятилетия американские астрономы аналогичным способом исследовали и самое ядро нашей звездной системы.

Если бы какой-нибудь фантастический пылесос убрал из Галактики всю межзвездную среду, то есть пыль и газы, заполняющие межзвездное пространство, то ядро Галактики предстало бы перед нами огромным, причудливым светилом. Мы видели бы летними ночами в созвездии Стрельца шаровидное, слегка сплюснутое скопище звезд, поперечник которого в 36 раз превышал бы видимый диаметр Луны. Земные предметы, освещенные зеленовато-желтым светом галактического ядра, отбрасывали бы заметные тени.

Природа лишила нас этого необыкновенного зрелища. Но человек способен преодолеть любые преграды — инфракрасная техника раскрыла перед нами невидимые глазом звездные дали.

РАДИО-ТЕЛЕСКОПЫ



екабрь 1931 года... В одной из американских лабораторий ее сотрудник Карл Янский изучает атмосферные помехи радиоприему. Нормальный ход радиопередачи на волне длиной 14,6 м почему-то нарушается шумами, интенсивность которых не остается постоянной. Постепенно выясняется загадочная периодичность — каждые 23 часа 56 минут помехи становятся особенно сильными. И так изо дня в день, из месяца в месяц.

Впрочем, загадка быстро разгадывается. Странный период в точности равен продолжительности звездных суток в единицах солнечного времени. Яснее говоря, через каждые 23 часа 56 минут по обычным часам, отсчитывающим солнечное время, земной шар совершает полный оборот вокруг оси, и все звезды снова возвращаются в первоначальное положение относительно горизонта любого пункта Земли.

Отсюда Янский делает естественный вывод: досадные помехи имеют космическое происхождение. Какая-то таинственная космическая «радиостанция» раз в сутки занимает такое положение на небе, что ее радиопередача достигает наибольшей интенсивности.

Янский пытается отыскать объект, вызывающий радиопомехи. И, несмотря на несовершенство приемной радиоаппаратуры, виновник найден. Радиоволны исходят из созвездия Стрельца, того самого, в направлении которого находится ядро нашей звездной системы...

Так возникла радиоастрономия — одна из наиболее увлекательных отраслей «астрономии невидимого».

Первые пятнадцать лет радиоастрономия почти не развивалась. Многим было еще неясно, принесут ли радиометоды какую-нибудь существенную пользу астрономии.

Разразившаяся вторая мировая война привела к стремительному росту радиотехники. Радиолокаторы были приняты на вооружение всеми армиями. Их совершенствовали, всячески стремились повысить чувствительность, вовсе не предполагая, конечно, использовать радиолокаторы для небесных целей.

Советские ученые академики Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалексис теоретически обосновали возможность радиолокации Луны еще в 1943 году.

Это было первое радиоастрономическое исследование в Советском Союзе. Три года спустя оно было проверено на практике сначала в США, а затем в Венгрии. Радиоволны, посланные человеком, достигли Луны и, отразившись от нее, вернулись на Землю, где были уловлены чувствительным радиоприемником.

Второе пятнадцатилетие — это период необыкновенно быстрого прогресса радиоастрономии. Его можно назвать триумфальным, так как ежегодно радиоволны приносили из космоса удивительные сведения о природе небесных тел. Ныне радиоастрономия использует самые чувствительные приемные устройства и самые большие антенные системы. Радиотелескопы проникли в такие глубины космоса, которые пока остаются недостижимыми для обычных оптических телескопов. Радиоастрономия стала неотъемлемой частью современного естествознания. Перед человечеством раскрылся радиокосмос — картина Вселенной в радиоволнах.

Успехи современной радиоастрономии столь значительны, что ей мы посвятим несколько разделов. В этом разделе речь пойдет о радиотелескопах.

РАДИОТЕЛЕСКОПЫ ПОДРАЖАЮТ РЕФЛЕКТОРАМ

Вспомним, как устроен телескоп-рефлектор. Лучи, посылаемые небесным телом, падают на вогнутое параболическое зеркало и, отражаясь от его поверхности, собираются в фокусе рефлектора. Здесь получается изображение небесного тела, которое рассматривают через сильную лупу — окуляр телескопа. Маленькое второе зеркало, отражающее лучи в сторону окуляра, имеет чисто конструктивное, а не принципиальное значение.

Роль главного зеркала здесь достаточно ясна. Оно создает изображение небесного тела, и это изображение будет наилучшим в том случае, когда небесное тело находится на продолжении оптической оси телескопа. Говоря проще, телескоп в таком случае направлен прямо на наблюдаемый объект.

Приемником излучения в телескопе-рефлекторе служит человеческий глаз или фотопластинка. Чтобы увеличить угол зрения и подробно рассмотреть изображение светила, приходится пользоваться промежуточным устройством — окуляром.

Итак, в телескопе-рефлекторе есть собиратель излучения —

параболическое зеркало и приемник излучения — глаз наблюдателя или фотопластинка.

По такой же схеме устроен, в сущности, и простейший радиотелескоп. В нем космические радиоволны собирает металлическое зеркало, иногда сплошное, а иногда решетчатое.

Форма зеркала радиотелескопа, как и в рефлекторе, параболическая. Конечно, и здесь сходство не случайное — параболическая (или, точнее, параболоидная) поверхность способна собрать в фокусе падающее на нее электромагнитное излучение.

Если бы глаз мог воспринимать радиоволны, устройство радиотелескопа могло бы быть неотличимым от устройства телескопа-рефлектора. На самом деле приемником радиоволн в радиотелескопах служит не человеческий глаз или фотопластинка, а высокочувствительный радиоприемник.

Зеркало концентрирует радиоволны на маленькой антенне, облучая ее. Вот почему эта антенна в радиотелескопах получила название облучателя, хотя правильнее было бы называть ее собирателем радиоволн.

Радиоволны, как и всякое излучение, несут в себе некоторую энергию. Падая на приемную антенну, они возбуждают в этом металлическом проводнике упорядоченное перемещение электронов, иначе говоря — электрический ток. Точнее, в антенне возникают быстропеременные токи.

Теперь эти токи надо передать на приемное устройство и исследовать. От антенны к радиоприемнику электрические токи передаются по волноводам — специальным проводникам, имеющим форму полых трубок. Форма сечений волноводов и их размеры могут быть различными.

Космические радиоволны или, точнее, возбужденные ими электрические токи поступили в радиоприемник. Можно бы-

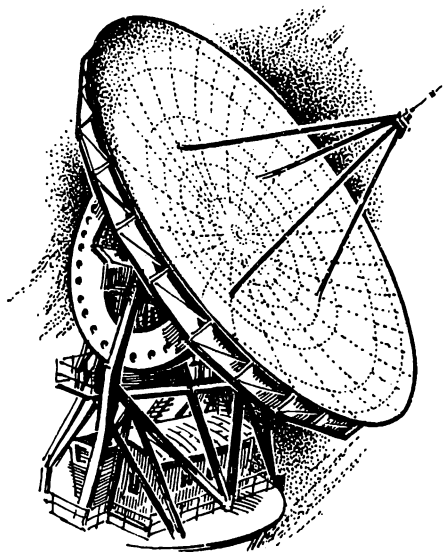


Рис. 29. Параболическое зеркало радиотелескопа концентрирует приходящее из космоса радиоизлучение на облучателе.

ло бы, пожалуй, подключив к приемнику репродуктор, послушать «голоса звезд». Но так обычно не делают. Голоса небесных тел лишены всякой музыкальности — не чарующие «небесные мелодии», а режущие наш слух шипение и свист слышались бы из репродуктора.

Астрономы поступают иначе. К приемнику радиотелескопа они присоединяют специальный самопишущий прибор, который регистрирует поток радиоволн определенной длины.

Каждый телескоп-рефлектор снабжен специальной установкой, которая позволяет наводить телескоп на любую точку неба. Астрономические установки, или штативы, бывают двоякого рода. В азимутальных установках есть две взаимно перпендикулярные оси, вокруг которых может вращаться телескоп, причем одна из них совпадает с вертикальной линией. Значит, при азимутальной установке телескоп можно поворачивать вокруг вертикальной и горизонтальной осей.

Такую азимутальную установку построить сравнительно просто. Но она обладает одним существенным недостатком. Наведя телескоп на звезду, надо затем его непрерывно подправлять — при видимом движении по небосводу звезды все время изменяют свою угловую высоту над горизонтом. Меняется их расположение и по отношению к сторонам горизонта. Приходится поэтому непрерывно поворачивать телескоп и вокруг второй, вертикальной оси.

В параллактической установке эти неудобства устранены. Телескоп, как и раньше, может вращаться вокруг двух взаимно перпендикулярных осей, но в параллактической установке одна из осей направлена на Полярную звезду (точнее, на полюс Мира — неподвижную точку, вокруг которой совершается видимое суточное движение всех небесных светил). Нетрудно сообразить, что при такой установке телескоп надо непрерывно поворачивать только вокруг одной, «полярной» оси — именно той, которая направлена на полюс Мира. Вращение же вокруг второй оси используется лишь при первоначальном наведении на светило. Заметим, что непрерывное движение телескопа вокруг «полярной» оси осуществляется обычно не вручную, а с помощью особого часового механизма.

Два типа установок можно встретить и у радиотелескопов. Одни из них могут двигаться только вокруг вертикальной и горизонтальной осей. Другие снабжены параллактической установкой — таких, правда, пока меньшинство. Установки радиотелескопов имеют очень важное назначение: как можно точнее нацелить зеркало на объект и сохранить такую ориентировку во время наблюдений.

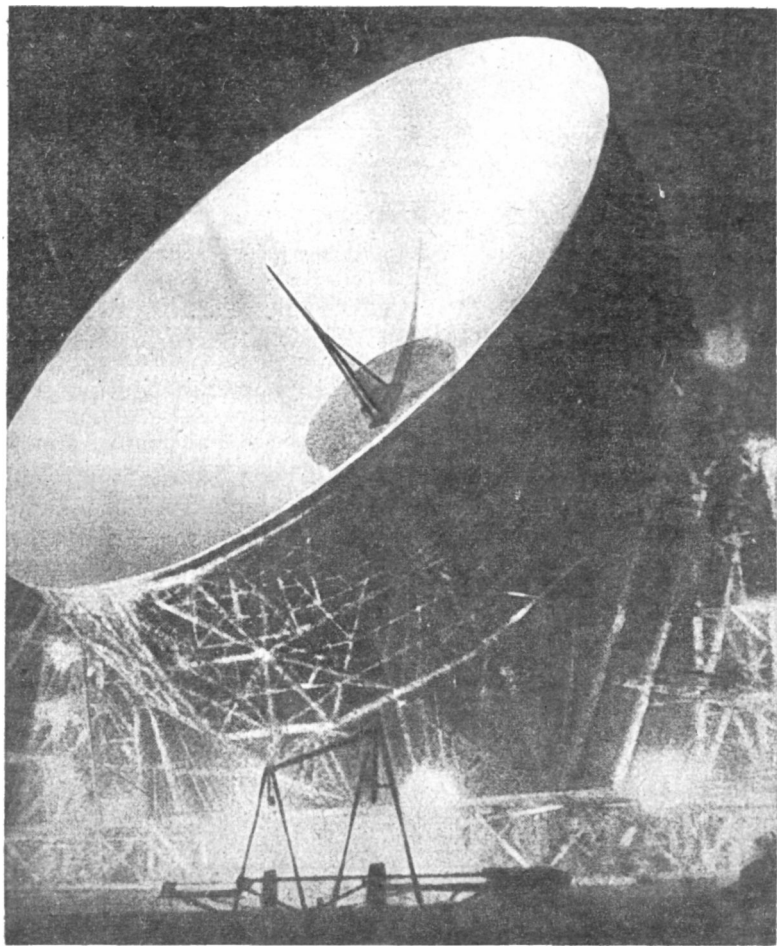


Рис. 30. Один из крупнейших современных радиотелескопов.

Радиотелескопы несколько напоминают рефлекторы, но есть между ними и большие различия. Столь большие, что забывать о них нельзя.

Прежде всего размеры собирателей излучения — зеркал. Самый большой из существующих телескопов-рефлекторов находится на горе Паломар вблизи Лос-Анджелеса (США). Поперечник его зеркала равен 5 м.

Зеркала радиотелескопов значительно больше. У рядовых из них они измеряются метрами, а самый большой из подвиж-

ных действующих радиотелескопов имеет зеркало поперечником 76 м.

Из неподвижных радиотелескопов самый большой имеет зеркало поперечником 300 м. Опорой для этого зеркала служит кратер одного из вулканов в Пуэрто-Рико. В недалеком времени будут построены еще большие радиотелескопы, тогда как рефлекторы с поперечником зеркала в 10 м вряд ли удастся создать в ближайшие 20—30 лет. В чем же причина столь существенного различия?

Секрет прост. Изготовить зеркало телескопа-рефлектора в техническом отношении несравненно труднее, чем гораздо большее по размерам зеркало радиотелескопа.

Для того чтобы параболическое зеркало давало в своем фокусе достаточно резкое, четкое изображение небесного объекта (неважно, в видимых или невидимых лучах), поверхность зеркала не должна отклоняться от идеальной геометрической поверхности более чем на $\frac{1}{8}$ длины волны собираемого излучения. Такой «допуск» верен как для видимых лучей света, так и для радиоволн. Но для радиоволн $\frac{1}{8}$ длины волны измеряется миллиметрами, а то и сантиметрами, тогда как для лучей видимого света этот допуск ничтожно мал — сотые доли микрона! Как видите, важны не абсолютные размеры шероховатости зеркал, а их отношение к длине волны собираемого излучения.

О том, как создавались крупные рефлекторы, можно написать большую книгу. Это была бы повесть о напряженной, подчас титанической борьбе за изумительную точность шлифовки главных зеркал. А ведь шлифовка — только один из этапов работы.

Огромные трудности возникают и при отливке однородных высококачественных стеклянных дисков для зеркала.

О трудоёмкости всех этих процессов свидетельствует тот факт, что изготовление зеркала для американского 5-метрового рефлектора заняло 21 год!

Радиотелескоп с поперечником в десятки метров построить легче. Ведь если даже этот телескоп будет принимать радиоволны длиной 1,25 см, то шероховатости зеркала не должны по размерам превышать 1 мм — допуск, вполне технически осуществимый.

В некоторых радиотелескопах, рассчитанных на прием радиоволн с длиной, измеряемой многими метрами, зеркала делаются не сплошными, а сетчатыми. Этим значительно уменьшается вес инструмента и в то же время, если размеры ячеек малы в сравнении с длиной радиоволн, решетчатое зеркало действует как сплошное. Иначе говоря, для радиоволн отвер-

ствия в зеркале радиотелескопа, в сущности, являются неощутимыми «неровностями».

Отметим одну замечательную особенность описываемых радиотелескопов: они могут работать на различных длинах волн. Ведь очевидно, что свойство параболических зеркал концентрировать излучение в фокусе не зависит от длины волны этого излучения. Поэтому, меняя облучатель, то есть приемную антенну, можно «настраивать» радиотелескоп на желаемую длину волны. При этом, конечно, требуется изменить частоту радиоприемника.

Чем больше размеры зеркала, тем больше излучения оно собирает. Количество собираемого излучения, очевидно, пропорционально площади зеркала. Значит, чем больше зеркало, тем чувствительнее телескоп, тем более слабые источники излучения удастся наблюдать — ведется ли прием на радиоволнах или в лучах видимого света.

Как уже говорилось, самый большой радиотелескоп с подвижным зеркалом установлен на английской обсерватории Джодрелл Бэнк. Поперечник его исполинского зеркала равен 76 м. Вес этой махины (не считая неподвижных частей) составляет 2000 т, а в высоту вся конструкция простирается на 92 м, что соответствует тридцатизэтажному небоскребу.

Замечательно, что величайший из радиотелескопов имеет азимутальную установку, дающую ему возможность поворачиваться вокруг горизонтальной и вертикальной осей. Разумеется, все движения осуществляются мощными электродвигателями.

Приемное устройство помещено в специальных зданиях. Оттуда производится и управление телескопом.

Первенство этого исполина, по-видимому, будет недолгим.

В Советском Союзе есть ряд крупных радиотелескопов.

Так, например, давно уже работает вблизи Серпухова радиотелескоп с диаметром зеркала 22 м. Общий вес установки достигает 380 т, а высота — 26 м. Неровности на поверхности зеркала не превышают 1 мм, что позволяет принимать ра-

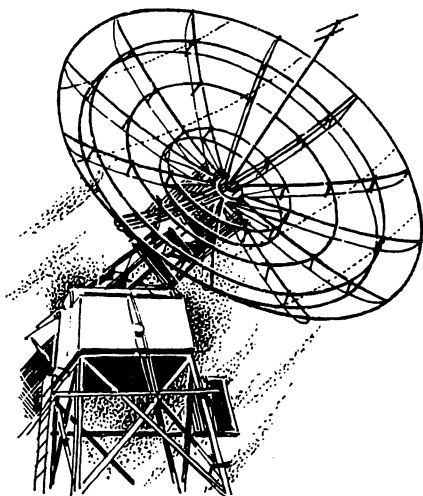


Рис. 31. В некоторых радиотелескопах зеркала делаются сетчатыми.

диоволны длиной меньше 1 см. Между тем радиотелескоп обсерватории Джодрелл Бэнк может улавливать наиболее четко излучения с длиной волны лишь больше 20 см. С каждым годом растет мощь советских радиотелескопов.

Интересен большой Пулковский радиотелескоп оригинальной конструкции. Его антенна — в сущности, часть исполинского параболического зеркала поперечником 120 м — как бы полоса, «вырезанная» из такого зеркала. Полоса эта имеет так называемый переменный профиль. Она разбита на много элементов, каждый из которых может перемещаться и в вертикальном, и в горизонтальном направлениях (разумеется, согласованно друг с другом). Получается достаточно удобная «полуподвижная» конструкция.

Есть и другие конструкции радиотелескопов, но вряд ли в этой книге стоит углубляться в технические детали. Важно понять главное — принцип работы этих инструментов.

Замечательно, что устанавливать радиотелескопы можно в любом пункте страны, где помехи от радиостанций невелики. Ведь они совсем не зависят от капризов погоды или прозрачности атмосферы. С помощью радиотелескопов возможно исследовать космос хоть в проливной дождь!

ДАНЬ ТРУДНОСТЯМ И БОРЬБА С ПОМЕХАМИ

Нелегко создать сплошное металлическое зеркало поперечником в несколько десятков метров, да еще установить так, чтобы, перемещая зеркало с удивительной плавностью, его можно было нацелить на любой участок неба. Каждое такое творение рук человеческих есть поистине чудо современной техники.

Иногда зеркало радиотелескопа делают очень большим, но неподвижным. При высокой чувствительности подобный радиотелескоп ограничен в своих возможностях — он всегда направлен на одну и ту же точку неба.

Впрочем, и неподвижный телескоп все-таки движется — ведь он находится на поверхности Земли, а земной шар, как известно, непрерывно и равномерно вращается. Поэтому в поле зрения неподвижного радиотелескопа появляются всё новые и новые небесные тела, причем наблюдению становится доступным довольно широкий круговой пояс неба. Разумеется, через сутки, когда Земля завершит полный оборот, картины в поле зрения радиотелескопа снова начнут повторяться.

Неподвижные радиотелескопы приносят большую пользу науке, но их недостатки очевидны, и будущее, по-видимому, все же не за ними.

Нечто подобное было и в истории оптической астрономии. В погоне за все более и более крупными рефлекторами астрономы создали наконец таких исполинов, что постоянно перемещать их оказалось технически невозможным. Тогда их укрепляли неподвижно или в лучшем случае создавали устройство, позволяющее рефлектору перемещаться только в вертикальной плоскости. Примером такого неуклюжего исполина может служить знаменитый рефлектор ирландского любителя астрономии лорда Росса, названный им Левиафаном. Этот уникальный инструмент, построенный в 1845 году, имел поперечник 180 см и был тогда величайшим в мире телескопом. Теперь такие телескопы — лишь ценная музейная реликвия.

Раз речь зашла о трудностях, нельзя умолчать и о помехах радионаблюдениям.

Радиоприемники, присоединяемые к антенне радиотелескопа, очень чувствительны. Если, например, к ним просто подключить какой-нибудь проводник, то приемник станет реагировать на беспорядочные тепловые движения электронов в этом проводнике. Яснее говоря, тепловое движение электронов вызывает на концах проводника беспорядочно меняющиеся напряжения, кстати сказать, пропорциональные температуре проводника. В приемнике эти процессы приобретут характер «шумов».

Хотя мощность таких помех от антенного устройства ничтожно мала, они все же, как это ни обидно, подчас в десятки, а иногда и в сотни раз превосходят мощность космического радиоизлучения. Мешают также и шумы, возникающие в самом радиоприемнике при работе его электронных ламп.

Шумы, порожденные аппаратурой, как бы маскируются под космическое радиоизлучение. Они похожи друг на друга и усиливаются в приемнике одновременно. Этим обстоятельством ограничивается чувствительность современных радиотелескопов. Однако с помощью большого усложнения аппаратуры удается зарегистрировать сигналы, в сто раз более слабые, чем шумы, создаваемые антенной и приемником.

При изучении слабых источников космических радиоволн применяют различные, довольно сложные и хитроумные методы и устройства, позволяющие уловить неуловимое. И здесь победа остается в конце концов за человеком. Рост техники радиоастрономических исследований происходит очень бурно,

и с каждым годом радиотелескопы становятся всё более и более чувствительными.

Впрочем, уже и теперь чувствительность радиотелескопов вызывает удивление. Если сравнить энергию излучения, воспринимаемую самыми лучшими из современных радиотелескопов, с энергией видимого света, посылаемого звездами, то окажется, что радиотелескопы в тысячи раз чувствительнее гигантских телескопов-рефлекторов. Среди всевозможных приемников электромагнитных волн радиотелескопы не имеют себе равных.

РАДИОТЕЛЕСКОПЫ ПРИОБРЕТАЮТ «ЗОРКОСТЬ»

Благодаря сложным оптическим явлениям лучи от звезды, уловленные телескопом, сходятся не в одной точке (фокусе телескопа), а в некоторой небольшой области пространства вблизи фокуса, образуя так называемое фокальное пятно. В этом пятне объектив телескопа конденсирует электромагнитную энергию светила, уловленную телескопом. Если взглянуть в телескоп, звезда покажется не точкой, а кружочком с заметным диаметром. Но это не настоящий диск звезды, а лишь ее испорченное изображение, вызванное несовершенством телескопа и движением воздуха. Мы видим созданное телескопом фокальное пятно.

Чем больше диаметр объектива телескопа, тем меньше фокальное пятно. Следовательно, большие телескопы обладают и большей «зоркостью». Но последняя зависит еще и от длины волны принимаемого излучения. Чем меньше длина волны, тем меньше и размеры фокального пятна.

С величиной фокального пятна тесно связана разрешающая способность телескопов. Так называют наименьшее угловое расстояние между двумя источниками излучения, которые телескоп дает возможность различить в отдельности. Если, например, в двойной звезде обе звезды так близки на небе одна к другой, что их изображения, создаваемые телескопом, попадают практически внутрь одного фокального пятна, двойная звезда покажется в телескоп одиночной. Оптические телескопы обладают весьма большой разрешающей способностью. Например, в небольшой телескоп с диаметром объектива 20 см можно «разделить» двойные звезды с расстоянием между составляющими в 0,1 секунды дуги! Под таким углом виден человеческий волос на расстоянии 30 м.

Радиотелескопы воспринимают весьма длинноволновое

излучение. Поэтому фокальное пятно в радиотелескопах огромно. И соответственно разрешающая способность этих инструментов весьма низка. Оказывается, например, что радиотелескоп с диаметром зеркала 5 м при длине радиоизлучения 1 м способен разделить источники излучения, если они отстоят один от другого больше чем на десять градусов!

Десять градусов — это двадцать видимых поперечников Луны. Значит, радиотелескоп не способен «разглядеть» в отдельности такие мелкие для него небесные светила, как Солнце или Луна!

Ясно, что низкая разрешающая способность радиотелескопов — большой недостаток. Даже при огромных размерах зеркала она, как правило, уступает разрешающей силе человеческого глаза (не говоря уж об оптических телескопах). Как же можно устранить это препятствие?

Физикам уже давным-давно известно явление сложения волн, названное ими интерференцией. В школьном учебнике физики подробно описано, какое значение имеет интерференция на практике. Оказывается, интерференцию можно использовать в радиоастрономии.

Вообразим, что одновременно из двух источников распространяются две волны. Если они находятся в противоположных фазах, то есть «горб» одной приходится как раз против «впадины» другой, волны «погасят» одна другую, и колебания среды прекратятся. Если это световые волны, наступит тьма, если звуковые — тишина, если волны на воде — полный покой.

Может случиться, что волны находятся в одинаковых фазах («горб» одной волны совпадает с «горбом» другой). Тогда такие волны усиливают одна другую, и колебания среды будут совершаться с удвоенной интенсивностью.

Представим себе теперь устройство, называемое радиоинтерферометром (рис. 32). Это два одинаковых радиотелескопа, соединенных между собой электрическим кабелем, к середине которого присоединен радиоприемник. От источника радиоизлучения на оба радиотелескопа непрерывно приходят радиоволны. Однако тем из них, которые попадают на левое зеркало, приходится проделать несколько больший путь, чем радиоволнам, уловленным правым радиотелескопом. Разница в путях, называемая разностью хода, равна отрезку *АВ*. Нетрудно сообразить, что если в этом отрезке укладывается четное число полуволн улавливаемого радиоизлучения, то «левые» и «правые» радиоволны придут в приемник с одинаковой фазой и усилят одна другую. При не-

четном числе полуволн произойдет обратное — взаимное гашение радиоволн, и в приемник радиосигналы вовсе не поступят.

Обратите внимание: при изменении направления на источник излучения меняется и разность хода. Достаточно при этом (что очень важно!) лишь весьма незначительное изменение угла Θ , чтобы «гашение» волн сменилось их усилением или наоборот, на что сразу же отзовется весьма чувствительный радиоприемник.

Радиоинтерферометры делают, как правило, неподвижными. Но ведь Земля вращается вокруг своей оси, и поэтому положение светил на небе непрерывно меняется. Следовательно, в радиоинтерферометре постоянно будут наблюдаться периодические усиления и ослабления радиопередачи от наблюдаемого источника космических радиоволн.

Радиоинтерферометры гораздо «зорче» обычных радиотелескопов, так как они реагируют на очень малые угловые смещения светила, а значит, и позволяют исследовать объекты с небольшими угловыми размерами. Иногда радиоин-

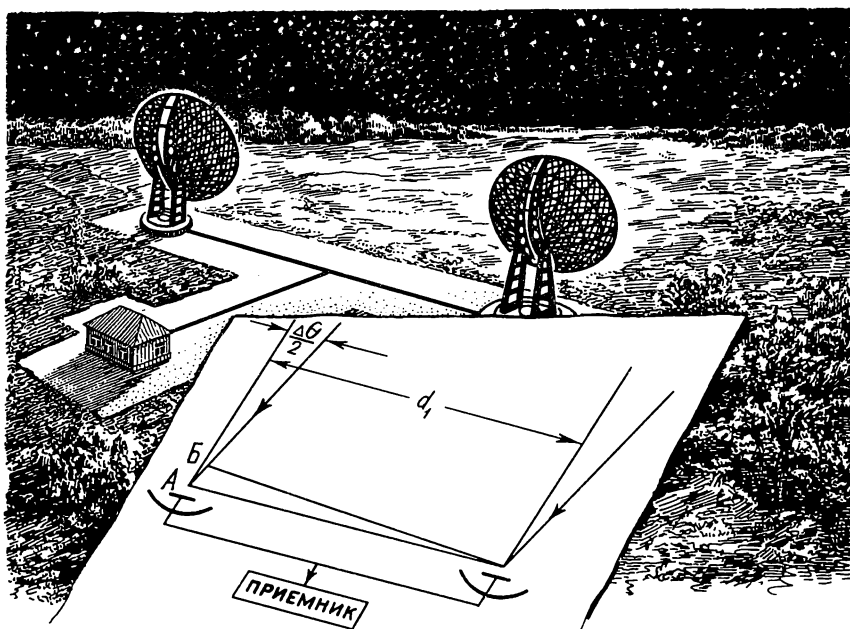


Рис. 32. Схема радиоинтерферометра (d_1 — его база).

Рис. 33. Один из неподвижных интерференционных радиотелескопов.



терферометры устраивают сложными — не из двух, а из нескольких радиотелескопов. При этом разрешающая способность радиоинтерферометра существенно увеличивается. Есть и другие технические устройства, которые позволяют современным «радиоглазам» астрономов стать очень «зоркими», даже более зоркими, чем невооруженный глаз человека.

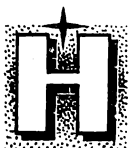
В некоторых случаях разрешающая способность радиоинтерферометров составляет тысячные доли секунды дуги — и это еще не предел!

Кстати сказать, и в оптической астрономии используют интерферометры. Их присоединяют к большим телескопам, чтобы измерить реальные поперечники звезд. В обоих случаях интерферометры играют роль своеобразных «очков», позволяющих рассмотреть важные подробности в окружающей нас Вселенной.

На этом мы и закончим краткое знакомство с техническими средствами современной радиоастрономии. Нас ждут теперь поразительные картины, открытые с помощью радиотелескопов, — картины Вселенной «в свете» радиоволн.

НЕБЕСНЫЕ

РАДИОСТАНЦИИ



Необъятный мир небесных тел отличается удивительным многообразием. Звезда очень мало похожа на метеорит, а планета — на исполинскую комету. Но все без исключения небесные тела нагреты: их температура выше абсолютного нуля. В таком случае, как уже говорилось, каждое небесное тело, как и вообще каждый предмет, непременно излучает радиоволны, то есть может считаться естественной радиостанцией. Космических радиостанций — бесчисленное множество. Подавляющее большинство из них так далеки от Земли, что уловить их тепловое радиоизлучение, как правило, не удастся. Зато наши соседи по космосу, тела Солнечной системы, весьма активно ведут «радиопередачи». С расшифровки этих передач мы и начнем наше знакомство с небесными радиостанциями.

РАДИОВОЛНЫ ЗОНДИРУЮТ ЛУНУ

Впервые радиопередача с Луны или, точнее, самой Луны была принята в 1946 году. Радиотелескоп, работавший на волне 1,25 см, зафиксировал очень слабые радиоволны, посылаемые нашим спутником.

Еще задолго до первых радионаблюдений Луны астрономы пытались, и не безуспешно, уловить ее собственное излучение. Луна, хотя и холодна, хотя и светит отраженным солнечным светом, тем не менее и сама излучает электромагнитные волны. Максимум этого невидимого лунного «света» приходится на длину волны около 10 мк в далекой инфракрасной части спектра.

По этим «тепловым» лучам определили, как меняется температура лунной поверхности в течение долгих лунных суток. Оказалось, что в лунный полдень поверхность Луны разогревается до плюс 115—130°, зато в лунную полночь температура падает до минус 150—160°.

Ничего странного в этом, конечно, нет. Лишенная атмо-

сферы, Луна представляет собой мир резких температурных контрастов. Там не только днем и ночью, но даже в тени и на солнце разница температур огромна. Ее не сглаживают токи воздуха, как у нас на Земле.

Радионаблюдения также позволяют измерить температуру Луны. Однако результаты получились иные.

Если судить о температуре Луны по радиоволнам с длиной волны от 10 до 75 см, Луна (с точностью до нескольких градусов) обладает практически постоянной температурой. Выходит как будто, что внешние условия — жар солнечных лучей и холод мирового пространства — не имеют к Луне никакого отношения.

На более коротких радиоволнах — сантиметрового и миллиметрового диапазонов — начинает сказываться влияние лунных фаз. Судя по этим радиопередачам, температура Луны зависит от степени освещенности ее Солнцем. И чем короче длина волны принимаемого лунного излучения, тем заметнее, сильнее колебания температуры от лунной полуночи к лунному полудню.

Если поразмыслить, почему все это происходит, можно указать единственную причину — крайне низкую теплопроводность поверхностных слоев Луны.

Для астрономов такой вывод не нов. Во время лунных затмений, когда земная тень бежит по лунной поверхности, температура ее затемненной части быстро снижается почти на 250°. Если бы поверхностные слои Луны обладали хорошей теплопроводностью, то от более глубоких слоев наружу непрерывно поступал бы поток тепла, который компенсировал бы тепло, излучаемое в пространство.

Какое же вещество слагает лунную поверхность и почему оно так плохо проводит тепло?

Не защищенная воздушной оболочкой, Луна подвергается постоянной бомбардировке «небесными камнями» — метеоритами. Большие и маленькие, они врезаются в лунную поверхность со скоростью, иногда в десятки раз превышающей скорость пули. Результаты удара всегда разрушительны. При мгновенной остановке в момент удара связи между молекулами метеорита разрушаются, и он становится похожим на очень сильно сжатый газ. Но такой газ стремится расшириться; в результате метеорит буквально взрывается, подчас еще более энергично, чем тринитротолуол — сильновзрывчатое вещество.

Падение крупного метеорита — большая редкость. Но зато мелкие метеориты, весом в доли грамма, в огромном количестве непрерывно разрушают Луну.

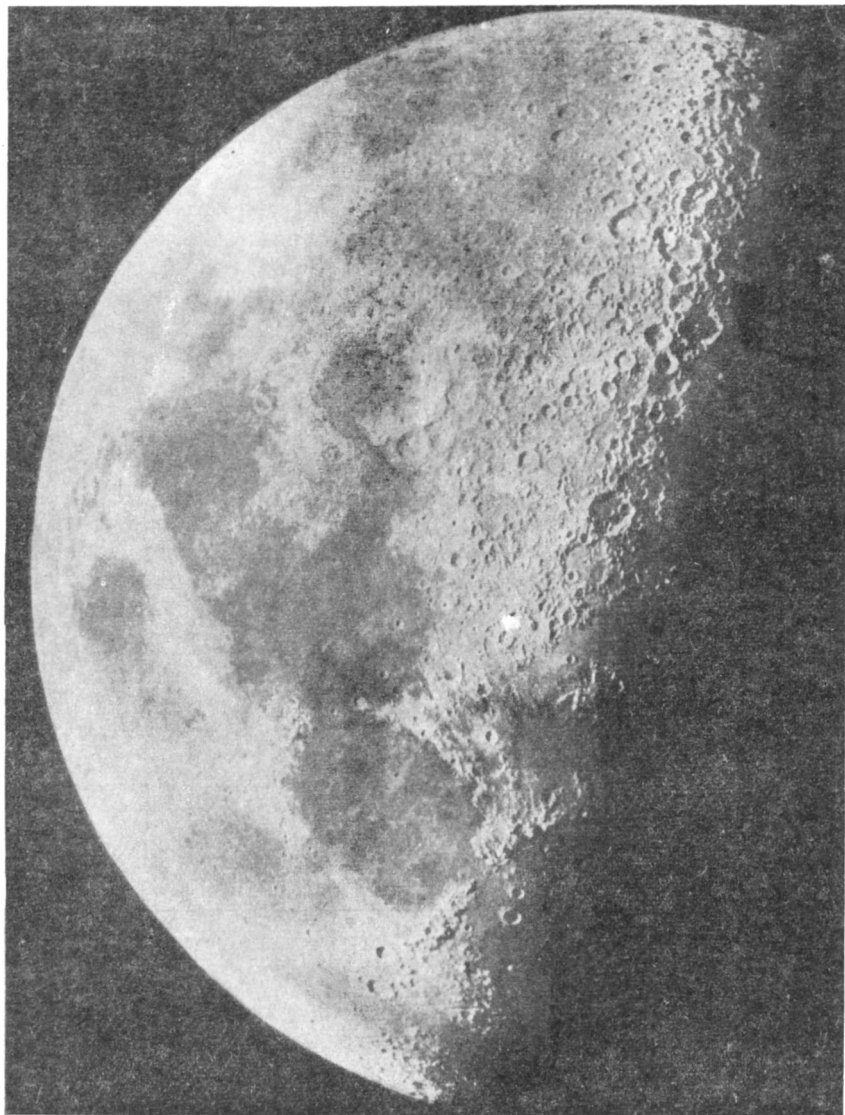


Рис. 34. Луна подвергается постоянной бомбардировке метеоритами.

По данным, полученным с помощью искусственных спутников Земли, на нашу планету ежедневно выпадают десятки тысяч тонн метеоритного вещества. Но ведь Земля окутана воздушной броней — атмосферой, в которой мелкие метеори-

ты полностью разрушаются, не достигнув земной поверхности. На Луне обстановка иная. Ничем не прикрытая, ее поверхность за миллиарды лет подверглась разрушительному действию метеоритов. Мириады микрометеоритов, врезааясь с огромной скоростью в лунную поверхность, взрывались и затем сплавлялись с поверхностными лунными породами. В результате в настоящее время Луна покрыта сплошным слоем ноздреватого, пемзообразного вещества, представляющего собой шлак метеоритного происхождения, что подтверждено и лунными межпланетными станциями.

Этот пористый слой, образованный метеоритами, обладает крайне низкой теплопроводностью, в тысячу раз меньшей, чем у гранита или базальта.

Когда измеряют температуру Луны по излучаемым ею инфракрасным лучам, меряют, в сущности, температуру только самого поверхностного слоя Луны — ее шлакового «одеяла». Радиоволны исходят от более глубоких слоев лунной поверхности, в которых господствуют свои температурные законы. И чем глубже, тем постояннее температура в течение лунных суток.

Сходную картину можно наблюдать и на Земле. Вспомните: летом и зимой в подвалах какого-нибудь здания всегда почти одинаково прохладно. Другое дело — верхние этажи того же здания. Колебания температуры не только в течение года, но и в течение суток в них весьма заметны.

Можно подсчитать, что лунные радиоволны длиной 1,25 см доходят к нам от слоя, находящегося на глубине около полуметра под лунной поверхностью. На глубине в несколько метров начинаются слои с постоянной температурой, близкой к минус 50°. Что же касается «пылевого одеяла» Луны, то, по данным радионаблюдений, оно очень тонко — толщина его, по-видимому, не превосходит нескольких миллиметров!

Вдумайтесь в эти результаты. То, что до Земли доходят радиоволны, посланные внутренними слоями Луны, доказывает, что лунная поверхность прозрачна для этих волн. Значит, радиотелескопы способны зондировать Луну, заглядывать под ее поверхность! В этом отношении радиотелескопы имеют неоспоримое преимущество перед телескопами оптическими.

Мы уже упоминали о советском радиотелескопе Физического института Академии наук СССР с поперечником зеркала 22 м. На волне длиной 8 мм его разрешающая способность близка к двум минутам дуги. Так как видимый поперечник Луны составляет примерно полградуса, этот радиотелескоп способен принимать радиоизлучение не от всей Луны в целом, а от отдельных деталей ее поверхности. Значит, стало возмож-

ным построить «радиокарты» Луны — иначе говоря, вид Луны в радиоволнах.

Оказывается, «полюс тепла», то есть область лунной поверхности с наивысшей температурой, не совпадает с «подсолнечной точкой» (с точкой лунной поверхности, для которой Солнце находится в зените). Эта любопытная особенность стала известной уже вскоре после первых радионаблюдений Луны. Получается, что максимальная температура в данном месте Луны бывает не в местный лунный полдень, а спустя примерно трое с половиной земных суток после него.

Нагляднее, конечно, выразить этот промежуток времени в долях лунных суток. Он равен примерно $\frac{1}{8}$ лунных суток, или трем «лунным» часам. Опять приходит на память известное земное явление: самая сильная жара в ясный летний день бывает не в полдень, а спустя два-три часа.

И на Земле, и на Луне описываемое явление вызвано своеобразной «инертностью» тепловой волны. Последняя бежит вслед за Солнцем, несколько отставая, так как теплу нужно некоторое время, чтобы распространиться по поверхности космического тела.

Детальное изучение лунных радиоволн только начинается. В этой области особенно успешно работают горьковские радиоастрономы во главе с В. С. Троицким.

ТАИНСТВЕННАЯ ПЛАНЕТА

Венера ближе к Солнцу, чем Земля. Она обращается вокруг Солнца по орбите, почти неотличимой от окружности, радиус которой близок к 108 миллионам километров. Ее год короче земного — Венера завершает облет Солнца за 226 земных суток. Так как орбита Венеры находится целиком внутри орбиты Земли, то на земном небе Венера всегда видна вблизи Солнца на фоне утренних или вечерних зорь и никогда не отходит от Солнца дальше чем на 48° . Вот почему с незапамятных времен у планеты Венеры есть и еще два неофициальных наименования — Вечерняя или Утренняя звезда.

В моменты так называемых нижних соединений, когда Венера оказывается между Солнцем и Землей на прямой, их соединяющей, расстояние от Земли до Венеры близко к 40 миллионам километров. Между тем Марс даже во время великих противостояний не подходит к Земле ближе чем на 55 миллионов километров.

Венера — самая яркая из планет и третье светило на небе после Солнца и Луны. В периоды наибольшего блеска она

обращает на себя внимание каждого, кто взглянет на небо. Как изумительный, сверкающий белизной бриллиант, выделяется Венера на фоне зорь. Смотришь и не налюбуешься на это лучшее украшение звездного неба. И в то же время сознаешь, что ослепительная красота Венеры вызвана тем непомерно густым облачным покровом, который скрывает под собой неразгаданные тайны планеты.

Хотя по размерам Венера почти равна Земле (ее диаметр равен 12 200 км), атмосфера Венеры гораздо мощнее земной. Облака в ней никогда не рассеиваются, и за три с половиной столетия, с тех пор как ведутся телескопические наблюдения Венеры, астрономам ни разу не удалось разглядеть какие-нибудь детали ее твердой поверхности.

При наблюдении в телескоп поверхность Венеры кажется почти равномерно белой, и только в отдельных местах глаз различает иногда неясные сероватые пятна, обладающие заметной изменчивостью. В одних случаях эти пятна — просто обман зрения, оптическая иллюзия, вызванная резким контрастом между ослепительно яркой поверхностью планеты и темным фоном неба. В других случаях нам удается, вероятно, на самом деле увидеть нижние, более темные слои атмосферы Венеры. Бесспорно одно: сероватые пятна — это не твердая поверхность, просвечивающая сквозь облака. Ни одному оптическому телескопу не удалось еще «пробить» атмосферу Венеры, и, пожалуй, пора признать, что для них эта задача совершенно непосильна.

Обращаясь вокруг Солнца, Венера, подобно Луне, непрерывно меняет свою видимую форму, свои фазы. Но есть одно существенное отличие фаз Венеры от фаз Луны. При любых фазах видимые размеры Луны остаются неизменными. У Венеры не так. Когда наступает «полновенерие» и на полном диске Венеры, казалось бы, удобнее всего рассмотреть подробности, Венера вовсе не видна, так как находится прямо за Солнцем. С приближением же к Земле видимые размеры Венеры растут, но зато уменьшается фаза. В момент наибольшего блеска Венеры в телескоп виден большой, но очень узенький серп, а остальная часть планеты скрыта в тени. И в том, и в другом случае условия наблюдения Венеры нельзя считать наилучшими.

Когда Венера наблюдается в виде очень узенького серпика, можно иногда заметить и ее остальную слабосветящуюся часть. Это явление известно под названием «пепельного света» Венеры. Оно вызвано сильным свечением верхних слоев атмосферы Венеры. По расчетам известного советского астрофизика Н. А. Козырева, яркость ночного неба на Ве-

нере раз в пятьдесят больше, чем на Земле. Все это вполне естественно, так как Венера ближе к Солнцу, чем Земля, и на ее атмосферу солнечное излучение действует гораздо сильнее.

Для радиоволн облака не препятствие, радиоволны сантиметрового диапазона свободно пронизывают всю толщу атмосферы Венеры, и если ее поверхность излучает радиоволны, то они должны достичь Земли.

Много раз было принято и изучено радиоизлучение Венеры. Радиопередачи с ближайшей из планет принимались в основном на волне длиной около 15 см, характерной для теплового радиоизлучения. По мощности радиоволн была вычислена температура поверхности Венеры. Результат оказался поразительным — в среднем по всему диску Венеры температура колебалась в пределах от плюс 40 до плюс 350°!

Сначала этому не хотели верить. Но, когда и в миллиметровом диапазоне длин волн получились такие же температуры, сомнения, казалось, отпали. Пришлось признать, что ближайшая из планет обладает, мягко выражаясь, весьма жарким климатом.

Температуру Венеры измеряли и раньше с помощью термоэлементов. Получалось, что температуры светлой и темной частей диска Венеры примерно одинаковы и близки к 35° ниже нуля. По-видимому, эти низкие температуры относятся к верхним слоям атмосферы Венеры, тогда как радионаблюдения дают температуру ее поверхности.

Есть хорошо известное на Земле явление, называемое «парниковым эффектом». Лучи Солнца, проникая внутрь оранжереи, преобразуются здесь в тепло. Но это тепло обратно не уходит: стекло для «тепловых», инфракрасных лучей непрозрачно. Вот и получается, что стеклянная крыша оранжереи действует как хорошее одеяло.

Земная атмосфера благодаря присутствию в ней водяных паров также обладает «оранжерейным эффектом». Не будь его, ночью Земля отдавала бы в космос все тепло, накопленное за день. В таких условиях вряд ли могла бы возникнуть и существовать жизнь.

На Венере, в ее крайне влажной атмосфере, «оранжерейный эффект», по-видимому, исключительно велик. Близость Венеры к Солнцу и «оранжерейный эффект» ее атмосферы как будто объясняют исключительно высокую температуру, господствующую на поверхности ближайшей из планет.

Воображению рисовалась мрачная картина. Безбрежный, более горячий, чем кипяток, океан. Сюда сквозь густой об-

лачный покров почти не проникают солнечные лучи. В полумраке, а быть может, и в полном, постоянном мраке катятся огромные волны горячего океана. В этой космической «парилке» вряд ли удастся найти что-нибудь живое — ведь белок свертывается и теряет жизненные свойства уже при температуре меньше 100° тепла.

Мрачная, невеселая картина. Не будь радиотелескопов, мы бы еще долго создавали себе утешительные иллюзии о тропических, полных экзотики красных лесах Венеры, о ее богатом животном мире.

Прогнозы радиоастрономии подтвердились и прямыми космическими экспериментами. В октябре 1967 года советская межпланетная станция «Венера-4», пробив толщу венерианской облачной атмосферы, достигла поверхности планеты. Радиоволны, посланные станцией, принесли на Землю сведения достаточно безрадостные. Атмосфера Венеры на 90—95% оказалась состоящей из углекислого газа без заметного присутствия азота. Если и есть на Венере кислород, то его в венерианской атмосфере очень мало, не больше 0,4%. Весьма мало и водяных паров — не более 1,6%. Но самое, пожалуй, неприятное — это температура 300—400° выше нуля! Кроме того, атмосферное давление у поверхности Венеры получается по расчетам не меньше 75—100 атмосфер. Позже, при посылке на Венеру других космических аппаратов, эти данные подтвердились.

Что и говорить, обстановка на Венере мало напоминает земную. Пожалуй, и сказанное выше о кипящих океанах Венеры следует отнести к неоправданным домыслам. Скорее, поверхность Венеры горяча и суха. И вывод о сходстве облаков Венеры и Земли снова нуждается в пересмотре.

Венера лишь слегка приоткрыла завесу, скрывающую ее тайны. Очень многое в этом соседнем мире и сегодня остается для нас непонятным.

РАДИОПЕРЕДАЧИ С ЮПИТЕРА

В начале 1955 года на небе случайно был открыт странный источник радиоизлучения. В момент открытия он находился в созвездии Тельца и, что самое удивительное, медленно перемещался среди звезд. Неизвестная космическая «радиостанция», посылавшая радиоволны длиной 10—15 м, вела себя как планета. В это же время в том же созвездии Тельца виднелся Юпитер — крупнейшая из планет Солнечной системы. Тщательные наблюдения показали, что небесная «радиостанция» с удивительной точностью повторяет

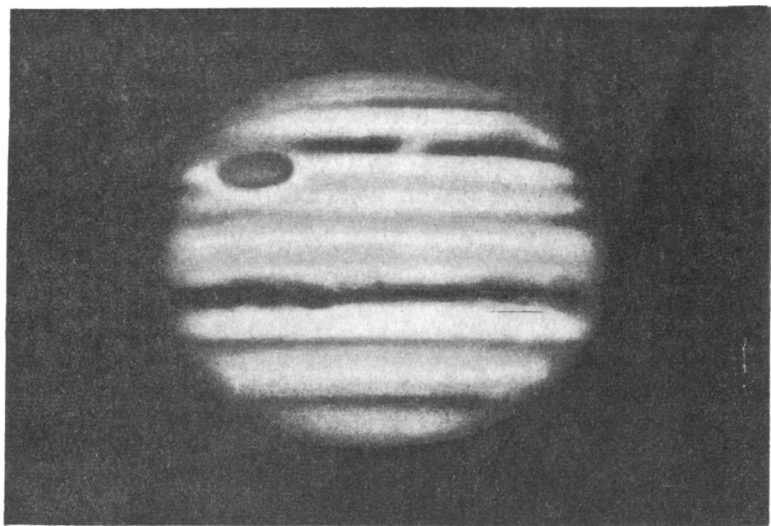


Рис. 35. Планета Юпитер — одна из блуждающих космических «радиостанций».

движение Юпитера. Отсюда был сделан естественный вывод, что странствующая «радиостанция» и Юпитер — один и тот же объект.

Так впервые в истории астрономии была уловлена радиопередача с другой планеты. Это открытие возбудило у астрономов огромный интерес. Все крупные радиотелескопы были нацелены на Юпитер. Предстояло расшифровать радиопередачу с Юпитера и выяснить причины ее возникновения.

Радиоизлучение Юпитера, как теперь установлено, имеет сложный характер. Оно состоит из трех частей разной природы и происхождения.

Прежде всего Юпитер, как и всякое нагретое тело, излучает тепловые радиоволны. Среди них особенно удобны для изучения те, у которых длина волны близка к 3 см. Много раз по тепловому радиоизлучению Юпитера вычислялась его температура. В среднем она оказалась близкой к 120° ниже нуля. Нас не должны удивлять такие морозы. Если Венера страдает от избытка жары, то температурные условия на Юпитере совершенно иные. Крупнейшая из планет находится в пять с лишним раз дальше от Солнца, чем Земля, и в 7 раз дальше Венеры. Площадь солнечного диска, наблюдаемого с Юпитера, в 25 раз меньше того, к которому мы привыкли.

Это маленькое «юпитерово» Солнце весьма скупо согревает гигантскую планету. Еще давно с помощью термоэлемента астрономы убедились, что температура атмосферы Юпитера заключена в пределах от минус 100 до минус 140°. Теперь этот факт с еще большей убедительностью подтвержден радионаблюдениями.

Если атмосфера планеты так холодна, то составляющие ее газы должны иметь очень низкую температуру кипения. Действительно, судя по спектру Юпитера, в его атмосфере в изобилии содержатся метан и аммиак — газы, в условиях нормального атмосферного давления кипящие при температуре минус 165°.

Юпитер и другие планеты-гиганты — Сатурн, Уран и Нептун — имеют мало общего с нашей Землей и похожими на нее планетами. Их роднит только одно — общее обращение вокруг Солнца. Что же касается физической природы планет-гигантов, то их, пожалуй, уместнее всего назвать «полузвездами».

В самом деле, по современным данным, планеты-гиганты, в том числе и Юпитер, не имеют твердого ядра. Они целиком газообразны. Правда, состояние, в котором находятся газообразные вещества гигантских планет, на разных уровнях различно. С проникновением в глубь планеты давление увеличивается, и в центре Юпитера, например, по подсчетам Н. А. Козырева, оно должно достигать чудовищной величины — 70 миллионов атмосфер!

Тем не менее средняя плотность планет-гигантов очень мала. У Юпитера, Урана и Нептуна она лишь немногим превышает плотность воды, а у Сатурна даже уступает ей. Если бы можно было погрузить Сатурн в какой-нибудь исполинский бассейн, то эта планета всплыла бы, как пробка, на поверхность воды! Малая средняя плотность планет-гигантов в сочетании с другими фактами свидетельствует в пользу того, что эти планеты в основном состоят из самого легкого вещества — водорода.

Можно чисто теоретическим путем рассчитать «модель» Юпитера, то есть схему его внутреннего строения (исходя при этом, конечно, из наблюдаемых фактов). Такие расчеты выполнила советский астроном А. Г. Масевич.

Примерно на 85% своей массы Юпитер состоит из водорода. Остальные 15% приходятся на долю более тяжелых элементов, главным образом гелия.

Внешняя оболочка Юпитера толщиной в 0,14 его радиуса состоит в основном из молекулярного водорода, смешанного с метаном (CH_4) и аммиаком (NH_3). На глубине около 10 ты-

сяч километров начинается зона «металлического» водорода. Здесь давление вышележащих слоев достигает 700 тысяч атмосфер, благодаря чему электроны покидают свои атомы. Беспорядочная смесь протонов и электронов образует при этом то, что астрофизики называют «металлической фазой» водорода. Такой «металлический» водород вдвое плотнее обычного.

Дальше в глубь планеты плотность газов продолжает возрастать. На глубине около 50 тысяч километров наступает новый, второй скачок плотности. Здесь проходит внешняя граница центрального ядра Юпитера, которое должно состоять из смеси водорода с тяжелыми элементами.

В центре Юпитера плотность вещества в семнадцать раз превосходит плотность воды и в два с лишним раза — плотность железа. И все-таки это газ, сверхплотный газ, вроде того, который находится в центре Солнца и звезд. Температура центрального ядра Юпитера благодаря огромному давлению должна быть очень высока. По-видимому, она близка к 120 000°. Если бы масса Юпитера была всего в пять раз большей, температура в его центре составляла бы уже многие миллионы градусов. Неизбежно начавшиеся в этом случае ядерные реакции превратили бы Юпитер в звезду.

Крупнейшая из планет несколько «не дотянула» до звезды. Но это и не планета в земном смысле слова, а нечто среднее — «полузвезда». Сатурн, Уран и Нептун по своему строению и природе мало чем отличаются от Юпитера. Мысленный «зондаж» их привел бы к путешествию от крайне холодных атмосфер до необычайно раскаленного центрального ядра.

Кроме теплового, Юпитер обладает и другим, нетепловым радиоизлучением. В метровом диапазоне «радиопередача» с Юпитера весьма непостоянна. Радиоволны, измеряемые метрами или десятками метров, посылаются Юпитером время от времени, или, как говорят, спорадически. Как правило, наблюдаются серии кратковременных «всплесков», каждый из которых длится в среднем несколько сотых долей секунды. Только в редких случаях всплески затягиваются на несколько секунд. Характерная деталь: в каждой серии всплесков последующий всплеск слабее предыдущего. Все это сильно напоминает затухающий электрический разряд. Есть несомненное сходство между радиоволнами, порождаемыми земными молниями, и спорадическим радиоизлучением Юпитера.

Грозы в атмосфере Юпитера... А почему бы и нет? Всё, что мы знаем о внешних разреженных газообразных слоях Юпитера, подтверждает такую точку зрения.

В телескоп на поверхности Юпитера наблюдаются измен-

чивые полосы и пятна. Серовато-коричневатые полосы тянутся параллельно экватору Юпитера. Внутри них и между ними почти всегда наблюдаются пятна, нередко округлых очертаний. Вся эта картина столь же непостоянна, как земное небо с плывущими по нему облаками. Сходство здесь не только внешнее. Полосы и пятна, всегда наблюдаемые на Юпитере, — это мощные облака в его исполинской атмосфере. Их движения столь быстры, что возникновение электрических зарядов при перемешивании облаков и других процессах вполне возможно.

На Юпитере все гипертрофировано, преувеличено по сравнению с Землей. Если там сверкают молнии и гремит гром, то по масштабам эти явления ни в какое сравнение не идут с теми, которые мы наблюдали во время земной грозы. В лучшем случае Юпитер подходит к Земле на расстояние 628 миллионов километров. И все-таки разделяющие нас многие сотни миллионов километров не мешают нам регистрировать грозы Юпитера.

Какими же свирепыми должны выглядеть разбушевавшиеся на Юпитере стихии! Какими чудовищными молниями и все-сокрушающими раскатами грома должны сопровождаться там грозы! Когда расчесываешь сухие волосы гребешком, слышен треск — он вызван миниатюрными молниями в вашей шевелюре. Вероятно, столь же скромными выглядят самые мощные из земных молний по сравнению с электрическими разрядами в атмосфере Юпитера.

Надо, однако, заметить, что характер его спорадического радиоизлучения во многом не похож на радиоволны земных молний. Но ведь и условия на Юпитере, в частности и природа его атмосферы, совсем иные, чем на Земле. По-видимому, этими причинами устраняется абсолютное сходство, и не исключено, что спорадическое радиоизлучение Юпитера в метровом диапазоне имеет «грозовое» происхождение.

Пытались, и не безуспешно, найти на поверхности Юпитера конкретные детали, быть может посылающие спорадические радиоволны. В 1957 году двум английским астрономам удалось как будто найти особенно грозовые районы на Юпитере. Ими оказались знаменитое Красное пятно, так называемое Южное Тропическое Возмущение, и три недавно открытых белых пятна в южном полушарии планеты.

Природа всех этих образований пока не выяснена, хотя, например, Красное пятно наблюдается уже около трехсот лет. Кстати сказать, этот объект, как и все на Юпитере, грандиозен. Его наибольший поперечник (пятно имеет овальную форму) в четыре раза больше поперечника Земли.

Постоянство Красного пятна (при почти неизменной форме оно меняется лишь в интенсивности окраски) заставляет думать, что это не обычное исполинское облако, а нечто иное. Может быть, Красное пятно — океан затвердевших углеводородов, как и другие ему подобные образования. Ясности в этом вопросе пока нет. Неясно также, почему именно эти районы атмосферы Юпитера особенно благоприятны для возникновения электрических разрядов.

Иногда и Венера посылает на Землю всплески радиоволн. Не исключено, что и в ее атмосфере свирепствуют ураганы и грозы. Правда, эти всплески связаны с некоторыми явлениями на Солнце и, возможно, имеют чисто солнечное происхождение.

Есть еще один сорт, или класс, радиоволн, посылаемых Юпитером. Это постоянное, относительно «спокойное» радиоизлучение с длиной волн от 3 до 70 см. Оно не тепловое — об этом совершенно ясно говорят некоторые его свойства. Что же тогда служит источником таких радиоволн?

Исследования, проведенные с помощью искусственных спутников и ракет, показали, что вокруг Земли есть так называемые пояса радиации. Они представляют собой кольцеобразные облака из заряженных частиц (протонов и электронов), опоясывающие извне земной шар. Как исполинские космические «бублики», нависают пояса радиации над земным экватором.

Размеры поясов весьма внушительны. Внутренним своим краем меньшая зона вторгается в верхние слои земной атмосферы, а внешний край большего «бублика» удален от поверхности Земли на 50 тысяч километров. Внешний пояс радиации состоит из электронов, внутренний — из протонов, причем максимальная концентрация частиц приходится на высоту около 25 тысяч километров.

Частицы, образующие пояса радиации, под действием магнитных сил Земли — ее магнитного поля — вынуждены постоянно странствовать в окрестностях Земли по весьма сложным траекториям. Когда ракета или спутник «прорезает» пояса радиации, частицы, ударяясь о корпус искусственных небесных тел, порождают коротковолновое излучение — рентгеновы лучи. «Излучение» и «радиация» — синонимы. Отсюда и произошло название «пояса радиации».

Вокруг Юпитера также есть пояса радиации, только, конечно, гораздо более мощные, чем земные. Можно предполагать, что магнитное поле Юпитера весьма мощно — ведь масса Юпитера огромна и он быстро вращается вокруг своей оси. Тогда электроны, входящие в пояса радиации, должны дви-

гаться вокруг магнитных силовых линий с ускорением. Но такие электроны всегда порождают радиоволны. Вероятно, эти радиоволны и являются третьей составляющей радиоизлучения Юпитера. На земных поясах радиации также должны возникать радиоволны, однако они очень слабы и не могут быть уловлены современной радиоаппаратурой.

В ПОИСКАХ «БЛУЖДАЮЩИХ РАДИОСТАНЦИЙ»

Две из планет Солнечной системы — Венера и Юпитер — оказались «блуждающими радиостанциями». Вполне естественно, что астрономы предприняли попытки уловить радиоволны от других планет.

На волне длиной 3,15 см «заговорил» Марс. Читатель уже запомнил, что эта длина волны характерна для теплового радиоизлучения. Температура поверхности Марса в среднем, по многим наблюдениям, получалась близкой к минус 60°. Надо заметить, что при этих измерениях ошибка в ту или другую сторону может достигать нескольких десятков градусов. И все же согласие с прежними измерениями температуры Марса с помощью термоэлементов достаточно хорошее. Общеизвестно, что климат Марса значительно суровее земного. Суточные колебания температуры там очень велики. В полтора раза более далекий от Солнца, чем Земля, Марс имеет среднегодовую температуру (для всей планеты) ниже 0°. На Земле та же температура равна плюс 15°.

Средние величины не всегда правильно характеризуют явления. На Марсе, например, в полдень на экваторе температура иногда достигает плюс 20°, что даже по земным понятиям достаточно тепло. Да и самые суровые морозы на Марсе (минус 90°) не могут поразить наше воображение, так как почти при такой же температуре отважные советские исследователи успешно проводят научную работу в Антарктиде.

Уловлены тепловые радиоволны и от Сатурна. Однако из-за удаленности этой планеты, в лучшем случае приближающейся к Земле на расстояние 1276 миллионов километров, ее исследования затруднены. Расшифровка «радиопередач» с Сатурна только начинается. Совсем недавно было обнаружено тепловое радиоизлучение Меркурия и Урана.

Самые далекие планеты Солнечной системы — Нептун и Плутон — в диапазоне радиоволн никак пока себя не проявили. Однако не исключено, что с увеличением чувствительности радиотелескопов будут уловлены «радиопередачи» и с этих далеких планет.

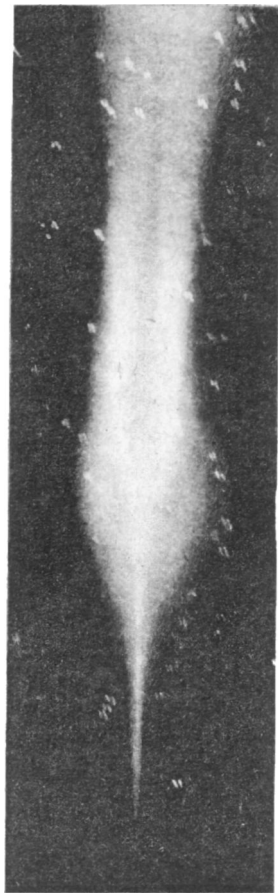


Рис. 36. Уникальная «радиокомета» Аренда—Ролана.

В конце 1956 года зарубежные астрономы Аренд и Ролан открыли яркую комету. Весной 1957 года она предстала перед глазами наблюдателей во всей своей неповторимой красоте. Комета Аренда—Ролана одна из самых замечательных комет, когда-либо появлявшихся на земном небосклоне. Она имела три исполинских хвоста. Два из них простирались в сторону, противоположную Солнцу. Один, более прямой, состоял из молекул ионизированного азота и угарного газа, а другой, широкий и слегка искривленный, — из мельчайшей твердой космической пыли. В длину оба «шлейфа» достигали 30—40 миллионов километров.

Особенно замечательным был третий хвост. Как тонкое светящееся копьё, он был нацелен прямо на Солнце. При толщине около 13 000 км (что равно поперечнику Земли) копьёвидный хвост имел длину не менее нескольких миллионов километров.

Мы знаем, что, несмотря на грандиозные размеры, кометы весьма эфемерны. Главной частью каждой кометы является так называемое ядро — огромная глыба льда поперечником в несколько километров или даже десятков километров с примесью множества мелких твердых частиц. Их особенно много на поверхности кометного ядра, где они образуют сплошной или почти сплошной теплозащитный слой.

Ядра комет обращаются вокруг Солнца по сильно вытянутым эллиптическим орбитам. Под действием солнечного тепла льды, составляющие кометное ядро, возгоняются (сублимируют), образуя газовую оболочку вокруг ядра — голову кометы — и ее исполинские газовые хвосты. Нередко, с приближением к Солнцу, газовые струи, истекающие из ядра, становятся настолько мощными, что увлекают с собой твердую пыль, скопившуюся на поверхности ядра. Великое мно-

жество таких пылинок формирует пылевые хвосты комет. Очевидно, как пылевые, так и газовые хвосты комет — образования подвижные, динамические. Частицы, их составляющие, непрерывно рассеиваются в мировом пространстве, но на их место из кометного ядра поступают новые порции пыли и газа. Ядро кометы Аренда — Ролана извергало как газы, так и пыль, причем удивительный копьевидный хвост, направленный к Солнцу, состоял, по-видимому, из сравнительно крупных пылинок.

Еще 10 марта 1957 года, то есть примерно за месяц до того, как комета Аренда — Ролана приобрела максимальные размеры и яркость, радиотелескопы американских астрономов приняли радиоволны, посланные кометой. И эта передача с каждой неделей, по мере приближения кометы к Земле, заметно усиливалась.

Хвосты комет очень разрежены — их плотность в миллиарды раз меньше плотности воздуха, которым вы сейчас дышите. Наибольшую плотность кометные газы имеют вблизи кометного ядра. Можно было поэтому ожидать, что радиоволны излучаются именно этой частью кометы.

На самом деле оказалось, что источник радиоизлучения находится в газовом хвосте кометы, в нескольких миллионах километров от ее ядра.

Радионаблюдения кометы Аренда — Ролана велись до 10 мая 1957 года, когда комета, значительно удалившись от Солнца, почти прекратила свои «радиопередачи».

Попробуем разобраться, каким образом комета могла излучать радиоволны.

Газовые хвосты комет — это смесь движущихся ионов и электронов, то есть такое состояние вещества, которое современные физики именуют плазмой. Хвосты комет пронизываются солнечными лучами и теми мельчайшими частицами вещества — корпускулами, — которые Солнце щедро выбрасывает в мировое пространство. Основная часть солнечных корпускул представляет собой электроны, протоны и альфа-частицы — ядра атомов гелия.

Воздействие солнечных лучей и корпускул «будоражит» кометную плазму. В ней, как показали теоретические расчеты, при некоторых условиях возбуждаются так называемые плазменные колебания, которые и порождают нетепловое, спорадическое радиоизлучение кометы.

По исследованиям советского астронома О. В. Добровольского, кроме плазменных колебаний, в комете Аренда — Ролана было еще два источника радиоволн. Первый из них как будто разгадан — при некоторых условиях радиоволны мо-

гут излучаться молекулами метана, обильными в кометах. Природа второго источника пока неизвестна. Во всяком случае, ни тепловое радиоизлучение, ни другие известные нам механизмы испускания радиоволн для объяснения здесь не годятся.

Придется подождать новых наблюдений. Несомненно, что теперь уже на каждую мало-мальски яркую комету астрономы будут направлять радиотелескопы.

СПОКОЙНОЕ СОЛНЦЕ

Знаете ли вы какой-нибудь более спокойный источник света, чем Солнце? Не говоря уж о беспокойном пламени свечи или колеблемом ветром пламени факела, даже свет электрических лампочек куда более непостоянен, чем свет Солнца. Как известно, напряжение в электрической цепи переменного тока непрерывно и очень быстро изменяется. Из-за этого и нить электролампочки то накаляется добела, то слегка остывает. Правда, эти колебания незначительны, но они все же есть, и с помощью приборов их легко обнаружить.

А вот Солнце удивительно ровно, одинаково, без всяких перемен светит всю нашу жизнь. Каким мы видели его в детстве, таким увидим и в глубокой старости.

Постоянство солнечного излучения — необходимое условие для нормального развития и даже существования жизни на Земле. Если бы видимое излучение Солнца внезапно увеличилось или уменьшилось хотя бы вдвое, то это катастрофическим образом отразилось бы на живых организмах. Можно полагать, что жизнь на Земле при этом погибла бы или из-за нестерпимой жары, или, наоборот, из-за холода.

Как и всякое нагретое тело, Солнце должно излучать радиоволны. Поскольку оно очень горячо, можно ожидать, что его тепловое излучение будет весьма заметным.

Первые попытки поймать радиоволны от Солнца были предприняты еще в 1940 году, но только четыре года спустя они увенчались успехом. Сначала на волне длиной 187 см, а затем и во всем радиодиапазоне от 8 мм до 12 м радиотелескопы приняли передачи с Солнца. Возник вопрос: какие именно области Солнца или, точнее, какие его слои порождают принятое на Земле радиоизлучение?

В 1946 году два известных советских ученых, В. Л. Гинзбург и И. С. Шкловский, независимо друг от друга произвели теоретические расчеты. Им удалось доказать, что солнечная атмосфера совершенно непрозрачна для радиоволн с дли-

ной волны больше некоторой критической, а значит, радиоволны, уловленные на Земле, должны излучаться атмосферой Солнца. Это вовсе, конечно, не означает, что фотосфера не порождает радиоволны. Просто порожденные фотосферой радиоволны до Земли не дойдут, а полностью будут поглощены солнечной атмосферой.

Вскоре представился подходящий случай проверить эти теоретические выводы. В следующем, 1947 году в Бразилии должно было произойти полное солнечное затмение. Когда в момент полной фазы солнечного затмения черный диск Луны закрывает Солнце, наблюдению становятся доступны только внешние слои Солнца—его атмосфера и корона.

Для наблюдения солнечного затмения в Бразилию Академией наук СССР была послана специальная экспедиция. На советском теплоходе «Грибоедов» установили радиотелескоп, работавший на волне длиной 1,5 м. С его помощью и были проведены радионаблюдения затмения. Теоретические выводы В. Л. Гинзбурга и И. С. Шкловского полностью подтвердились. В момент полной фазы затмения радиоизлучение Солнца не прекратилось полностью (хотя вся фотосфера была закрыта Луной), а только вдвое ослабло. Значит, радиоволны посылались атмосферой Солнца или, говоря более точно, солнечной короной.

По мощности теплового излучения короны можно вычислить ее температуру. Она получилась поразительно высокой, близкой к миллиону градусов! Если вокруг Солнца есть столь чудовищный

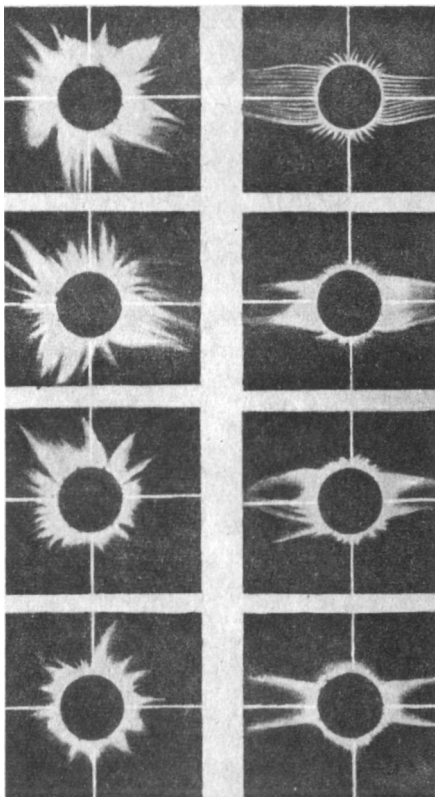


Рис. 37. Вид солнечной короны в различные годы. Корона — один из основных источников солнечного радиоизлучения.

источник тепла, то почему же мы совершенно не чувствуем его воздействия? Почему солнечная корона не испепелит все живущее на Земле?

Разгадка этого простого парадокса заключается в многообразном значении слова «температура». Под температурой физики понимают величину, которая характеризует среднюю скорость молекул или других, еще более мелких частиц. Но скорость «теплового» движения частиц некоторого тела и его «тепловое» воздействие на нас — разные явления.

Солнечная корона очень разрежена. При грандиозных размерах она по массе в тысячу раз меньше земной атмосферы. Плотность солнечной короны в десятки миллиардов раз меньше плотности комнатного воздуха. Частицы, составляющие корону, движутся действительно очень быстро — например, средняя скорость движения атомов водорода в короне превосходит 150 км/сек . Но частиц очень мало — плотность короны ничтожно мала. Поэтому их общее, суммарное «тепловое» воздействие на Землю и незаметно. Другое дело, если бы солнечная корона была такой же плотной, как, например, раскаленная лава (или хотя бы как фотосфера). Вот тогда ее тепловое излучение для органического мира Земли было бы смертельным.

Сверхвысокая температура солнечной короны, собственно, не была новостью для астрономов. Еще раньше в короне были найдены сильно ионизированные атомы железа, аргона, никеля и кальция. Атомы этих элементов недосчитывали у себя 10, 12, а иногда и 16 электронов. Такая высокая степень ионизации могла иметь причиной только сверхвысокую температуру.

Радиоастрономия подтвердила этот вывод — хороший пример удачного сочетания оптических и радиоастрономических методов в познании Вселенной.

Для объяснения необычайной «раскаленности» солнечной короны И. С. Шкловский построил следующую теорию. Как известно, Солнце, подобно исполинскому магниту, обладает — правда, очень слабым — общим магнитным полем. Гораздо более мощные магнитные силы обнаруживаются в различных местах солнечной поверхности, главным образом там, где есть солнечные пятна. Эти местные магнитные поля очень изменчивы, причем в значительных пределах. Но при изменении магнитных полей возникают, или, как говорят, «индуцируются», поля электрические. По теории И. С. Шкловского, вот эти индуцированные электрические силы и разгоняют до огромных скоростей корональные электроны. Меняя облучатель в радиотелескопе, можно «настраивать» последний на опреде-

ленную длину волны. И если при этом каждый раз исследовать радиоизлучение солнечной короны, результаты получатся весьма разные.

Объясняется это тем, что для различных длин волн корона имеет совершенно разную прозрачность. Например, для лучей видимого света, посылаемых фотосферой, она почти абсолютно прозрачна. Наоборот, для радиоволн длиной 10 м корона — непреодолимое препятствие.

Постепенно уменьшая длину волны принимаемого радиоизлучения, мы как бы «зондируем» солнечную корону, проникая в нее все глубже и глубже. Например, на волне длиной 10 м мы улавливаем радиоволны от самых внешних частей короны. На волне длиной около 3 см можно добраться до хромосферы, а на волне длиной 1,25 см — до слоев хромосферы, расположенных всего на 2—3 тысячи километров выше фотосферы. Такой «зондаж» помогает астрономам в изучении солнечной атмосферы. И, что очень важно, радионаблюдения Солнца не зависят от погоды. Раньше для изучения внешних оболочек Солнца надо было ждать полного солнечного затмения, да и то нередко наблюдения срывались из-за пасмурной погоды. Теперь же солнечную корону можно наблюдать не только в каждый ясный день, но и в любую непогоду.

ВОЗМУЩЕННОЕ СОЛНЦЕ

Спокойствие Солнца все-таки чисто внешнее, кажущееся. Только несовершенство наших глаз и удаленность Солнца создают эту иллюзию. Стоит, однако, направить на Солнце обычный телескоп (защитив, разумеется, глаза темным фильтром), и перед нами возникает исполинский по масштабам и крайне изменчивый, беспокойный мир.

Почти всегда, за очень редким исключением, на поверхности Солнца видны темные солнечные пятна. Поперечники многих из них не уступают диаметру Земли. Увлекаемые вращением Солнца, они кажутся перемещающимися поперек солнечного диска. Пятна никогда не остаются неизменными. Возникая из маленькой черной точки, называемой *пóрой*, солнечное пятно растет, опоясывается сероватой каймой — *полутенью*. День ото дня меняются очертания пятна, его внутреннее строение. Достигнув наибольших размеров, солнечное пятно затем постепенно съеживается, уменьшается, снова превращается в *пóру*, а затем и вовсе исчезает. Весь цикл развития, вся жизнь солнечного пятна занимает обычно дни, недели и редко месяцы.

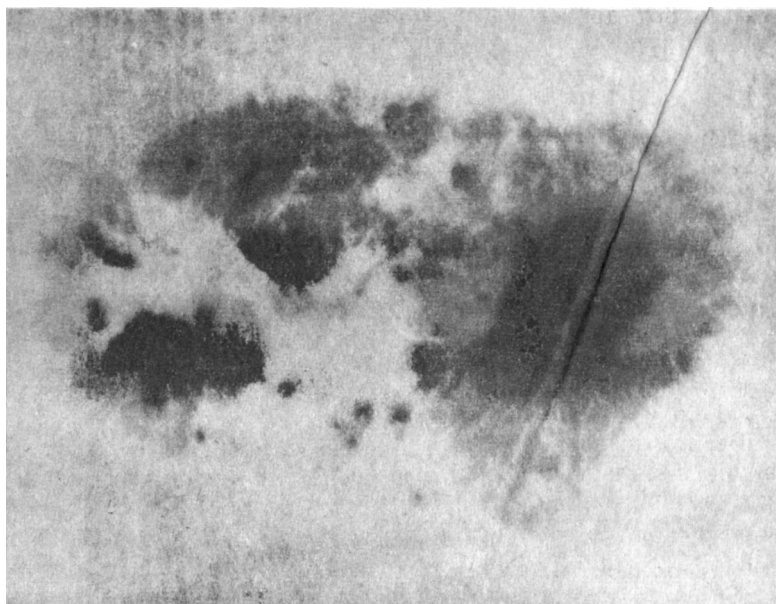


Рис. 38. Группа солнечных пятен.

Внутри пятна, где газы холоднее и потому темнее, чем на остальной, ослепительно светящейся поверхности Солнца, наблюдаются сложные движения. Часть газов втекает внутрь пятна, часть, наоборот, вытекает из него, причем скорость этих движений близка к нескольким километрам в секунду.

Еще в 1908 году обнаружили, что каждое солнечное пятно подобно исполинскому магниту. Напряженность магнитного поля отдельных солнечных пятен в тысячи раз превосходит напряженность магнитного поля Земли, причем она, как и сами пятна, также не остается постоянной.

Поднимаясь вверх, в атмосферу Солнца, мы встречаем здесь процессы настолько бурные, что воспроизвести их в земных условиях просто невозможно.

Вот взметнулся вверх протуберанец со скоростью в 700 раз большей, чем скорость пули. Он стремительно поднялся на высоту, равную радиусу Солнца, затем частично обрушился обратно на Солнце, а частично рассеялся в мировом пространстве. Надо ли говорить, что это исполинское облако по своему объему в громадное число раз превзошло наш земной шар?

Или вот другой «взрыв»: Солнце «выстрелило» в пространство пучком электрически заряженных частиц — корпускул. Примерно через сутки они долетят до Земли и вызовут резкое изменение ее магнитного поля — магнитную бурю.

Было бы очень странно, если бы эти нескончаемые волнения разбушевавшихся стихий никак и ни в чем не сказались на радиоизлучении Солнца. На самом деле «беспокойная» природа Солнца сказывается, конечно, и на излучаемых им радиоволнах.

Замечено, что, когда на солнечной поверхности появляются пятна, радиоизлучение Солнца усиливается. На спокойное «тепловое» радиоизлучение Солнца накладываются какие-то иные, «беспокойные» и весьма мощные радиоволны. В таких случаях говорят о возмущенном состоянии Солнца, или, проще, о возмущенном Солнце.

Весьма интересно также, что радиоизлучение Солнца, связанное с пятнами, имеет направленный характер. Если следить за интенсивностью радиоволн, посылаемых на Землю какой-нибудь группой солнечных пятен, то окажется, что наи-

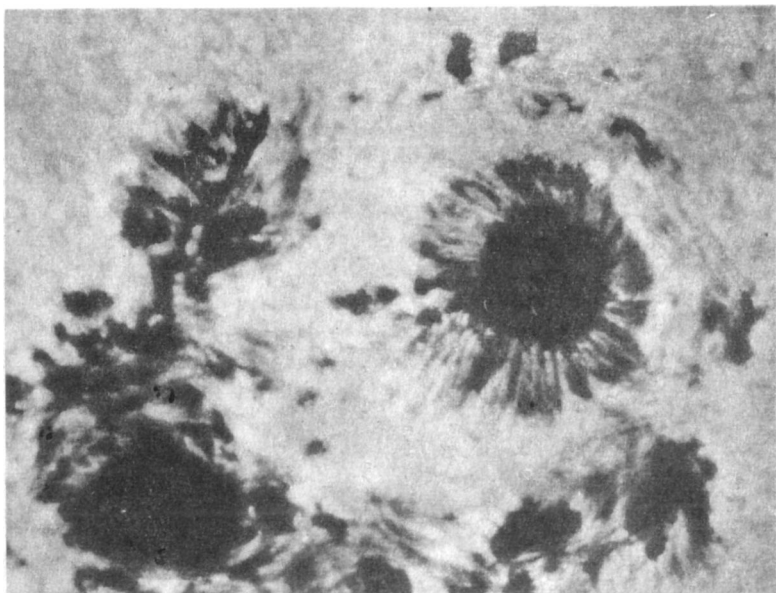


Рис. 39. Расположение газов в районе солнечных пятен подчиняется действию магнитных сил.

большей силы эта «радиопередача» достигает в моменты, когда пятна пересекают центральные области солнечного диска. Когда же пятна находятся на краю Солнца, «радиопередача» от них почти неощутима. Создается впечатление, что каждое солнечное пятно «выстреливает» радиоволнами только в одном направлении — перпендикулярно к солнечной поверхности. В этом отношении солнечные пятна несколько напоминают радиолокаторы или обычные неподвижные прожекторы.

Радиоволны, посылаемые солнечными пятнами, имеют длину от нескольких сантиметров до нескольких метров. Те волны, длина которых измеряется дециметрами и метрами, имеют явно нетепловой характер. Их интенсивность не остается постоянной. Бывает, что по своей мощности они в тысячи раз превосходят радиоизлучение спокойного Солнца.

Пока еще не вполне ясно, какими процессами порождаются эти нетепловые радиоволны. Хотя они связаны с пятнами, но так как солнечная атмосфера непрозрачна для радиоволн, то зарождаются последние должны где-то над пятнами, в атмосфере Солнца. Разумеется, в конечном счете, хотя и не непосредственно, энергия на образование этих радиоволн исходит все же от солнечных пятен.

По гипотезе советских физиков В. Л. Гинзбурга и Г. Г. Гетманцева, над пятнами в солнечной короне есть очень быстрые электроны, движущиеся со скоростями, близкими к скорости света. Поскольку пятна обладают сильным магнитным полем, эти электроны движутся ускоренно и при этом излучают радиоволны длиной около 1 м. Между прочим, теоретические расчеты показывают, что для образования наблюдаемых радиоволн в 1 см³ короны должно находиться в среднем всего около сотни сверхбыстрых электронов. Это совсем немного, если учесть, что в том же объеме других электронов, движущихся с меньшими («тепловыми») скоростями, должно быть в миллион раз больше.

Полной уверенности в истинности такой картины пока нет — изложенная гипотеза встречает большие затруднения. Неясно, в частности, откуда берутся сверхбыстрые электроны, без которых нельзя объяснить возникновение радиоволн.

Как уже говорилось, с солнечными пятнами связано радиоизлучение в сантиметровом диапазоне, характерном для тепловых радиоволн. Оно несравненно менее мощно, чем радиоизлучение в метровом и дециметровом диапазонах, а главное, не обладает характерной для последних направленностью. Отсюда можно сделать естественный вывод, что не только природа, но и происхождение этих радиоволн иные. По-видимому, они порождаются отдельными нагретыми сгу-

стками, конденсациями вещества, возникающими в солнечной короне непосредственно над солнечными пятнами.

Не надо думать, что повышенное радиоизлучение, исходящее от Солнца, связано всегда с солнечными пятнами. Бывает и так, что при полном или почти полном отсутствии пятен наблюдаются интенсивные всплески радиоизлучения продолжительностью в секунды и доли секунды. По своему характеру эти радиоволны сильно отличаются от тех, которые посылаются солнечными пятнами, хотя их мощность также в тысячи раз превосходит мощность спокойного радиоизлучения Солнца. Любопытно, что через долю минуты после очередного всплеска за ним следует второй, во всем похожий на первый, только гораздо менее мощный. По-видимому, этот второй всплеск есть отражение первого от каких-то внутренних, «зеркальных» для радиоволн слоев солнечной атмосферы. Наши радиотелескопы воспринимают, таким образом, не только основной сигнал, но и его ослабленное «радиоэхо».

Бывают случаи, когда на Солнце всплески радиоизлучения достигают чудовищно большой интенсивности — в миллионы раз большей, чем радиоизлучение спокойного Солнца. Их почти всегда удается связать с так называемыми хромосферными, или солнечными, вспышками, о которых уже упоминалось.

Если наблюдать Солнце в лучах водорода, точнее говоря — сквозь специальный фильтр, пропускающий только лучи одной спектральной линии водорода, можно нередко заметить интересное явление. Вблизи какого-нибудь пятна появляется небольшое яркое пятнышко. За какие-нибудь 10—15 секунд оно разгорается так ярко, что окружающая его поверхность Солнца кажется совсем темной. Проходят секунды, и пятнышко начинает блекнуть, а через несколько минут от него не остается и следа.

Внешне такие явления напоминают взрывы. По исследованиям советского астрофизика А. Б. Северного, хромосферные вспышки связаны с магнитными полями на Солнце. В области вспышки газы движутся со скоростями больше 10 км/сек. При этом возникает мощное коротковолновое излучение.

В моменты этих «солнечных взрывов» радиоизлучение Солнца увеличивается, как уже говорилось, в миллионы раз. Хорошо, что все это происходит в области невидимых электромагнитных волн. Если бы такой взрыв охватил видимую часть спектра, Земля почти мгновенно обратилась бы в облачко раскаленного газа!

Хромосферные вспышки порождают огромное количество

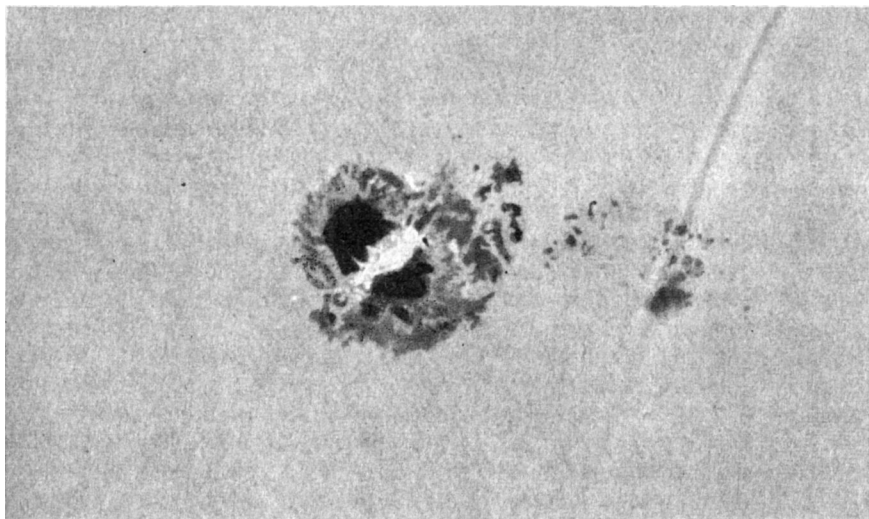


Рис. 40. Яркая солнечная вспышка, наблюдаемая над солнечным пятном.

корпускул, летящих во все стороны от Солнца. Каждая такая вспышка — это своего рода выстрел в пространство. Микроскопически маленькие «снарядики» солнечной «артиллерии» — корпускулы — вторгаются в земную атмосферу и, кроме магнитных бурь, вызывают яркие, продолжительные полярные сияния — свечение верхних слоев земной атмосферы.

Еще в 1946 году И. С. Шкловский высказал интересную гипотезу, объясняющую причину мощных всплесков солнечного радиоизлучения.

Солнечная корона состоит из беспорядочно перемешанных движущихся электронов и ионов. Применяя современную физическую терминологию, можно сказать, что корона представляет собой плазму. В этой плазме частицы движутся по-разному: электроны — быстрее, ионы — медленнее.

По мнению И. С. Шкловского, когда происходит хромосферная вспышка и Солнце «выстреливает» потоки корпускул, эти корпускулы будоражат не только земную, но и в гораздо большей степени солнечную атмосферу, в особенности корональную плазму.

Представим себе, что под действием корпускул в некоторой области солнечной короны образовался избыток электронов. Тогда, очевидно, в окрестностях этой области будет ощущаться недостаток электронов, или, что то же самое, избы-

ток положительно заряженных ионов. Под действием электростатических сил «сгусток» электронов должен постепенно рассосаться. Однако вследствие инерции из области короны, богатой электронами, последних уйдет больше, чем надо для восстановления равновесия. Теперь, где был избыток электронов, будет ощущаться их недостаток, и наоборот — начнется движение частиц в обратных направлениях, то есть, иначе говоря, в корональной плазме возникнут колебания. Но такие плазменные колебания, как показали расчеты И. С. Шкловского, при определенных условиях и породят мощные всплески радиоизлучения.

Многие наблюдатели подтверждают эту гипотезу. Удалось даже с помощью радиотелескопов обнаружить, как источник радиоизлучения, появившийся на диске Солнца, через полчаса сместился в область короны, на высоту в 0,5 солнечного радиуса!

Изучение возмущенного Солнца — очень важная область солнечной астрофизики. Важная не только в чисто теоретическом отношении (радиоволны раскрывают перед нами многие секреты Солнца), но и на практике. Ведь за мощным всплеском солнечного радиоизлучения примерно через сутки обязательно последуют на Земле магнитные бури, когда точная ориентировка по компасу становится невозможной. Значит, радионаблюдения Солнца позволяют заранее предсказывать наступление магнитных бурь, что важно для моряков и летчиков.

Особенно важны прогнозы солнечных вспышек по данным радионаблюдений. Такие вспышки или, точнее, энергичные частицы, выбрасываемые при вспышках Солнцем, — главная опасность для космонавтов. Эти частицы, взаимодействуя с материалом космического корабля, порождают вредные излучения. Если заранее знать, когда произойдет мощная солнечная вспышка, можно отложить полет или принять меры к защите космонавтов от «радиационной опасности». Вот тут-то и должна помочь радиоастрономия.

Мы привели лишь некоторые примеры практического применения радиоастрономии — молодой, но уже давно заслужившей всеобщее признание науки.

ВСПЫШКИ НА ЗВЕЗДАХ

Звезды — далекие солнца. Эта давно известная азбучная истина заставляет нас предполагать, что и у звезд есть фотосфера, хромосфера, корона. Вряд ли чрезмерно смелым по-

кажется утверждение, что и на звездах есть пятна, и на звездах могут происходить мощные вспышки, подобные солнечным.

Все эти догадки (кроме последней) уже давно подтверждены спектральным анализом. В спектрах некоторых звезд найдены типичные корональные линии, линейчатые звездные спектры определенно указывают на существование звездных хромосфер, иногда очень обширных. Есть данные в пользу реальности звездных пятен. И только звездные вспышки стали предметом тщательных исследований лишь в самое последнее время.

Среди соседних звезд есть весьма любопытная маленькая красноватая звездочка, обозначенная в каталогах как звезда UV Кита. Расстояние до нее чуть меньше 9 световых лет, а сама звезда — типичный красный карлик. Излучает она света в 20 тысяч раз меньше, чем Солнце, а диаметр ее составляет лишь 8% солнечного.

Звезда UV Кита возглавляет особый класс так называемых вспыхивающих звезд. Иногда неожиданно яркость звезды увеличивается за минуты или даже десятки секунд в несколько раз, после чего столь же быстро звезда возвращается в первоначальное состояние. Бывало и так, что при вспышке яркость UV Кита увеличивалась в 250 раз, что соответствует возрастанию в блеске на шесть звездных величин! Звезда разгоралась буквально на глазах, и трудно описать это явление более точным термином, чем «вспышка».

Судя по всему, звездные вспышки типа тех, которые переживает UV Кита и похожие на нее звезды, по существу ничем не отличаются от солнечных хромосферных вспышек. Масштабы явления только другие, несравненно большие.

Каждая солнечная вспышка сопровождается резким возрастанием радиоизлучения Солнца. Подсчеты показывают, что если Солнце удалить на то же расстояние, на котором находится от нас UV Кита, то самые мощные солнечные вспышки современные радиотелескопы могли бы обнаружить. Не логично ли предположить, что при вспышках UV Кита радиоизлучение этой звезды возрастает настолько, что земные радиоастрономы должны его зарегистрировать?

Такую задачу поставил перед собой Бернард Ловелл, директор крупнейшей английской радиоастрономической обсерватории Джодрелл Бэнк. Исполинское 76-метровое зеркало радиотелескопа было нацелено на UV Кита, а параллельно оптические инструменты отмечали изменения ее блеска.

В 1964 году был опубликован результат. Как и ожидалось, всякий раз видимая глазом вспышка звезды UV Кита сопро-

вождалась заметным радиоизлучением. Любопытно, что последнее начинало возрастать примерно за две минуты до максимума вспышки, а возвращалось в первоначальное состояние восемь минут спустя.

Значение этого открытия очевидно: впервые обнаружено радиоизлучение отдельной звезды, пусть необычной, но все-таки звезды. Правда, общий вклад всех вспыхивающих звезд в радиоизлучение, приходящее к нам из глубин Галактики, невелик — вряд ли больше нескольких процентов. Не отдельные звезды превращают видимое глазом небо в радионебо. Есть другие, куда более мощные радиоисточники, — рассказ о них впереди. Но все-таки звездные вспышки весьма любопытны.

Причины солнечных и звездных вспышек пока неясны. Не исключено, что прав В. А. Амбарцумян, который считает, что эти взрывные явления вызваны остатками дозвездного вещества, еще сохранившегося на Солнце и звездах. Его переход из сверхплотного в обычное состояние сопровождается резким выделением энергии, то есть взрывом. Впрочем, солнечные и звездные вспышки бледнеют в сравнении с теми невообразимо мощными взрывами, которые мы наблюдаем в других местах звездного мира.

МЫ ЖИВЕМ «ВНУТРИ» СОЛНЦА

На снимках Солнца, полученных во время полных солнечных затмений, отчетливо видна лучистая солнечная корона. Как показали исследования С. К. Всехсвятского и других советских ученых, корональные лучи — это потоки корпускул (протонов, альфа-частиц, электронов и др.), выбрасываемых Солнцем. Лучи солнечной короны изменчивы — в годы наибольшей солнечной активности солнечная корона почти симметрична, тогда как в годы минимума она, наоборот, имеет весьма «растрепанный» вид.

Глаз прослеживает лучи короны иногда до расстояний, в несколько раз превосходящих поперечник Солнца. На негативах они выглядят еще длиннее. Где же кончается солнечная корона, как далеко простираются в межпланетное пространство эти наиболее внешние части солнечной атмосферы? Ответ на этот вопрос был найден с помощью радиоастрономии.

Представьте себе, что где-то за Солнцем расположен некий космический источник радиоволн. Распространяясь во всех направлениях, они на своем пути встретят и солнечную

корону. Тогда произойдет нечто вроде того, что хорошо известно нам по житейскому опыту. Нагретый воздух искажает контуры предметов, он искривляет траекторию световых лучей, и иногда даже образуется мираж: предметы видны не там, где они находятся на самом деле. Границы видимого диска Солнца и его «радиодиска», получаемого из радионаблюдений, не совпадают. Из-за преломления радиоволн длиной 4 м в солнечной короне «радиосолнце» может казаться раза в три больше Солнца, видимого глазом. Любопытно, что с увеличением длины волны эта разница только возрастает. Но отсюда следует, что если за Солнцем и на самом деле окажется какой-то далекий и почти «точечный» (по видимым размерам) радиоисточник, то при движении Солнца на фоне созвездий может произойти своеобразное затмение. Только на этот раз затмеваться будет не Солнце, а тот далекий источник. И затмевать его будет не только видимый диск Солнца, но и его гораздо больший невидимый радиодиск. Очевидно, по продолжительности такого «радиозатмения» удастся выяснить, как далеко от Солнца простирается его корона.

Пока что все эти рассуждения (впервые в 1951 году опубликованные советским радиоастрономом В. В. Виткевичем)

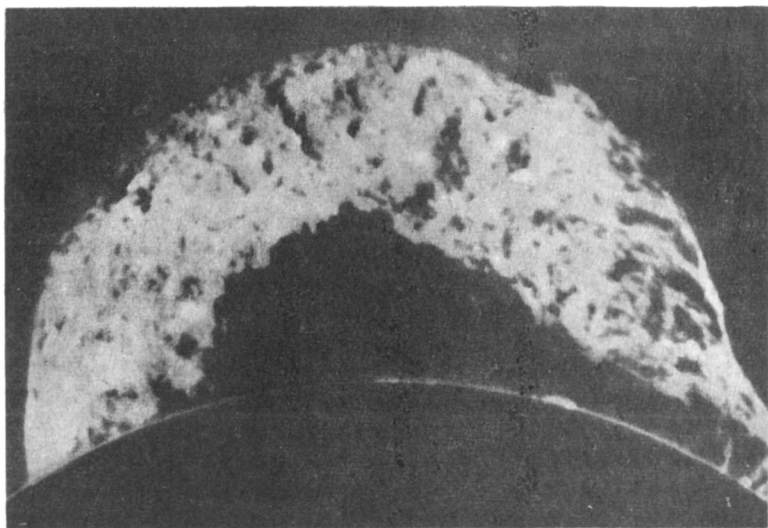


Рис. 41. Взлет исполинского протуберанца — одно из проявлений солнечной активности.

выглядят отвлеченными, чисто теоретическими. По счастливому стечению обстоятельств, метод Виткевича удалось применить и на практике.

Годовой путь Солнца по небосводу проходит через созвездие Тельца. А в этом созвездии есть уже знакомая нам Крабовидная туманность — далекий источник космических радиоволн. В июне каждого года Солнце проходит вблизи этой туманности, а значит, представляется удобный случай пронаблюдать необычное «радиозатмение».

Это и было сделано, причем не один раз. В 1952 году удалось проследить влияние короны на радиоволны до расстояний в десять солнечных радиусов. Позже были уловлены тем же методом следы короны на удалениях, в 55 раз превышающих видимый радиус Солнца. Выходит, что наблюдаемая глазом солнечная корона — лишь самая плотная часть этой внешней оболочки Солнца. На самом деле корону окружает свержкорона исполинских размеров. Но где все-таки кончается свержкорона?

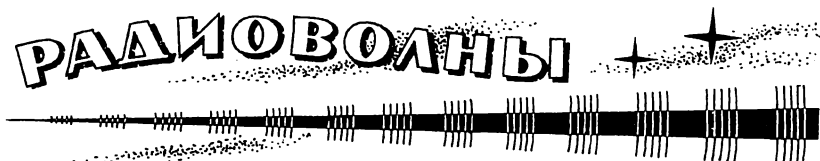
Зная, как убывает плотность вещества в солнечной короне, можно подсчитать, чему равна эта плотность на расстоянии Земли от Солнца. В частности, можно предвидеть, сколько окажется в единице объема околоземного пространства выброшенных Солнцем электронов. Каково же было удивление астрономов, когда датчики космических ракет сообщили о том, что в окрестностях Земли электронов как раз столько, сколько и должно получаться по прогнозам. Но отсюда следует вывод поистине поразительный: солнечная корона простирается до земной орбиты, а возможно, и еще несколько дальше. Значит, мы живем «внутри» Солнца, в самых разреженных частях его короны!

Теперь, после такого открытия, становятся более понятными многообразные связи между солнечной активностью и земными явлениями.

С увеличением числа пятен на Солнце учащаются и становятся более яркими полярные сияния, чаще происходят магнитные бури и нарушения радиосвязи на коротких волнах. Влияет Солнце и на погоду, и на землетрясения, и на размножение животных, и на многое, многое другое. Но что особенно важно, с солнечной активностью связаны некоторые болезни человека, состояние его нервной и сосудистой систем. Сейчас уже трудно указать такие земные явления, на которых так или иначе не сказывалась бы деятельность Солнца.

Удивительно? Пожалуй, нет. Ведь мы — дети Солнца. Без солнечного тепла и света немыслима и жизнь на Земле. И эта жизнь протекает «внутри» Солнца.

РАДИОВОЛНЫ



ИЗ ГЛУБИН ВСЕЛЕННОЙ

Наша Солнечная система — лишь маленький островок в безбрежном океане Вселенной. У нас есть полная уверенность, что наряду со звездами, лишенными планетных систем, существует множество и таких, которые, подобно Солнцу, окружены свитой планет. Вполне естественно допустить, что каждая звезда, как и Солнце, излучает в той или иной степени радиоволны. В ряде случаев к этому радиоизлучению самой звезды прибавляются радиоволны, посылаемые кружащимися вокруг нее планетами. Можно думать, таким образом, что, направив радиотелескоп в любую область звездного неба, мы уловим радиосигналы от далеких звездных миров.

Так оно и есть. Из любой точки небосвода, днем и ночью, в любую погоду к нам на Землю поступают радиосигналы от каких-то невообразимо далеких космических «радиостанций». Самое удивительное, что они, эти сигналы, гораздо сильнее, чем можно было ожидать.

Если источник света, например электрическую лампочку, удалить от предмета, который она освещает, естественно, что освещенность этого предмета уменьшится. Такое же явление свойственно и радиоволнам — с удалением радиостанции ослабевает и сила приема посылаемых ею радиоволн. Допустим, что каждая звезда излучает спокойные, тепловые радиоволны. Зная общее количество звезд в нашей звездной системе — Галактике, нетрудно подсчитать, что их общее радиоизлучение в сотни тысяч миллиардов раз меньше наблюдаемого.

Если даже предположить, что каждая звезда постоянно излучает радиоволны столь же мощно, как Солнце в периоды наиболее сильных всплесков, то и тогда расхождение между этими теоретическими подсчетами и фактами будет весьма разительным.

Кроме того, и по своему характеру радиоизлучение звездного неба совсем иное, чем тепловое радиоизлучение звезд. Все это заставляет думать, что в глубинах звездной Вселен-

ной есть особые, сверхмощные источники радиоволн, совсем не похожие на те космические «радиостанции» Солнечной системы, с которыми мы уже познакомились.

КОСМИЧЕСКОЕ РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ

Будем называть космическим радиоизлучением совокупность всех радиоволн, посылаемых на Землю теми источниками, которые находятся далеко за пределами Солнечной системы. Для того чтобы разобраться в природе этих источников, надо прежде всего вспомнить, какие объекты входят в состав нашей Галактики.

Ее основной «костяк» — звезды. Примерно 150 миллиардов солнц образуют в пространстве исполинский звездный остров, в самых общих чертах напоминающий чечевицу. При наблюдении «сверху» Галактика показалась бы нам весьма похожей на те многочисленные спиральные звездные системы, самая близкая из которых видна в созвездии Андромеды. Как и в других галактиках, спиральные рукава нашей звездной системы выходят из центрального ядра, представляющего собой плотное шаровидное скопище массивных звезд.

Когда смотришь на рисунки, изображающие схематически строение Галактики, может создаться ошибочное впечатление, что звезды в ней расположены весьма плотно. На самом деле звезду от звезды отделяют расстояния, в огромное число раз превосходящие средние поперечники звезд. Уменьшив мысленно размеры каждой звезды до размеров булавочной головки. Тогда в таком масштабе одну булавочную головку от другой придется удалить в среднем на 40 км. Но даже и в этом масштабе Галактика будет выглядеть весьма внушительно — ее поперечник все же останется близким к одному миллиону километров.

Пространство между звездами не пусто. Оно заполнено разными формами межзвездного вещества, в первую очередь так называемыми туманностями. Этим термином астрономы, как известно, обозначают колоссальные облака из крайне разреженных газов и не уступающие им по размерам облака твердой, очень мелкой космической пыли.

Представим себе, что туманность находится вблизи ярких, горячих звезд. Пылевая туманность при этом просто отражает свет звезд. Атомы газовой туманности поглощают ультрафиолетовое излучение звезды, чтобы затем испустить лучи видимого света. Такое явление холодного свечения газов в физике называется люминесценцией.

Примером люминесценции в земной практике может служить свечение всем знакомых ламп дневного света.

Вдалеке от звезд туманности кажутся темными. На фоне Млечного Пути некоторые из них похожи на какие-то зияющие чернотой провалы в яркой звездной россыпи.

Кроме туманностей, межзвездное пространство заполнено сплошной (в пределах Галактики), очень разреженной газовой средой, называемой межзвездным газом. Эта среда, состоящая главным образом из атомов водорода и гелия, в сотни раз менее плотна, чем самые разреженные из газовых туманностей. Ко всему сказанному надо добавить, что межзвездное пространство пронизано излучением звезд; в нем движутся мельчайшие частицы (главным образом ядра атомов водорода и гелия, а также электроны), выброшенные звездами. Повсюду в Галактике обнаруживается действие магнитных полей. Между звездами можно встретить самые разнообразные формы движущейся материи.

Какие же из перечисленных объектов можно считать источниками космического радиоизлучения?

Раньше, когда радиоастрономия еще только зарождалась, многие полагали, что радиоизлучение небесных тел пропорционально их оптическому излучению. С этой вполне естественной, как казалось, точки зрения самой мощной космической «радиостанцией» должно быть наиболее яркое небесное светило — Солнце. На самом же деле получилось совсем не так.

Например, в 1954 году выяснилось, что на волне длиной 32,8 м радиоизлучение ядра Галактики особенно сильно и в десятки раз превосходит радиоизлучение Солнца на волне той же длины. Если бы наш глаз способен был воспринимать радиоволны длиной 32,8 м, то Солнце на фоне галактического ядра казалось бы нам темным пятном!

Направляя радиотелескоп на различные участки звездного неба, можно узнать, какова мощность космического радиоизлучения в том или ином направлении. Оказывается, особенно мощные радиоволны исходят от галактического ядра. Заметна и резкая концентрация космического радиоизлучения к средней линии Млечного Пути, или, что то же самое, к средней «экваториальной» плоскости нашей Галактики. Такая же концентрация наблюдается и у основной массы звезд, входящих в нашу звездную систему. Это сходство — серьезный довод в пользу того, что источники космического радиоизлучения в значительной своей доле расположены внутри Галактики, а не за ее пределами.

Назовем совокупность радиоволн, зарождающихся внутри

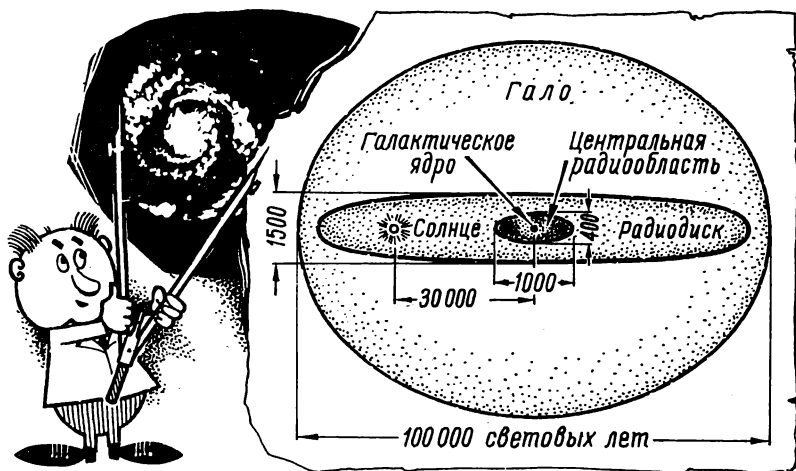


Рис. 42. Источники радиоизлучения Галактики.

нашей звездной системы, радиоизлучением Галактики. По исследованиям И. С. Шкловского, радиоизлучение Галактики можно разделить на две части, или, как говорят, на две составляющие. Одна из них называется плоской составляющей. Источники, ее порождающие, заключены в сравнительно тонком слое вблизи плоскости галактического экватора. Источники другой, сферической составляющей, встречаются на самых различных расстояниях от Млечного Пути. Значит, и в пространстве они со всех сторон окружают ядро Галактики, располагаясь внутри некоторой воображаемой грандиозной сферы, центр которой совпадает с центром Галактики.

Различие двух составляющих гораздо глубже, чем может показаться. Оно относится не только к распределению источников в пространстве, но и к природе посылаемых ими радиоволн. Например, мощность радиоволн плоской составляющей почти не зависит от частоты электромагнитных колебаний, тогда как мощность радиоволн сферической составляющей обратно пропорциональна их частоте.

Если бы мы могли перенестись в центр Галактики и оттуда принимать космические радиоволны, то радиопередача источников сферической составляющей по всем направлениям была бы почти одинакова, а у плоской составляющей в некоторых направлениях мы бы зафиксировали особенно мощные «дополнительные» источники радиоволн.

Замечательно, что и в других галактиках, по крайней мере тех, которые похожи на нашу, также встречаются два типа источников радиоволн. В 1952—1954 годах было изучено радиоизлучение туманности Андромеды — ближайшей из крупных галактик. Оказалось, что и там есть две составляющие — плоская и сферическая. Радиоастрономия подтвердила большое сходство двух соседних звездных систем, давно уже известное оптической астрономии.

Попробуем теперь выяснить, какие же космические объекты создают радиоизлучение Галактики.

ОТ РАДИОЗВЕЗД К РАДИОТУМАННОСТЯМ

Начиная с 1946 года в течение нескольких лет на звездном небе один за другим были открыты сотни небольших по видимым размерам источников радиоволн. Радиотелескопы обладали тогда еще очень малой разрешающей способностью, и казалось, что эти отдельные, или, как их называли, дискретные, источники радиоволн имеют почти точечные видимые размеры.

Соблазн принять их за тела, подобные звездам, был настолько велик, что вскоре дискретные источники космического радиоизлучения получили условное наименование радиозвезд. В настоящее время известно около двух тысяч радиозвезд.

Несмотря на малые видимые размеры, некоторые из радиозвезд в определенном диапазоне излучают радиоволны не менее сильно, чем Солнце. В северном полушарии неба сразу обратили на себя внимание две радиозвезды, одна из которых находится в созвездии Лебедя, а другая — в созвездии Кассиопеи.

Источник радиоволн из созвездия Кассиопеи — самый мощный на всем звездном небе. В метровом диапазоне его радиоизлучение почти не уступает радиоизлучению спокойного Солнца, хотя расстояние до радиозвезды из созвездия Кассиопеи в невообразимо большое число раз превосходит расстояние от Земли до Солнца. Лишь вдвое слабее радиозвезда из созвездия Лебедя, хотя источник радиоволн в этом случае несравненно дальше от Земли, чем радиозвезда из созвездия Кассиопеи. Если бы наши глаза способны были рассматривать Мир «на волне в несколько метров», то есть воспринимать радиоволны такой длины, то на небе мы увидели бы три солнца — одно наше, «настоящее», и два других — в созвездиях Кассиопеи и Лебедя. Заметим кстати,

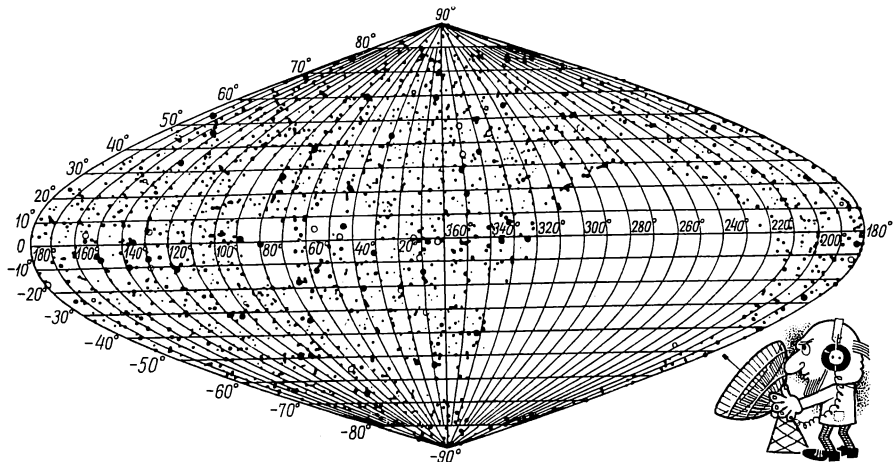


Рис. 43. Карта неба с изображениями так называемых «радиозвезд».

что, для того чтобы на сетчатке глаза могло образоваться изображение источника радиоизлучения, наш глаз должен был бы увеличиться до 10—12 м в диаметре. Только такое «глазастое» фантастическое существо могло бы увидеть три солнца.

Давно уже составлены карты радионеба. Внешне они имеют сходство с обычными звездными картами. Два полушария неба — северное и южное. Кружочками отмечены радиозвезды. Чем ярче радиозвезда, чем мощнее поток ее радиоизлучения, тем большим кружочком она изображена.

Конечно, эти карты показывают только самые главные, самые яркие из радиозвезд. В северном полушарии неба, кроме радиозвезд в созвездиях Кассиопеи и Лебедя, обращает на себя внимание источник в созвездии Тельца. Все три радиозвезды расположены на фоне Млечного Пути. На южном небе наиболее мощный источник радиоизлучения находится в созвездии Центавра.

Гораздо подробнее карта радионеба, составленная английскими астрономами. На ней в специальной проекции изображено около двух тысяч радиозвезд — настоящее радиозвездное небо. Белая область — те места небосвода, где радиозвезды пока еще не исследованы (рис. 43).

Кое-кто из астрономов предположил, что таинственные объекты, названные радиозвездами, находятся ближе к нам, чем настоящие звезды; быть может, даже где-нибудь на пе-

риферии Солнечной системы. Однако, когда попробовали измерить расстояние до некоторых радиозвезд, используя, как обычно, для этого обращение Земли вокруг Солнца, никакого заметного смещения радиозвезд не обнаружили. Учитывая точность измерений, можно было сделать вывод, что радиозвезды по меньшей мере в 2000 раз дальше Солнца, то есть что они находятся далеко за границами планетной системы, где-то в мире звезд.

Хорошо известно, что обычные звезды мерцают, переливаясь всеми цветами радуги. Неожиданно было открыто, что мерцание заметно и у радиозвезд. Интенсивность их радиоизлучения слегка, но весьма беспорядочно колебалась — так же, как свет мерцающих звезд. В этом можно было усмотреть довод в пользу сходства радиозвезд с обычными звездами.

Но потом, как это нередко бывает в истории науки, от гипотезы радиозвезд пришлось отказаться. Она оказалась ошибочной. Новые наблюдения с более совершенными радиотелескопами доказали, что сходство, казавшееся астрономам очевидным, было чисто внешним. Термин «радиозвезды» стал постепенно выходить из употребления.

Что же заставило астрономов коренным образом изменить свои взгляды?

Во-первых, когда увеличилась разрешающая способность радиотелескопов, оказалось, что точечные размеры радиозвезд — просто фикция. Более «зоркие» радиотелескопы обнаружили, что радиозвезды — весьма протяженные объекты неправильных, сложных очертаний. Например, получилось, что площадь, занимаемая на небе радиозвездой из созвездия Центавра, в 16 раз больше площади диска Солнца. Ничего звездообразного в радиозвездах на самом деле не было.

Во-вторых, обычные звезды заметно концентрируются к средней линии Млечного пути; у радиозвезд это явление совершенно отсутствует.

Виновником обманчивого мерцания радиозвезд оказалась земная атмосфера. В ней, высоко над поверхностью Земли, находятся ионизированные газы, образующие ионосферу. В ионосфере, как и в нижних слоях воздуха — тропосфере, постоянно возникают, движутся и распадаются бесчисленные струйки и потоки из ионизированных газов. Радиоволны, проходя сквозь ионосферу, преломляются и частично поглощаются в этих струйках. Они ведут себя совсем так же, как лучи видимого света в нижних, более плотных слоях атмосферы. Вот этими изменениями космических радиоволн и вызывается мерцание радиозвезд.

Не будь атмосферы, радиоизлучение дискретных (отдельных) источников было бы спокойным и ровным, как свет Луны. Впрочем, так же вели бы себя и обычные звезды. Поэтому явление мерцания еще вовсе не раскрывает перед нами истинную природу радиозвезд.

Можно приближенно подсчитать, исходя из наблюдаемого количества радиозвезд, их общее число в нашей Галактике. Получается нелепость: радиозвезд раз в десять больше, чем обычных звезд. Однако, так как никакого заметного воздействия на движение звезд радиозвезды не оказывают, массы этих объектов должны быть очень малы. Подсчеты показывают, что каждая радиозвезда может быть не более чем в десять раз тяжелее Юпитера. Но подобные небольшие по массе тела вряд ли достаточно горячи. Почему же тогда они так сильно излучают радиоволны?

Все это, вместе взятое, привело к крушению гипотезы о радиозвездах. Но если загадочные источники космических радиоволн не могут быть обычными звездами или похожими на них телами, то тогда надо искать иные космические объекты.

С помощью радиотелескопов неопровержимо было доказано, что искомые источники неподвижны относительно звезд и, обладая заметными видимыми размерами, имеют обычно неправильную форму. Из всех известных нам небесных тел только туманностям свойственны все эти три особенности. Поэтому в конце концов почти все дискретные источники радиоизлучения были отождествлены с теми или иными туманностями.

Как надо представлять себе процесс отождествления?

Радиотелескопы все-таки еще очень несовершенны. Как правило, они дают весьма приближенное положение источника, примерно с точностью до минут дуги. Участок небосвода площадью в несколько квадратных минут довольно велик — во всяком случае, на нем нередко умещается несколько туманностей. Какая именно из них посылает радиоволны, разобраться не всегда легко. Тем более что и туманности могут быть разные: например, газовые, принадлежащие к нашей Галактике, и внегалактические туманности, лишь внешне похожие на облака газов, а на самом деле чрезвычайно удаленные звездные системы.

Несмотря на огромные трудности, удалось все же найти ряд туманностей, несомненно являющихся источниками мощных радиоволн. Так, например, в созвездии Кассиопеи, где радиотелескопы «нащупали» самую яркую радиозвезду, оптические телескопы зафиксировали несколько газовых сгустков, похожих на обрывки какой-то большой туманности.

В созвездии Тельца яркой радиозвездой оказалась знаменитая Крабовидная газовая туманность, хорошо известная астрономам уже с XVIII века. Этот объект весьма замечателен во многих отношениях, и о нем мы уже упоминали. Радиозвезда номер два из созвездия Лебедя после тщательного исследования оказалась двумя очень далекими галактиками, почти соприкасающимися одна с другой. Несмотря на то что эти звездные системы удалены от нашей на расстояние, которое луч света преодолевает за 300 миллионов лет, их радиоизлучение сравнимо с радиоизлучением Солнца, которое находится от нас на расстоянии восьми световых минут. Все это тем более удивительно, если вспомнить, что с удалением источника радиоизлучения поток принимаемых от него радиосигналов убывает обратно пропорционально квадрату расстояния!

Заметим, что отождествление радиозвезд с различными туманностями еще не завершено. Чтобы не перепутать радиозвезды, принадлежащие одному и тому же созвездию, договорились самую мощную космическую «радиостанцию» в данном созвездии обозначать латинской буквой «А», следующую за ней по мощности — буквой «В», и т. д. Так, например, на языке радиоастрономов «источник Лебедь А» означает, что речь идет о самой яркой радиозвезде из созвездия Лебедя — той самой, которая представляет собой две очень далекие, почти слившиеся галактики.

Постепенно в научном обиходе появился новый термин — «радиотуманности». Под этим словом понимают только те газовые туманности, которые служат источником мощного радиоизлучения. В отличие от радиотуманностей, «радиогалактиками» называют те из внегалактических туманностей, или, что то же, звездных систем, которые посылают в пространство мощные потоки радиоволн.

Радиоизлучение нашей Галактики не есть, однако, простая сумма или, точнее, совокупность радиоволн всех входящих в нее радиотуманностей. Наблюдения показывают, что радиоволны приходят к нам по всевозможным направлениям из любой точки неба. Есть, следовательно, некоторый непрерывный фон радиоизлучения Галактики, и на этом непрерывном фоне отдельными пятнами выделяются дискретные источники радиоволн. Что же создает непрерывный фон?

Как уже говорилось, основная масса газового и пылевого вещества сосредоточена близко к средней экваториальной плоскости нашей Галактики. Такую картину можно наблюдать и во многих других галактиках, где газово-пылевые туманности образуют нечто вроде «начинки» плоского звездного

галактического «пирога». Так распределены в галактиках, похожих на нашу, не только туманности, но и непрерывная крайне разреженная газовая среда — уже знакомый нам межзвездный газ или, точнее, межзвездные газы. Вот именно они, независимо от туманностей, испускают радиоволны, которые и создают часть наблюдаемого непрерывного фона радиоизлучения Галактики. Ее, эту часть, называют, как мы уже говорили, плоской составляющей. Но есть и вторая, сферическая составляющая непрерывного радиоизлучения Галактики. Ее происхождение несколько иное.

По исследованиям советского астрофизика С. Б. Пикельнера, звездное ядро нашей Галактики окружает исполинская и очень разреженная газовая «атмосфера» почти сферической формы. Ее плотность должна быть раз в десять меньше плотности межзвездных газовых облаков (следовательно, в сотни миллиардов раз меньше плотности комнатного воздуха). Менее плотных образований, чем эта тончайшая газовая вуаль, окутывающая со всех сторон ядро Галактики, современная астрономия не знает.

Частицы газовой короны Галактики, как ее называют, движутся беспорядочно и очень быстро, со скоростями в десятки километров в секунду. Каждую такую частицу притягивает к себе не только ядро Галактики, но и масса ее звезд — чечевицеобразный «галактический диск». Однако благодаря очень большим скоростям частицы «выпрыгивают» из основной плоскости Галактики и могут подниматься над ней на весьма значительную высоту.

Если бы движение частиц было упорядоченным, а скорости меньшими, газовую корону Галактики постигла бы судьба межзвездного газа: она бы «сплющилась» к основной плоскости нашей звездной системы.

По современным представлениям, газовая корона и является источником сферической составляющей непрерывного радиоизлучения Галактики.

Как уже убедился читатель, во всех рассмотренных нами случаях радиоволны посылают газ. Это, однако, не означает, что процессы образования радиоволн в газе или, лучше сказать, газом во всех случаях одни и те же. Многое зависит от температуры газа, степени его ионизации и других свойств.

Известны три процесса, при которых газ может стать источником радиоволн.

Во-первых, всякий газ как-то нагрет и, как любое нагретое тело, излучает в той или иной степени радиоволны. В этом случае радиоизлучение газа называется тепловым.

Во-вторых, бывает и так, что газ представляет собой плаз-

му, то есть он сильно ионизирован, и его можно рассматривать как беспорядочную смесь отрицательно заряженных электронов и несущих положительный заряд ионов. В плазме, как уже отмечалось, при некоторых внешних воздействиях могут возникнуть определенного рода колебания. Такие плазменные колебания служат источником нетеплового радиоизлучения газа.

В-третьих, мыслим еще один случай. Межзвездные газовые облака постоянно пронизываются ультрафиолетовым излучением звезд. Под действием ультрафиолетовых лучей и по другим причинам в межзвездных газовых облаках накапливается большое количество свободных, потерявших связь со своими атомами электронов. Их движение зависит не только от беспорядочных, или, как их называют, турбулентных, перемещений газовых масс. В весьма большой степени оно определяется магнитными полями, действующими в космосе.

В космосе магнитные поля встречаются буквально повсюду. Общеизвестно, что наша Земля подобна огромному магниту. Заметными магнитными полями обладают Солнце и многие из звезд. В какой-то степени, по-видимому, всем небесным телам присущ магнетизм.

Большую роль играют магнитные поля и в масштабе всей Галактики. В межзвездных газовых облаках магнитные поля очень сложны. Их силовые линии во всех направлениях пронизывают пространство, занятое газом.

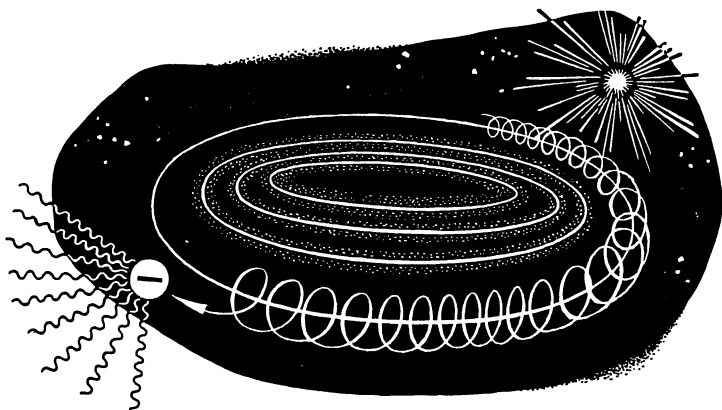


Рис. 44. В межзвездном пространстве электроны стремительно летят по сложным спиралеобразным траекториям.

Хорошо известно, что магнитные поля влияют на движение электронов, — вспомните школьный опыт под названием «Отклонение проводника с током в магнитном поле». Внутри межзвездного газа под действием магнитных полей электроны могут иногда разогнаться до скоростей, сравнимых со скоростью света. При этом электроны летят по сложным спиралеобразным траекториям, как бы «накручиваясь» на силовые линии магнитного поля. Для частиц, движущихся с околосветовыми скоростями, законы обычной, ньютоновской механики становятся недействительными. Здесь вступают в силу законы теории относительности. Вот почему сверхбыстрые электроны, летящие с околосветовыми скоростями, астрофизики называют релятивистскими¹ электронами.

Внутри газовых облаков и туманностей релятивистские электроны движутся ускоренно. Тогда при некоторых условиях, как показывают сложные расчеты, энергия их движения может переходить в энергию электромагнитных волн. Говоря проще, релятивистские электроны будут излучать радиоволны.

Где и какие из трех рассмотренных процессов осуществляются в действительности?

Доказано, что газово-пылевая «начинка» нашей Галактики дает непрерывное тепловое излучение — так создается плоская составляющая непрерывного фона. Что касается газовой короны Галактики, то в ней должны быть релятивистские электроны. Они-то и создают сферическую составляющую непрерывного фона радиоизлучения Галактики.

Механизм испускания радиоволн радиотуманностями различен. Одни из туманностей, как, например, знаменитая туманность из созвездия Ориона, посылают радиоволны теплового происхождения. Другие, как Крабовидная туманность, богаты релятивистскими электронами, и их радиоизлучение нетепловое.

Разные механизмы излучения радиоволн могут, конечно, сочетаться друг с другом. Одни и те же объекты (с примерами подобного рода мы уже знакомы) способны порождать и тепловые, и нетепловые радиоволны. Здесь, пожалуй, стоит отметить, что плазменные колебания не могут объяснить радиоизлучение газовых туманностей и межзвездного газа. Поэтому в конечном счете радиоволны, зарождающиеся внутри нашей звездной системы, имеют своей причиной в подавляющем большинстве случаев или переходы электронов внутри атомов, или ускоренное движение релятивистских электронов.

¹ Релятивный означает то же, что и относительный.

До сих пор мы встречались с небесными «радиостанция-ми», которые излучают радиоволны всех длин. Правда, приемная антенна радиотелескопа и приемник выделяли из всех этих волн только те, длина которых заключена в очень узком интервале. Но, меняя облучатель, можно было от того же источника уловить радиоволны другой длины, соответствующей приемным свойствам этого облучателя. Можно сказать, что все знакомые нам до сих пор космические источники радиоволн дают непрерывный спектр радиоизлучения. В этом их существенное отличие от искусственных радиостанций, созданных человеком, — станций, которые ведут радиопередачи всегда только на волнах вполне определенной длины.

Во всем этом можно усмотреть аналогию с оптическими явлениями. Если источником света служит твердое или жидкое раскаленное тело, а также газ при высоких давлениях и температуре, то такой источник света дает, как известно, непрерывный спектр — сплошную цветную радужную полосу с постепенным переходом цветов от фиолетового до красного. В этом случае источник света излучает электромагнитные волны всевозможных длин.

Но могут быть спектры и иного типа. Если, например, источником света является разреженный светящийся газ, то в спектроскоп мы увидим так называемый линейчатый спектр — ряд разноцветных ярких линий на общем черном фоне. Линейчатый спектр — своеобразный паспорт газа. Он совершенно однозначно определяет его владельца, так как каждый газ дает свои, только ему присущие спектральные линии. Таким образом, в отличие от раскаленных твердых тел, светящийся газ в обычных условиях излучает не все, а только некоторые из электромагнитных волн, заключенные в очень узких интервалах длин.

Замечательно, что наряду с небесными «радиостанциями», дающими непрерывный спектр радиоволн, есть и такие источники космического радиоизлучения, радиоспектр которых вполне можно назвать линейчатым.

Впервые гипотеза о существовании подобных источников была высказана еще в 1944 году голландским астрофизиком Х. К. ван де Хюлстом. Тогда еще начинающий молодой ученый, студент Лейденского университета, ван де Хюлст выступил на специальном научном собрании с докладом, в котором доказывал, что атомы межзвездного нейтрального водорода могут излучать радиоволны только определенной длины, близкой к 21 см.

В то время еще шла война, в оккупированной фашистами Голландии ученые были изолированы от остального научно-го мира, и поэтому идея ван де Хюлста не сразу получила широкую известность.

Когда в 1948 году И. С. Шкловский узнал о докладе голландского ученого, он весьма заинтересовался его идеей и решил детально обосновать ее строгими расчетами.

Межзвездная среда, как уже отмечалось, богата нейтральным водородом. Его атом состоит из протона, вокруг которого обращается единственный электрон. Не в пример планетам, обладающим определенными орбитами, электрон в атоме водорода может обращаться вокруг ядра (протона) по различным орбитам определенных радиусов. Если электрон внутри атома перескакивает с орбиты большего радиуса на одну из внутренних орбит, атом водорода при этом излучает электромагнитную волну вполне определенной длины. Вот почему оптический спектр раскаленного водорода является линейчатым.

Перескоки электрона с одной орбиты на другую — не единственный способ выделения энергии. Как известно, электрон и протон в атоме водорода вращаются вокруг некоторых осей, несколько напоминая волчки. Но ведь каждая из этих элементарных частиц несет на себе определенный электростатический заряд — положительный у протона, отрицательный у электрона. Непрерывно вращаясь, протон и электрон порождают магнитные поля и при этом начинают взаимодействовать один с другим как два крошечных магнетика. Вот это взаимодействие и приводит к смещениям самой маленькой по радиусу, «основной» орбиты электрона. Все такие смещения сопровождаются изменением энергетического состояния атома водорода, и атом при этом излучает радиоволны длиной 21 см.

Чтобы выяснить, могут ли радиотелескопы уловить радиоволны, посылаемые облаками нейтрального водорода, пришлось подсчитать, как часто каждый атом водорода излучает радиосигнал и каково их общее количество внутри нашей Галактики. Сложные расчеты, выполненные И. С. Шкловским, дали положительный результат. Несмотря на то что в среднем каждый отдельный атом водорода может испустить радиоволну длиной 21 см один раз в 10 миллионов лет, в нашей Галактике водорода достаточно много, чтобы его радиосигналы могли быть доступны для исследования. И, подобно тому как сначала Нептун был открыт «на кончике пера» вычислителя, а затем уж его удалось увидеть в телескоп, предсказания ван де Хюлста и И. С. Шкловского бле-

стояще подтвердились. В 1951 году впервые радиотелескопы поймали радиоволны длиной 21 см — те самые, которые излучаются облаками межзвездного водорода. Это открытие было почти одновременно сделано тремя группами исследователей: в США, Австралии и Голландии.

Позже выяснилось, что разреженные облака межзвездного водорода заполняют исполинские спиральные ветви нашей звездной системы. Здесь его особенно много, хотя и между ветвями также простирается тончайшая водородная вуаль. Распределение нейтрального водорода в Галактике отражает ее спиральную структуру. Значит, наблюдая радиоизлучение межзвездных облаков водорода на волне 21 см, можно выяснить некоторые важные черты строения Галактики.

В этом отношении радиометоды лучше обычных, оптических методов. Лучи видимого света задерживаются темными межзвездными пылевыми облаками, которые тем самым маскируют истинное распределение звезд в пространстве. Для радиоволн космическая пыль — не препятствие. Радиоволны свободно пронизывают темные туманности и достигают Земли. Наблюдая Галактику в радиодиапазоне, мы приобретаем такую же «проницательность», как рентгенолог, видящий «насквозь» своего пациента.

Радионаблюдения позволяют узнать не только, как распределен водород в Галактике, но и с какой скоростью движутся в пространстве водородные облака. Это можно узнать, исследовав так называемый контур спектральной линии.

Каждая из линий линейчатого спектра не бесконечно узка и имеет некоторую, пусть небольшую, ширину. Вызвано это тем, что каждая спектральная линия образуется не одной волной, а целой пачкой электромагнитных волн почти одинаковой длины.

И в оптическом спектре, и в радиоспектре можно заметить, что спектральные линии не повсюду одинаково ярки. В середине, как правило, они несколько ярче, чем по краям. Найти контур спектральной линии — это значит изучить распределение яркости внутри нее. Зная же контур линии, можно вычислить скорость газов, которые эту линию излучают.

Наблюдения Галактики на волне 21 см привели к интересным результатам. Оказывается, облака нейтрального водорода в основном отмечают расположение спиральных ветвей.

Удалось определить, что средняя плотность водорода в ветвях составляет один атом в кубическом сантиметре пространства. Между ветвями плотность водородной среды примерно в десять раз меньше.

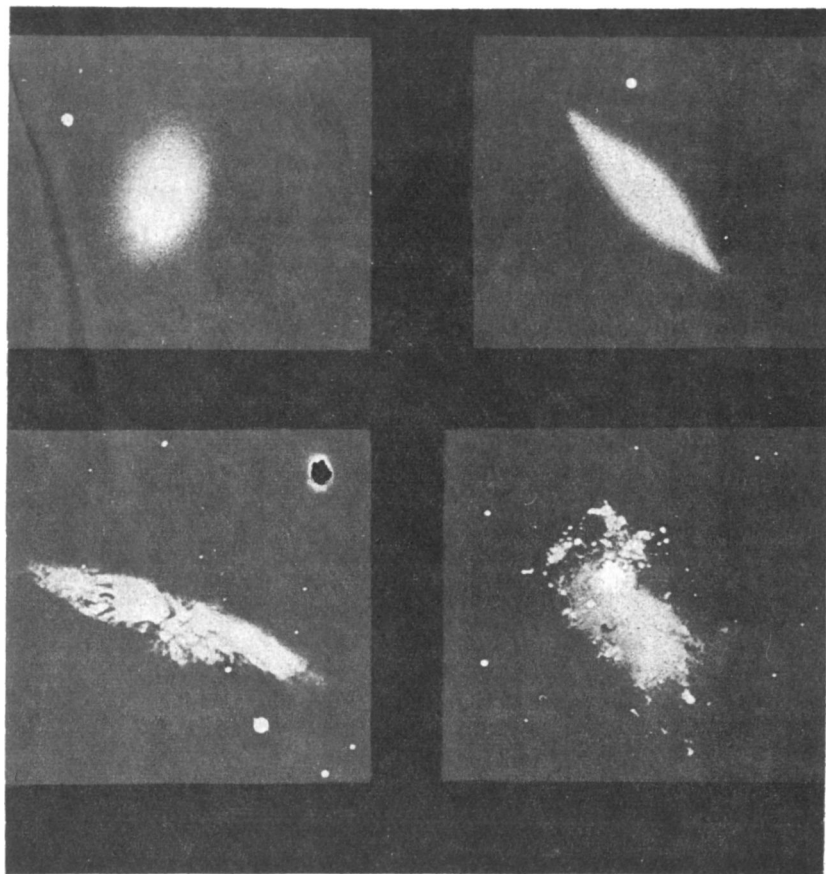


Рис. 45. Четыре различных галактики. Две галактики (внизу) имеют клочковатую структуру, видимо порожденную активностью их ядер.

Интересно, что если концентрация звезд в пространстве с удалением от центра Галактики убывает, то межзвездная водородная среда ведет себя иначе. Максимальной плотности она достигает на расстоянии примерно 20 тысяч световых лет от галактического центра. В целом газовые массы Галактики составляют лишь около 2% ее общей массы. Остальное приходится на долю звезд.

Раньше полагали, что из ядра Галактики выходят две исполинские звездные спирали. По данным радионаблюдений,

у нашей звездной системы есть несколько спиральных ветвей, имеющих в основном неправильную форму, далекую от формы идеальной математической спирали.

Когда с помощью радиотелескопов исследовали на волне 21 см туманность Андромеды и другие близкие галактики, то было установлено, что и внутри этих галактик облака нейтрального водорода также обволакивают их спиральные ветви. Эти ветви удалось проследить даже там, где они сходят на нет, где концентрация звезд так мала, что глаз ничего не видит. Радиотелескопы и здесь оказались «зорче» мощных рефлекторов.

«Водородный туман» нашей Галактики отнюдь не спокоен. По данным радионаблюдений, отдельные водородные сгустки беспорядочно движутся со скоростями, близкими к 8 км/сек. Но эти движения не портят общую картину. Удерживаемые какими-то силами не вполне выясненной природы, атомы нейтрального водорода все же в целом остаются в районе спиральных ветвей Галактики, участвуя в ее вращении вокруг общего центра тяжести.

В области галактического ядра голландские астрономы открыли быстродвижущиеся (до 200 км/сек) водородные массы. На расстоянии около 10 тысяч световых лет от центра Галактики есть огромное изогнутое облако газа, напоминающее кусок спиральной ветви, которое уносится от ядра со скоростью 54 км/сек. Чем вызваны все эти процессы, пока неясно. По-видимому, ядра галактик (и нашей, и других) — очаги каких-то процессов исключительной мощи, быть может связанных с образованием молодых звезд.

В 1959 году радиоастрономы Пулковской обсерватории открыли интересный факт. В самом центре нашей Галактики есть очень малое по размерам и исключительно плотное облако из ионизированного газа, являющееся мощным источником радиоволн. Поперечник этой «сердцевины» нашей звездной системы не превышает двух световых лет.

Замечательно, что в галактике из созвездия Андромеды открыто подобное очень малое «ядрышко», но имеющее не газовую, а звездную природу. Эти новые для нас структурные особенности галактик, по-видимому, играют большую роль в формировании звезд и межзвездной материи.

Радиоизлучение нейтрального водорода на волне 21 см имеет тепловую природу. Значит, оно должно быть свойственно и Солнцу, и планетам-гигантам, где водорода очень много. Но если поверхность Солнца посылает радиоволны длиной 21 см, то до Земли они все равно не дойдут, так как, если верить теоретическим расчетам, они должны полностью

поглощаться в солнечной атмосфере. Другое дело планеты-гиганты, в особенности Юпитер и Сатурн. Их «водородные» радиосигналы вполне могут быть приняты на Земле, если только зеркало радиотелескопа будет иметь в поперечнике несколько сотен метров.

Кроме нейтрального водорода, и некоторые другие межзвездные газы могут давать линейчатый радиоспектр. «Просветив» Галактику «в лучах» нейтрального водорода, астрономы, естественно, хотят повторить такой эксперимент и для других веществ, что представляет собой значительный интерес для выяснения строения нашего великого звездного острова.

ПОМЕХА НОМЕР ОДИН

В XVIII веке в среде астрономов выделилась группа лиц, получивших вскоре наименование «ловцов комет». Это были настоящие энтузиасты науки, подчас даже не имевшие специального астрономического образования. Вооруженные небольшими телескопами, они долгие месяцы и годы тщательно осматривали звездное небо в надежде увидеть какую-нибудь новую комету. Их усердие превозмогало трудности. В конце концов почти каждому из них в течение жизни удавалось открыть незнакомую «хвостатую звезду», которой, по сложившейся традиции, присваивалось имя ее открывателя. Одним из наиболее неутомимых «ловцов комет» был французский астроном Шарль Мессье.

Большинство комет приходят к нам издалека, с окраин Солнечной системы. Когда впервые замечают новую, неизвестную комету, она даже в телескоп кажется крошечным, туманным пятнышком с более яркой сердцевинкой. Лишь потом, с приближением к Солнцу, у комет образуются огромные хвосты, и некоторые из них становятся доступными для наблюдения невооруженным глазом.

Когда комета находится далеко от Солнца, ее легко спутать со светлым межзвездным облаком из пыли и газа. Внешне похожи на кометы (при наблюдениях в небольшие телескопы) и такие, на самом деле совсем иные по природе, объекты, как шаровые звездные скопления и другие галактики.

Для «ловцов комет» все кометообразные небесные объекты были досадными помехами. Открыв незнакомое туманное пятнышко, они должны были в течение нескольких часов следить, переместится ли подозрительное пятнышко среди звезд. Если движение обнаружено, значит, открыта новая комета.

Если же пятнышко неподвижно, значит, это далекая туманность или звездное скопление.

Чтобы избавить себя и своих коллег от досадных недоразумений, Мессье решил составить перепись всех кометообразных объектов, указав их положение среди звезд. Так возник знаменитый каталог Мессье — самый первый каталог звездных скоплений и туманностей. Обозначения, введенные Мессье, сохранились и в современной астрономии. Например, яркое шаровое звездное скопление из созвездия Геркулеса обозначается символом М13, но иногда читается так: «Мессье 13». Соседняя к нам галактика из созвездия Андромеды числится в каталоге Мессье под номером 31 и поэтому обозначается как М31, и т. д. Из всех «помех», занесенных Мессье в свой каталог, нас интересует та, которая возглавляет его список.

«Помеха номер один», или, более сокращенно, М1, — удивительная газовая туманность, которую Мессье случайно открыл еще в 1758 году в созвездии Тельца при наблюдениях за одной интересовавшей его кометой. В небольшой телескоп она выглядит молочно-белым туманным овальным пятнышком. На фотоснимках, полученных с помощью сильных телескопов, туманность М1 из созвездия Тельца внешне несколько напоминает краба. За это сходство она и получила название Крабовидной туманности (см. рис. 18).

Расстояние от туманности до Земли огромно. Луч света преодолевает его лишь за 5000 лет. Установлено, что Крабовидная туманность состоит из двух взаимопроникающих частей — «размазанной» диффузной части и накладывающихся на нее причудливо изогнутых газовых волокон. Сеть волокон особенно хорошо заметна во внешних областях туманности и менее выражена в ее центральной части. Подсчитано, что примерно 95% света дает аморфная, бесформенная часть туманности и лишь остальные 5% приходятся на долю волокон.

Размеры Крабовидной туманности достаточно внушительны: ее поперечник близок к шести световым годам, что почти в полтора раза превосходит расстояние от Солнца до ближайшей к нему звезды — Альфы Центавра.

Сравнение фотографий туманности, полученных с интервалом в 20—30 лет, обнаруживает, что Крабовидная туманность расширяется во все стороны от своего центра. Скорость расширения огромна — свыше 1000 км/сек.

Зная скорость расширения туманности и ее видимые размеры, нетрудно подсчитать, что свыше 900 лет назад газы, составляющие туманность, были сжаты в очень небольшом объеме и Крабовидная туманность имела тогда ничтожные

размеры. Что же заставило эти газы внезапно расшириться, да еще с огромной скоростью? Не произошел ли здесь какой-то чудовищный по своей мощности взрыв?

В поисках решения загадки придется обратиться к историческим хроникам. Не произошло ли на небе 900 лет назад какое-нибудь особенное явление, которое обратило на себя внимание древних астрономов?

Никто в прошлом, пожалуй, так точно и с такой тщательностью не регистрировал необыкновенные небесные явления, как древние китайские астрономы. В Древнем Китае астрономические наблюдения считались разновидностью государственной службы, и китайские астрономы несли личную ответственность перед императором за точность и достоверность сообщаемых ими сведений.

По единодушному утверждению древних китайских, а также и японских хроник в 1054 году, то есть 916 лет назад, в созвездии Тельца неожиданно засияла очень яркая, ранее никем не виданная «звезда-гостя». По блеску она превосходила Венеру и некоторое время была на небе третьим светилом после Солнца и Луны. Яркость ее была так велика, что необыкновенную звезду видели даже днем, а по ночам освещенные ею предметы отбрасывали заметные тени. Около полугода «гостила» на небе удивительная звезда. Затем блеск ее стал постепенно ослабевать, и наконец она вовсе как бы растворилась в черной бездне неба.

Древние китайцы очень точно отметили расположение на небе «звезды-гостя». Оказалось, что она вспыхнула как раз в той точке неба, которая в настоящую эпоху является центром Крабовидной туманности. Разумеется, это совпадение совсем не случайно. Туманность и звезда связаны одна с другой. Несомненно, что удивительная звезда при своей вспышке породила Крабовидную туманность, которая и поныне продолжает расширяться от нее во все стороны.

Астрономам уже давно известны вспыхивающие звезды. Их наблюдали еще в древности, и уже тогда для обозначения этих «временных» светил был введен весьма неудачный термин «новая звезда». Можно, впрочем, найти оправдание древним астрономам. Ведь они не видели новую звезду до ее вспышки и, не имея телескопов, не могли проследить за ней после того, как она исчезла для невооруженного глаза.

На самом деле, как мы теперь знаем, новые звезды существовали и до вспышки, как продолжают существовать и после нее. Просто на некоторых звездах, к числу которых, к счастью, наше Солнце не принадлежит, время от времени происходят своеобразные взрывы. Из недр звезды сразу,

внезапно выделяется накопившаяся там ядерная энергия, и чудовищно возросшее давление света сбрасывает со звезды ее внешние атмосферные оболочки. В этот катастрофический период своей жизни новая звезда чудовищно раздувается, «распухая» так, что ее поперечник становится большим, чем диаметр орбиты Марса. Сбросив с себя внешние газовые оболочки, новая звезда затем сильно сжимается и снова на некоторый срок (десятки или сотни лет) возвращается к спокойному ритму жизни.

Вокруг многих «бывших» новых звезд найдены небольшие газовые туманности, расширяющиеся в разные стороны, как Крабовидная туманность. Происхождение этих туманностей ни у кого не вызывает сомнений.

То, что произошло в созвездии Тельца свыше 900 лет назад, напоминает вспышку новой звезды. Напоминает во всем, кроме одного — масштаба явления. Взрыв в созвездии Тельца был несравненно мощнее тех взрывов, которые переживают обычные новые звезды. Как уже говорилось, современные астрономы называют звезды, подобные вспыхнувшей в созвездии Тельца, сверхновыми звездами.

Хотя Крабовидная туманность несомненно состоит из разреженных газов, ее спектр не линейчатый, а непрерывный. Если говорить более строго, то спектр Крабовидной туманности есть наложение одного на другой двух спектров: яркого непрерывного спектра и гораздо более слабого — линейчатого. Первый порождается аморфной, «размазанной» частью туманности, а второй — ее газовыми «щупальцами».

Если судить по спектру газовых волокон, их температура не превосходит 10 тысяч градусов. Аморфная же часть туманности раз в пятнадцать горячее. Трудно понять, какие причины заставляют мирно «сосуществовать» два газовых облака, разность температур которых близка к 140 тысячам градусов! Между прочим заметим, что расширяется сеть волокон, которые движутся сквозь почти неизменную аморфную часть.

Крабовидная туманность — один из самых загадочных объектов неба, и без помощи радиоастрономии мы бы еще долго не раскрыли многих ее тайн.

На «радионебе» Крабовидная туманность считается «радиозвездой» номер три — по мощности посылаемых ею радиосигналов она уступает только источникам в созвездии Кассиопеи и Лебедя. Радиоизлучение Крабовидной туманности имеет нетепловой характер. По мнению И. С. Шкловского, его можно объяснить следующим образом.

При взрыве сверхновой звезды в 1054 году выброшенные ею газы двигались очень быстро и беспорядочно. Облака этих газов оказались намагниченными, то есть каждое из них обладало некоторым собственным магнитным полем. Из-за хаотичности движения отдельных газовых сгустков в Крабовидной туманности магнитные поля получились очень сложными, а их силовые линии причудливо запутанными.

Температура взрыва была весьма высока, и взорвавшаяся звезда выбросила в пространство большое количество свободных электронов. Очутившись внутри Крабовидной туманности, они, взаимодействуя с ее магнитным полем, разгонялись вдоль силовых линий и в конце концов приобрели скорости, близкие к световой. Запутанность магнитных силовых линий привела к тому, что релятивистские электроны надолго оставались внутри туманности. Вот эти-то стремительно блуждающие электроны и порождают радиоизлучение Крабовидной туманности.

Непрерывный спектр аморфной части туманности вызван все теми же релятивистскими электронами. Среди них может найтись сравнительно небольшое количество особенно быстрых электронов, энергия которых достаточна для излучения видимого света. При обычных условиях, как, например, в межзвездной газовой среде, таких «сверхбыстрых» электронов нет. Но при том чудовищном взрыве, который переживает сверхновая звезда, эти электроны вполне могли образоваться.

Несмотря на удивительные особенности, Крабовидная туманность все-таки не может считаться совершенно уникальным объектом. Взрывы сверхновых звезд хотя и редко, но все же происходят и поныне. По современной статистике, в каждой галактике в среднем через 100—300 лет вспыхивает одна сверхновая звезда. Вполне естественно поэтому предположить, что по крайней мере некоторые из радиотуманностей нашей Галактики были образованы когда-то вспыхнувшими сверхновыми звездами.

Чтобы убедиться в этом, астроном на некоторое время должен превратиться в историка. В старинных хрониках, в древних рукописях ему надо разыскать, не появлялась ли когда-нибудь «звезда-гостя» в интересующем его участке неба.

Эти поиски таят в себе много увлекательного и могут привести к интересным открытиям.

Вот, например, что нашли астрономы в 294-м томе Энциклопедии китайского ученого Ма Туан-лина, жившего в XIII веке нашей эры:

«В период Тай-Хэ, в четвертый год, во вторую луну, была видна необыкновенная звезда возле западной стены Синего Дворца. В седьмую луну она исчезла».

В этой лаконичной записи разобраться нелегко. Пришлось затратить немало сил, чтобы расшифровать загадочный текст древнекитайской хроники. Оказалось, что «вторая луна четвертого года периода Тай-Хэ» соответствует марту 369 года нашей эры. «Седьмая луна» означает август того же года, а таинственный «Синий Дворец» — это круг на небе, ограничивающий область незаходящих звезд. Зная широту места наблюдения, нетрудно было вычислить размеры этого круга. Указание «возле западной стены» в сочетании с моментом наблюдения позволило приближенно указать то место неба, где вспыхнула необыкновенная звезда. Одно время считалось, что древняя китайская хроника рассказала о вспышке яркой звезды в 369 году в созвездии Кассиопеи. Действительно, как помнит читатель, именно в этом созвездии и находится самый мощный источник космического излучения. Теперь, однако, доказано, что Кассиопея А связана с другой сверхновой звездой, вспыхнувшей около 1700 года.

Отождествление радиотуманностей с остатками сверхновых звезд еще только начинается, и несомненно астрономов ждут новые открытия. Было бы все же неправильно думать, что все радиотуманности связаны со сверхновыми звездами. Многие туманности, в том числе и знаменитая газовая туманность из созвездия Ориона, излучают радиоволны теплового происхождения, которые удобно изучать в сантиметровом или дециметровом диапазоне. Но, конечно, наибольший интерес вызывают те туманности, которые излучают нетепловые радиоволны. В этих радиосигналах всегда удастся различить следы грандиозных процессов, сопровождающихся неизмеримо большим выделением энергии. А ведь именно в таких процессах кроются главные загадки мироздания.

ПРИРОДА РАДИОГАЛАКТИК

Из нескольких тысяч дискретных источников радиоизлучения подавляющее большинство находится за пределами нашей звездной системы. Однако отождествление их с какими-нибудь конкретными галактиками — дело очень простое. На фотоснимках, полученных с помощью мощных современных телескопов, запечатлены миллионы галактик. В некоторых областях неба галактик видно больше, чем звезд, а так как наиболее далекие из звездных систем на негативе

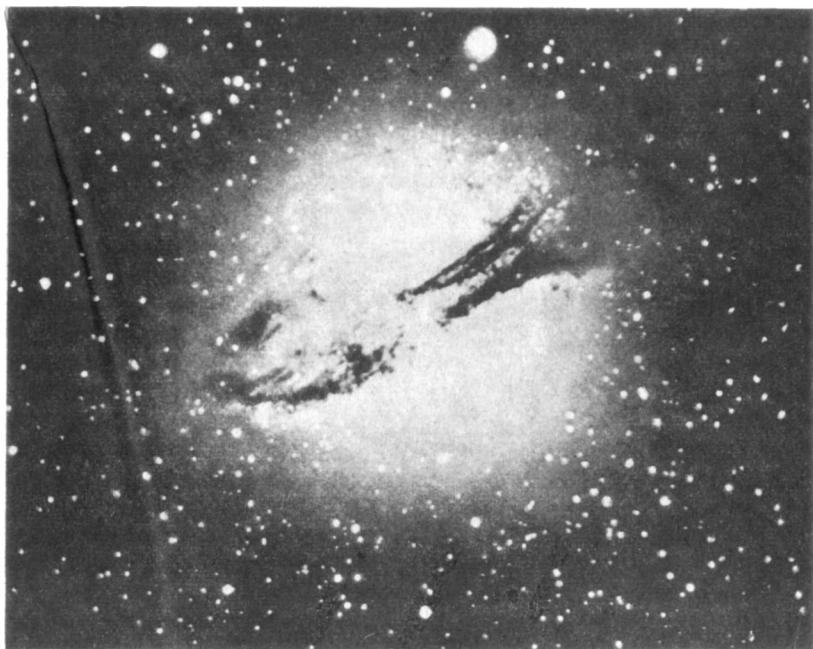


Рис. 46. Радиогалактика из созвездия Центавра.

получаются крошечными, невыразительными серыми пятнышками, трудно отличимыми от звезд, то читатель поймет, что разобраться в этом множестве миров нелегко. Тем более что радиотелескопы всегда указывают не на конкретную точку неба, а на довольно большой его участок, где сразу видны десятки галактик и звезд.

И все-таки астрономам удалось найти несколько галактик, обладающих исключительно мощным радиоизлучением.

Еще в 1946 году трое английских астрономов обнаружили в созвездии Лебедя очень мощный источник радиоизлучения. Так как прием велся на волне 4,7 м, можно было подозревать, что уловленные космические радиоволны имеют нетепловое происхождение.

Долгое время Лебедь А, как называли эту «радиозвезду», не удавалось отождествить с каким-нибудь конкретным космическим объектом. В том месте неба, откуда приходили радиоволны, виднелось несколько десятков самых обычных звезд. Только в 1951 году с помощью самого мощного в

мире 5-метрового рефлектора удалось запечатлеть на фото-пластинке нечто необычное — два почти слившихся овальных светящихся пятнышка, разделенных темной полосой. По спектру нашли, что эти две очень тесно расположенные галактики удалены от Земли на расстояние 300 миллионов световых лет. И все-таки из этой невообразимой дали они посылают радиоволны, сравнимые по своей воспринимаемой на Земле мощности с мощностью почти рядом с нами находящегося Солнца.

Американские астрономы Бааде и Минковский высказали гипотезу, что источником Лебедя А являются две столкнувшиеся галактики. Только такой грандиозной катастрофой можно, по их мнению, объяснить мощность наблюдаемого радиоизлучения.

Поясним, что столкновение галактик вовсе не выражается в соударениях составляющих их звезд. Расстояния между звездами в галактиках огромны, и поэтому столкновение отдельных звезд крайне маловероятно. Никакой массовой гибели миров при столкновении галактик не происходит.

Но в таких галактиках, как наша, между звездами есть непрерывная разреженная газовая среда. Когда, сталкиваясь, галактики проходят одна сквозь другую, наполняющие их газы в буквальном смысле соударяются между собой. При столкновении со скоростью около 1000 км/сек газы нагреваются до очень высокой температуры. В них возникают мощные вихри и быстрые движения раскаленных ионизированных газов, что приводит к значительному усилению межзвездных магнитных полей. Часть свободных электронов разгоняется в этих полях до околосветовых скоростей, и газовые облака обеих галактик становятся мощными источниками радиоволн.

Гипотеза американских ученых, несмотря на внешнюю привлекательность, вызывает серьезные возражения. Советские астрономы В. А. Амбарцумян, Б. А. Воронцов-Вельяминов и И. С. Шкловский подвергли ее серьезной критике.

Во-первых, далеко не очевидно, что Лебедь А состоит из двух галактик. Нередко встречаются галактики почти сферической формы, пересеченные посередине темной полосой космической пыли. С очень большого расстояния, когда подробности рассмотреть невозможно, такая галактика покажется двойной, так как темная полоса сольется с черным фоном неба. Не это ли мы наблюдаем в созвездии Лебедя?

Во-вторых, известны галактики, заведомо столкнувшиеся одна с другой, но они «молчат»: никаких радиосигналов о совершающейся катастрофе от них не поступает.

В-третьих, прямые спектральные исследования показыва-

ют, что оба светлых пятнышка Лебеда А или неподвижны относительно друг друга, или движутся со скоростью не больше 100—200 км/час, что совершенно недостаточно для образования в раскаленных столкнувшихся газовых облаках релятивистских электронов. Допустим, что в созвездии Лебеда наблюдают все же не одну, а две галактики. Тогда, зная расстояние до них и видимый блеск обеих галактик, нетрудно подсчитать, какое на самом деле количество света излучают эти звездные системы. Оказывается, что обе они — галактики-гиганты, намного превосходящие нашу галактику. Подобные галактики — большая редкость. Предположить, что столкнулись, да еще «в лоб», такие исключительные и редкие звездные системы, — это значит допустить невероятное.

Все факты говорят, что гипотеза Бааде и Минковского не соответствует действительности. Чем же тогда вызвано необыкновенно мощное радиоизлучение некоторых галактик?

В созвездии Девы есть «радиозвезда» — Дева А. Ее отождествляют с одиночной, но не совсем обычной галактикой. Как правило, спектр галактик напоминает сильно ослабленный солнечный спектр — непрерывную радужную полосу с темными поперечными линиями. Центральная часть галактики Дева А имеет спектр излучения (яркие разноцветные линии на черном фоне), что свидетельствует о наличии там газа. Удалось установить также, что газовые массы истекают из ядра галактики со скоростью около 300 км/сек.

На фотоснимках, сделанных астрономами, хорошо видна главная особенность галактики Дева А. Из ее ядра тянется какой-то загадочный выброс, несколько напоминающий разбившуюся на капли струю жидкости. Длина выброса огромна — около 15 тысяч световых лет. Характерно, что спектр выброса непрерывный, совсем такой же, как у аморфной части Крабовидной туманности. Значит, по-видимому, и загадочный выброс состоит из быстродвижущихся намагниченных газовых масс, богатых релятивистскими электронами.

По мнению В. А. Амбарцумяна, в галактике Дева А происходит процесс деления ее первоначального ядра на две части. Таинственный выброс — это второе ядро новой, зарождающейся галактики. Трудно пока сказать, какие силы заставляют делиться ядро галактики, но совершенно несомненно, что эти силы должны обладать исключительной мощностью.

Идеи В. А. Амбарцумяна, таким образом, прямо противоположны гипотезе Бааде и Минковского. Не сталкивающиеся, а, наоборот, разделяющиеся галактики — вот источники мощных радиоволн, приходящих к нам из глубин Вселенной.

К таким же выводам, независимо от В. А. Амбарцумяна,

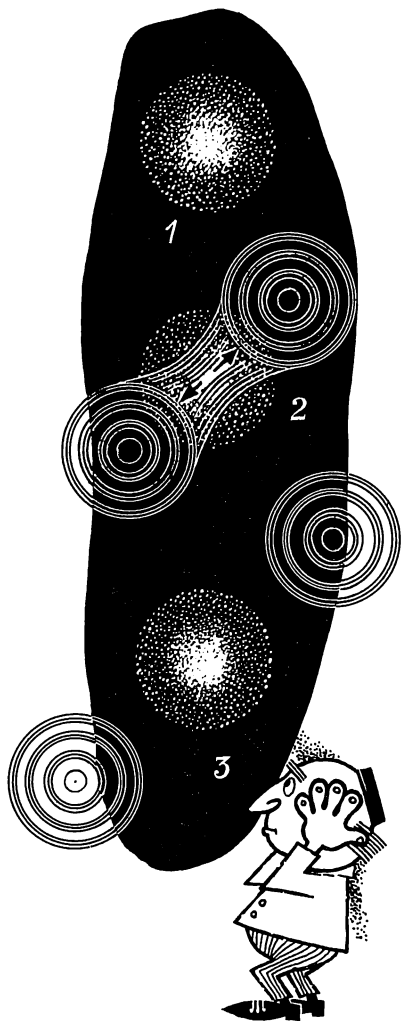


Рис. 47. Стадии деления ядер галактик. Этот процесс сопровождается мощным радиоизлучением.

пришел и И. С. Шкловский. Он указал, что и другие далекие источники радиоволн, как, например, Центавр А, Гидра А и Геркулес А, состоят из двух близких галактик, по-видимому переживающих стадию деления. Такова же, по его мнению, и природа источника Лебедь А.

В процессе деления из ядер галактик выбрасываются огромные намагниченные массы газов. Постепенно они обволакивают собой обе делящиеся галактики и даже распространяются далеко за их пределы. Именно поэтому радиоволны испускаются не только делящимися галактиками, но и веществом в их ближайших космических окрестностях.

В ядрах галактик, где звезды расположены особенно густо, сравнительно часто происходят вспышки сверхновых звезд. По современным представлениям, при каждой такой вспышке образуются тяжелые химические элементы и в окружающее пространство выбрасывается большое количество сверхбыстрых релятивистских электронов.

По всей вероятности, все галактики, в том числе и наша, на заре своей истории переживали стадии разделения ядра и в те времена обладали очень мощным радиоизлучением. Но потом разделившиеся галактики расходятся в разные стороны,

бурные процессы, порождающие радиоволны, постепенно затихают, и галактики становятся обычными, спокойно стареющими звездными системами.

Именно такую спокойную старость, а скорее — зрелость

переживает сейчас наша Галактика. Она в целом, конечно, излучает радиоволны — вспомните, что говорилось о радиоизлучении нашей Галактики, но все ее «радиосигналы», даже вместе взятые, в миллион раз менее мощны, чем те потоки видимого света, которые испускаются звездами Галактики. Таким же «спокойным», обычным радиоизлучением обладает и наша соседка — туманность Андромеды.

По предложению И. С. Шкловского, «радиогалактиками» стали называть не все галактики, а только те, которые обладают особым, исключительно мощным радиоизлучением. Все, что мы пока знаем о радиогалактиках, заставляет думать, что их радиосигналы повествуют о грандиозных процессах рождения миров, о своеобразном «размножении» галактик, которое совершалось не только в отдаленном прошлом, но, по видимому, происходит и в наше время.

КВАЗАРЫ И КВАЗИГАЛАКТИКИ

Внешность, как известно, бывает обманчива. Ну кто мог подумать, что эта слабенькая, почти неприметная звездочка 13-й звездной величины, теряющаяся в звездной россыпи ночного неба, окажется одним из самых удивительных объектов космоса! Да и другие четыре подобных звездообразных объекта, еще меньшей яркости, до 1963 года считались самыми обыкновенными звездами.

На них и до сих пор не обратили бы внимания, если бы из этих пяти точек небосвода не исходило необычно сильное космическое радиоизлучение. К 1963 году радиотелескопы стали достаточно «зоркими», их разрешающая способность достигла секунды дуги, и они совершенно определенно указывали именно на эти загадочные звездообразные объекты.

Поначалу этих источников насчитывалось всего пять.

В новейшем каталоге космических источников радиоизлучения они числились под обозначениями 3C48, 3C147, 3C196, 3C273 и 3C286. Все попытки измерить видимые размеры этих объектов сначала кончались крахом — они казались неуловимо малыми, практически точечными. Уж если говорить о радиозвездах, то в данном случае такое наименование казалось наиболее подходящим.

Но это не звезды. Если бы Солнце можно было удалить на расстояние ближайшей звезды, то его радиоизлучение ослабло бы в 100 миллиардов раз и стало бы просто неуловимым. Тем более неощутимо для современной радиотехники радиоизлучение всех других, еще более удаленных обычных

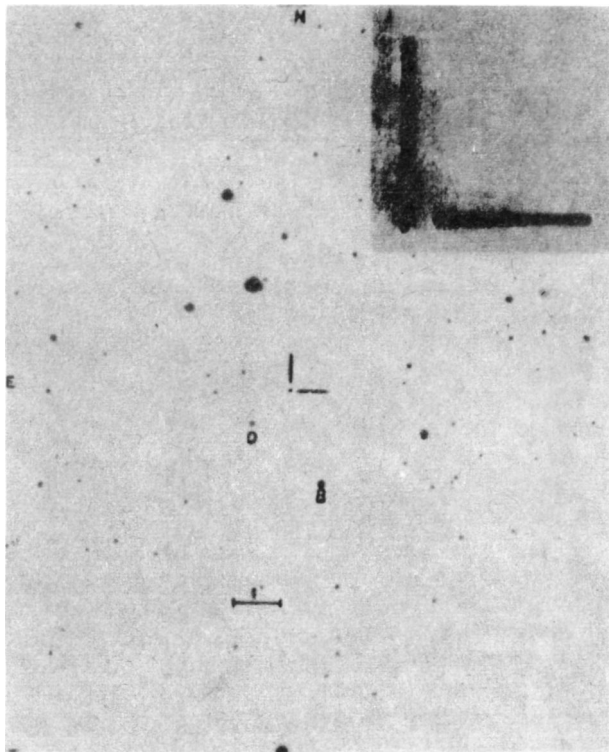


Рис. 48. Один из квазаров отмечен черточками. Многие из квазаров внешне сходны с обычными звездами.

звезд. Поэтому загадочные точечные источники радиоизлучения решили назвать квазизвездными радиоисточниками или, сокращенно, квазарами.

Первые пять квазаров достаточно ярки и в видимых лучах для того, чтобы сфотографировать их спектр. Но когда получили спектры квазаров, потребовалось почти два года, прежде чем этим спектрам удалось дать разумное, правдоподобное истолкование.

Внешне они совсем необычны. На сравнительно ярком фоне непрерывного спектра выделялись яркие эмиссионные линии. Значит, источник непрерывного спектра окружен газом. Но что это за газ — вот вопрос, над решением которого астрофизики трудились около двух лет. Линии были расположены так, что их никак не удавалось отождествить со спектром какого-нибудь известного химического элемента.

А разгадка получилась совсем неожиданной. Оказалось, что главные наиболее яркие линии принадлежат водороду — самому обильному элементу космоса. Но только эти линии необычно сильно оказались смещенными к красному концу спектра, и именно потому, что их наблюдали не на своем месте, они долгое время оставались неузнанными. После этого уже без особого труда и другие линии в спектре квазаров удалось отождествить с линиями ионизированного кислорода и магния — элементов, типичных для газовых туманностей.

Мысль исследователей работала дальше. Если в спектре квазаров красное смещение исключительно велико, то это может быть вызвано одной из двух причин: или квазары необычайно массивны и тогда (так получается по теории относительности) в их спектре все линии должны быть значительно смещены к красному концу, или квазары — внегалактические объекты и они, подобно галактикам, удаляются с огромной скоростью от Земли. Тогда красное смещение в их спектрах объясняется хорошо известным эффектом Доплера и вызвано оно огромной скоростью их удаления. Попробуем проанализировать обе эти возможности.

Допустим, что квазары — сверхмассивные или сверхплотные образования. Расчеты показывают, что спектр с очень сильным красным смещением может дать нейтронная или гиперонная звезда поперечником 10 км и плотностью 10^{15} г/см³. Но если в этом случае мы наблюдаем крошечную нейтронную звезду как сравнительно яркий объект 13-й звездной величины, то это могло бы быть лишь в том случае, если бы нейтронная звезда находилась не дальше чем на расстоянии 0,3 светового года от Солнца, то есть фактически внутри нашей Солнечной системы. Тогда при массе, близкой к солнечной, нейтронная звезда так сильно нарушила бы своим тяготением стройное движение планет, что эти нарушения смог бы заметить даже Кеплер! С другой стороны, как вы помните, толщина атмосферы нейтронной звезды ничтожно мала (несколько десятков метров!). Такая атмосфера никак не может дать заметных линий излучения, которые мы наблюдаем в спектре квазаров. Наконец, ни один из квазаров не обнаруживает заметного параллактического смещения при обращении Земли вокруг Солнца. Учитывая точность современных методов, можно сделать вывод, что квазары весьма далеки от Солнца — расстояние до них не меньше 60 тысяч световых лет. Тогда, зная, что светимость небесного тела тем больше, чем больше его масса, получаем, что масса квазаров (судя по их значительной видимой яркости) должна быть неправдоподобно большой.

До открытия квазаров считалось, что все звезды имеют сходные массы (при огромных различиях в размере). Объяснялось это тем, что каждая звезда должна быть устойчивым образованием: тяготение, заставляющее звезду стягиваться к ее центру, в нормальной, обычной звезде уравнивается газовым давлением (упругостью газа!) и световым излучением, как бы «распирающим» звезду изнутри.

При очень больших массах (в сотни раз больше солнечной) звезда становится неустойчивой. Сильно возросшее излучение разваливает такую сверхмассивную звезду на части с достаточно малой массой, чтобы быть устойчивыми. Вот почему считалось, что сверхмассивных звезд существовать не может.

Вывод этот нельзя, однако, считать всегда и безоговорочно верным. Несколько лет назад теоретические расчеты зарубежных астрофизиков показали, что при очень больших массах (например, в миллионы раз превосходящих солнечную) наступает качественно новое явление. На этот раз тяготение настолько мощно, что оно сдерживает разрывающее звезду излучение. Мало того, тяготение становится главной, практически единственной силой, определяющей судьбу сверхмассивной звезды. Под его действием звезда переживает так называемый гравитационный коллапс, сжатие. Она спадается внутрь себя наподобие рухнувшего картонного домика, приобретает фантастическую плотность в 10^{30} г/см³. Крупинка в тысячу раз меньше булавочной головки при такой плотности весила бы 10^{18} т, что не идет ни в какое сравнение даже с плотностью нейтронных звезд! При этом происходят явления совершенно необычайные, плохо укладываемые в наш отягощенный земным опытом сознанием.

К этим чудесам природы мы еще вернемся, а сейчас подчеркнем главное. Если бы квазары находились внутри нашей Галактики и были при этом объектами, переживающими гравитационный коллапс, тогда бы мы наблюдали явления, несравненно более грандиозные, чем те, которые фактически совершаются на земном небе.

Короче говоря, есть много убедительных доводов (мы привели лишь некоторые) в пользу того, что квазары находятся за пределами нашей Галактики и красное смещение в их спектре вызвано их стремительным удалением от Земли (у квазара ЗС9 скорость удаления равна примерно 80% скорости света). Но если это так (в чем теперь уж никто не сомневается), то отсюда неизбежно следуют головокружительные выводы.

Галактики подчиняются так называемому закону Хаббла:

чем дальше галактика от Земли, тем быстрее она от нее удаляется, причем красное смещение в спектре галактик пропорционально их расстоянию от Земли. Следовательно, по красному смещению в спектре галактик можно вычислить, как далеко данная звездная система от нашей планеты. Естественно считать, что процесс разбегания охватывает все объекты вне нашей Галактики, в том числе и квазары. Но тогда по красному смещению в спектрах квазаров можно вычислить их удаленность от Земли. Результаты получились поразительными.

До квазара 3C273 — 2 миллиарда световых лет. Квазар 3C48 еще вдвое дальше. И вообще большинство квазаров (а их с 1965 года открыто около 200) — самые далекие из доступных нам объектов космоса. И, несмотря на это, с чудовищных, не поддающихся наглядному представлению расстояний квазары светят столь ярко, что некоторые из них можно увидеть даже в небольшие телескопы! Это означает, что светимость квазаров необычайно велика, что каждый квазар излучает света примерно в сто раз больше, чем все полтора ста миллиардов звезд нашей Галактики вместе взятые!

Мы не знаем иных причин столь высокой светимости, как только необычайно большая масса вещества — ведь излучать

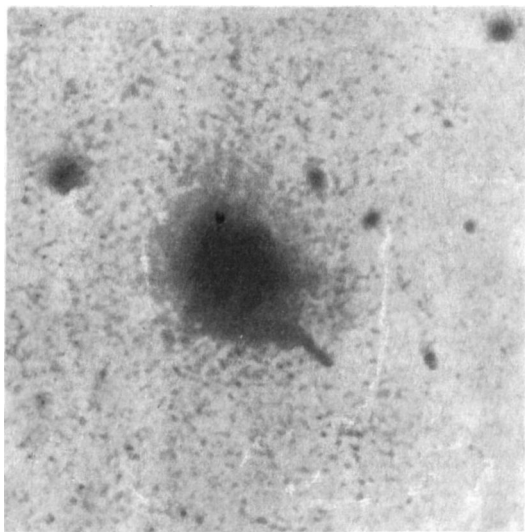


Рис. 49. Квазар 3C273.

электромагнитные волны в конечном счете может только вещество. Может быть, тогда квазары — обычные галактики, только гораздо более массивные, чем наша или туманность Андромеды? Но такое, казалось бы, естественное предположение отпадает по двум причинам.

После того как открыли квазары, многие из них удалось найти и на старых снимках, сделанных десятки лет назад. Изучая эти старые негативы, А. С. Шаров и Ю. Н. Ефремов заметили, что с 1896 года по 1963 год видимая яркость квазара 3C273 колебалась в пределах 0,7 звездной величины. К подобным выводам пришли и американские исследователи, причем в конце концов выяснилось, что блеск квазаров заметно меняется иногда на протяжении месяца или даже недели. Но тогда квазары никак не могут быть галактиками.

Любой процесс распространяется со скоростью, не большей скорости света. Следовательно, если в каком-нибудь районе галактики начался процесс, возбуждающий повышенное излучение, то он распространится на всю галактику только через тысячи и десятки тысяч лет — ведь таковы поперечники звездных систем в световых годах. Не могут же, в самом деле, все звезды галактики, как по команде, но без всякой физической связи одна с другой, увеличить или уменьшить свою яркость!

Отсюда вывод: поперечники квазаров не превосходят нескольких световых недель, что, конечно, несравнимо с размерами даже самых маленьких из карликовых галактик.

С другой стороны, как это ни удивительно, удалось выявить детали строения некоторых квазаров — такова мощь современной астрономической техники. Как уже говорилось, яркие эмиссионные линии в спектре квазаров показывают, что по крайней мере внешняя часть этих объектов представляет собой горячий газ. Этот газ движется во все стороны со скоростью 2000—3000 км/сек — только этим можно объяснить необычную ширину, размазанность ярких линий в спектре квазаров. Однако он продолжает окутывать «ядро» квазара, дающее непрерывный спектр. Значит, тяготение, удерживающее газ, очень велико и масса центральной части квазара никак не меньше сотни миллионов солнечных масс.

На некоторых снимках различимы туманности, окутывающие квазары или, точнее, являющиеся их частью. Возможно, что они имеют волокнистую структуру, подобно Крабовидной туманности, и можно сказать наверняка, что радиоизлучение квазаров вызвано сверхбыстрыми релятивистскими электронами как туманности, так и загадочного центрального тела квазара.

Замечательно, что и ультрафиолетовые лучи квазары излучают весьма мощно. Во всех диапазонах электромагнитного спектра (и видимом, и невидимых) квазары, без сомнения, — самые мощные излучатели космоса. Их необыкновенная расточительность показывает, что жизнь квазара (или стадия квазара в жизни какого-то небесного объекта) не может быть очень продолжительной — не хватит «пороху», точнее, вещества. Возможно, что квазары могут существовать не более нескольких миллионов лет — срок, в тысячи раз меньший возраста Земли.

Что же такое квазары, чем объяснить их удивительные свойства?

Четкого, окончательного ответа пока нет. Есть лишь несколько более или менее правдоподобных гипотез.

Если верить одной из них, то квазар — это серия одновременных взрывов огромного числа сверхновых звезд. В центральных областях галактик, где звезды расположены гораздо гуще, чем в окрестности Солнца, взрыв одной сверхновой звезды вызывает взрыв соседней, к ней близкой. Произойдет нечто вроде детонации или цепной реакции, и... образуется квазар!

Гипотеза эта малоубедительна. Ничем не доказано, возможна ли такая цепная реакция вообще. Наблюдаемое строение квазаров также плохо вяжется с таким предположением. Есть и другие причины, заставляющие искать иные объяснения.

Пусть образовалось (мы, правда, совсем не знаем, как это могло получиться) тело с массой в сотни миллионов или миллиарды солнечных масс. Оно должно немедленно сжаться (коллапсировать) с выделением чудовищно большого количества энергии — порядка 10^{60} эрг. Чем сильнее сжимается тело, тем заметнее проявляется тяготение на его поверхности. С некоторого момента оно начинает даже влиять на излучение, сильно смещая все линии к красному концу спектра. Наконец наступает момент, когда фотоны не могут вовсе покинуть тело, удерживаемое их своим тяготением. В этом случае вся энергия излучения полностью расходуется на преодоление тяготения, и для внешнего наблюдателя тело становится невидимым!

Тут уж «невидимость» полная, абсолютная. Когда тело излучает в основном невидимые гамма-лучи или радиоволны, его все-таки можно обнаружить, используя соответствующие приемники излучения. А вот у тела, переживающего гравитационный коллапс, наступает момент, когда оно теряет связь с внешним миром, как бы проваливается в какую-то

«гравитационную могилу» и становится ненаблюдаемым для любых приемников излучения.

Впрочем, смягчим ситуацию. Спавшееся в коллапсе тело все же наблюдаемо — ведь осталась его масса. Значит, не видимое ни в каких лучах тело все же будет проявлять себя действием своего тяготения.

Теория относительности доказывает, что при коллапсе могут твориться чудеса, но, конечно, чудеса реальные, а не воображаемые или мистические. Суть доказательств сложна, выводы же доступны для понимания, хотя они как будто и противоречат пресловутому «здравому смыслу».

Для воображаемого наблюдателя, помещенного на поверхность коллапсирующего тела, и для какого-либо внешнего наблюдателя время будет течь по-разному. Внешнему наблюдателю будет казаться, что сжатие до предельно возможной плотности продолжается как угодно долго, вечно (сначала оно идет очень быстро, а потом все медленнее и медленнее). Наблюдатель же на коллапсирующем теле по своим часам отметит, что тело сжалось до предельной плотности за несколько десятков минут. Любопытно, что, прежде чем внешний наблюдатель станет для внутреннего невидимым, перед этим последним в течение нескольких мгновений в необычайно ускоренном темпе пройдет все будущее внешнего наблюдателя!

Охотно соглашаюсь — все это трудно понимаемо, но тем не менее описанные «чудеса» непременно произойдут, лишь бы совершился коллапс.

Гипотеза о коллапсе имеет несомненные достоинства — только она способна объяснить чудовищное энерговыделение квазаров. Но и у нее есть слабые места. Мы не знаем, как, по каким причинам, в результате каких процессов могут возникать тела с массой в миллионы и миллиарды солнечных масс. Откуда могло взяться такое количество вещества, если во всей нашей Галактике общая масса межзвездного газа и пыли вряд ли в сотню миллионов раз превосходит массу Солнца. С другой стороны, резко сжимаясь, тело должно настолько ускорить свое вращение, что разрыв его на части представляется неизбежным. Стоит ли перечислять другие трудности, приводящие нас в недоумение? Нет, надо честно признаться, что мы еще плохо понимаем, что такое квазары.

Обратимся теперь к квазигалактикам, или, как их называют сокращенно, квазагам, — объектам, в некоторых отношениях похожим на загадочные квазары. У тех и у других есть ряд общих физических черт, да и истории открытия весьма сходны.

Несколько лет назад (в 1965 году) астрофизики обратили внимание на странные голубоватые звездочки с резко усиленной ультрафиолетовой частью спектра. Вскоре выяснилось, что это вовсе не звезды, а внегалактические тела, излучающие свет столь же расточительно, как и квазары. Как и у квазаров, размеры этих источников оказались небольшими, и теперь за ними утвердилось наименование квазизвездных галактик, или, сокращенно, квазагов.

Пожалуй, только в одном квазаги отличаются от квазаров: у них нет никакого сколько-нибудь заметного радиоизлучения. Возможно, что квазагов гораздо больше, чем квазаров. Ныне складывается впечатление, что каждый квазаг на непродолжительное время становится квазаром, то есть сверхмощным источником космического радиоизлучения.

Астрономы Бюраканской обсерватории во главе с академиком В. А. Амбарцумяном связывают квазары и квазаги с еще одним типом объектов — галактиками, отличающимися большой активностью их ядер.

Пример такой галактики — далекая звездная система, обозначенная в каталогах символом М82 (см. рис. 45. Галактика М82 — в нижнем левом углу). Снимок сделан в лучах водорода, и на нем четко выделяются волокна, как шупальца, вытянувшиеся из центрального ядра. Невольно даже по первому внешнему впечатлению можно прийти к выводу, что в этой галактике, удаленной от нас на 25 миллионов световых лет, совершаются какие-то необычайно бурные процессы.

Так оно и есть. Спектр галактики М82 совершенно недвусмысленно показывает, что вещество волокон растекается от ядра со скоростью около 1000 км/сек . По-видимому, где-то в ядре этой галактики несколько миллионов лет назад произошел мощнейший взрыв, породивший стремительное истечение водорода.

Волокнистостью своей структуры галактика М82 несколько напоминает Крабовидную туманность. А вот у галактики М87, вдвое более далекой, чем М82, наблюдается странный мощный выброс из ядра. Цвет его голубой, а длина составляет несколько десятков тысяч световых лет.

Галактика М87 — один из самых мощных радиоисточников на земном небе. А теперь сравните галактику М87 (она же Дева А) с фотоснимком квазара ЗС273. Похоже? Опять выброс, опять мощное радиоизлучение.

Стоит добавить, что бюраканский астрофизик Б. Маркрян недавно доказал, что у некоторых галактик ядра намного голубее, чем у остальных обычных звездных систем. Здесь напрашивается параллель с голубым выбросом галакти-

ки М87. Но ведь голубизна в таких случаях вызывается повышенным ультрафиолетовым излучением объекта, а это, в свою очередь, порождено какими-то весьма активными космическими процессами.

Пока что не вполне четко, как бы в тумане, вырисовывается следующая картина. В центральных областях галактик сосредоточены невидимые сверхплотные, начиненные колоссальными запасами энергии дозвездные тела. Их деление, их преобразование в наблюдаемый нами газ сопровождается мощнейшими взрывами, то есть резкими скачкообразными выделениями энергии. Если это так, то квазары, квазаги и галактики с весьма активными ядрами — это лишь звенья в цепи преобразования невидимого дозвездного вещества в видимые, знакомые нам космические объекты.

К сожалению, до сих пор в центре галактик мы не видим тел, которые с полным основанием можно было бы назвать дозвездными. Под ядром галактики понимают шарообразное сгущение звезд, окружающее ее геометрический центр. Но это, повторяем, тесное скопище обычных звезд, не более. В центре ряда галактик, в том числе и нашей, замечены ядрышки (или керны, как их иначе называют). Например, в туманности Андромеды ядрышко выглядит ослепительно ярким, а поперечник его невелик — около 40 световых лет. Вращается оно вокруг оси как твердое тело, завершая полный оборот за полмиллиона лет. Масса ядрышка примерно в 13 миллионов раз больше массы Солнца.

Ясно, что ни о какой сверхплотности ядрышек галактик говорить не приходится. Во всяком случае, это не дозвездные тела.

К сожалению, здесь следует поставить точку. Несмотря на стремительный прогресс астрофизики и радиоастрономии, мы еще далеки от полного понимания всего, что происходит в звездном мире.

Поиски невидимых дозвездных тел продолжают.

НА ПОРОГЕ НЕВЕДОМОГО

Как заметил один ученый, область знания подобна кругу с непрерывно возрастающим радиусом. То, что нам достоверно известно, заключено внутри круга. Все, что вне его, — область пока еще не изученного. Чем больше «круг познания», тем длиннее его окружность, то есть граница соприкосновения с неведомым, тем больше нерешенных проблем возникает перед учеными. Увеличение знаний влечет за со-

бой и увеличение загадок природы. И это вполне естественно — ведь Вселенная неисчерпаема во всех отношениях, и чем глубже мы ее познаем, тем больше ощущаем ее безграничность.

В области астрономии радиотелескопы являются самыми «дальнозоркими» инструментами. Они «видят» гораздо дальше оптических телескопов. Если допустить, что самые слабые из тех дискретных источников радиоволн, которые расположены за границами нашей Галактики, имеют ту же природу, что и Лебедь А, то можно подсчитать, что они удалены от Земли примерно на расстояние 25 миллиардов световых лет! Иначе говоря, радиотелескопы почти в 25 раз «дальновиднее» самых мощных из рефлекторов.

Таков радиус доступной ныне наблюдению части бесконечной Вселенной. Представить себе его наглядно вряд ли удастся.

В объеме мирового пространства, доступного изучению, заключены миллионы галактик. Их характерной и загадочной особенностью, имеющей, правда, редкие исключения, является знаменитое красное смещение.

В спектре почти всех галактик, как это ни удивительно, линии смещены к красному концу, причем тем сильнее, чем дальше от нас находится данная звездная система. Получается странная картина: вся система галактик расширяется в пространстве, как бы распухает. При этом, как нетрудно сообразить, взаимные расстояния всех галактик увеличиваются. Значит, с любой из них (в том числе и с нашей) будет казаться, что все остальные разбегаются в разные стороны именно от нее.

Красное смещение было впервые замечено еще в 1929 году. Оно настолько поразило ученых, что возникли даже подозрения, не вызвано ли красное смещение каким-нибудь неизвестным физическим эффектом, а не разбеганием галактик. Выдвигались даже гипотезы о старении фотонов — тех порций, которыми излучается световая энергия. Думали, что на фотоны при их полете в мировом пространстве действуют силы тяготения небесных тел, благодаря чему энергия фотона постепенно растрачивается. Чем больший путь пролетел фотон, тем больше энергии он потерял, тем более он «дряхл» и «стар». Но «старение» фотонов выражается в покраснении образуемых ими лучей света — отсюда и эффект красного смещения.

Расчеты опровергли, однако, эту интересную гипотезу. Она не смогла, как и другие подобные предположения, объяснить с количественной стороны известные факты.

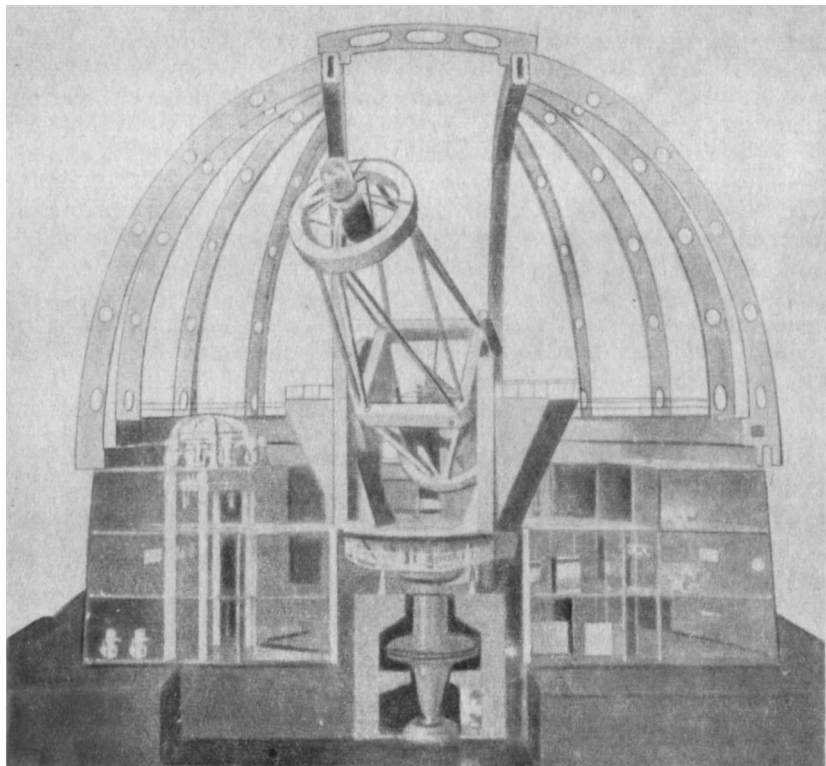


Рис. 50. Макет строящегося в СССР крупнейшего в мире 6-метрового телескопа-рефлектора. С его помощью астрономы проникнут в новые, пока недоступные глубины мироздания.

В 1954 году было сделано важное открытие. В двух ближайших к нам звездных системах, называемых Магеллановыми Облаками, с помощью радиотелескопов обнаружили нейтральный водород — тот самый, который «ведет радиопередачу» на волне 21 см. Позже излучение на той же волне было принято и от других, гораздо более далеких галактик.

Появилась интересная возможность проверить эффект красного смещения для радиоволн. «Радиогалактики», как уже говорилось, дают непрерывный радиоспектр, по которому скорость галактики не определишь. Те же галактики, которые содержат нейтральный водород (среди них есть и «радиогалактики», в частности Лебедь А), дают линейчатый радиоспектр, очень удобный для поставленной задачи.

В 1956 году впервые было измерено смещение «радиолинии» нейтрального водорода. Все получилось, как и для видимых лучей: линия «21 сантиметр» была смещена в сторону более длинных радиоволн, как раз на величину, которая соответствовала скорости галактики, определенной оптическим методом.

С тех пор отпали всякие сомнения в реальности разбегания галактик — ведь для радиоволн «эффект старения» физически недопустим, как и другие подобные эффекты.

Означает ли это, что расширяется вся Вселенная, весь бесконечный мир небесных тел, как это считают некоторые зарубежные ученые? Нет, такой вывод лишен всяких оснований. Распространять на всю бесконечную Вселенную свойства, известные только для ее весьма ограниченной части, — это значит допускать ничем не оправданный произвол.

Расширяется, и, может быть, лишь временно, только Метагалактика — та великая материальная система, в которой роль звезд играют отдельные галактики. Что делается за ее пределами, пока неизвестно. Но только пока. Пройдут десятилетия, а может быть, лишь годы, и астрономия проникнет в такие глубины мироздания, где будут, вероятно, обнаружены другие метагалактики, ведущие себя, возможно, иначе, чем наша. Предсказать конкретно, какие открытия сделают тогда ученые, было бы слишком смело. Ведь бесконечно многообразная природа уже не раз дарила ученым такие неожиданности, о которых они и не мечтали.

РЕЛИКТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Реликтом мы называем вещь, явление или организм, сохранившиеся до наших дней от прежних эпох. Широкой известностью пользуются реликтовые рощи на черноморском полуострове Пицунда. В морях иногда вылавливают целаканта — рыбу, представляющую собой живое наследие мезозойской эры. Можно говорить о реликтовых формах рельефа. Но что такое реликтовое излучение?

Разбегание галактик, расширение Метагалактики есть бесспорный, наблюдаемый факт. Но если с каждой секундой Метагалактика «распухает» все больше и больше, то это означает, что в прошлом ее размеры, по-видимому, были гораздо меньшими, чем теперь. Не исключено, конечно, что Метагалактика пульсирует и эпохи ее расширения сменяются эпохами сжатия до определенного предела. Но вероятнее, что происходит другой процесс — одностороннее и, по-видимому, ни-

чем не ограниченное расширение всей наблюдаемой системы галактик, всей доступной наблюдению части Вселенной.

Есть возможность проверить, какой из этих двух процессов происходит на самом деле. Если Метагалактика и в прошлом только расширялась, то, очевидно, процесс расширения когда-то имел начало и в тот начальный момент вещество, из которого сформировались позже галактики и звезды, должно было находиться в сверхплотном состоянии. Чудовищный взрыв, мощнее которого мы ничего не знаем (и причины его, увы, неизвестны), ознаменовал появление Вселенной или, осторожнее говоря, той ее части, которую мы называем Метагалактикой.

Физики-теоретики немало потрудились, чтобы возможно нагляднее представить себе это возникновение Мира. Строились разные схемы, высказывались предельно смелые гипотезы, но все они сходились в одном: до появления Метагалактики породившая ее материя находилась в необычном, с нашей точки зрения, состоянии — вещество было сверхплотно, температура исключительно велика, а излучение необыкновенно интенсивно.

Если все было на самом деле так, то от тех древних эпох, удаленных от нас примерно на 10 миллиардов лет, должны остаться какие-то реликты. По всей вероятности, ими будут «осколки» сверхплотного дозвездного вещества, донныне взрывообразно порождающего звезды и галактики. И, конечно, излучение, остатки того первичного «жара», который сопровождал возникновение Мира. Вот это древнее излучение и следовало бы назвать реликтовым.

Очевидно, если в природе на самом деле осуществляется второй вариант, то есть периодические пульсации Метагалактики, то все предыдущие рассуждения отпадают и никакого реликтового излучения вовсе не существует.

Еще в 40-х годах текущего века, когда астрономы изучали свечение межзвездных облаков циана, было замечено, что на это свечение всегда и повсюду влияет электромагнитное излучение с длиной волны около 3 мм. Тогда это открытие не было понято, и только теперь его значение оценено по заслугам.

В 1964—1965 годах американские радиоастрономы и инженеры с помощью специальной рупорной антенны и очень точной приемной аппаратуры обнаружили, что существует какой-то необъяснимый фон радиоизлучения, равномерно приходящий из всех точек неба. Вот эта равномерность и казалась загадочной — ведь она показывала, что источником радиоволн не могли быть какие-то отдельные космические те-

ла. Длина волны таинственного радиоизлучения равнялась 7,3 см просто потому, что именно на эту волну был настроен приемник. Позже выяснилось, что и в других диапазонах есть все тот же повсюду одинаковый непонятный фон.

Как доказали И. Д. Новиков и А. Г. Дорошкевич, в загадочном излучении никак не может быть заподозрено ни одно известное небесное тело, ни даже все такие тела, вместе взятые. Тогда осталось одно — признать, что поймано реликтовое излучение, порожденное в эпоху возникновения Метагалактики. Можно подсчитать, какой температуре соответствует реликтовое излучение.

Она получилась равной 3° абсолютной шкалы. Не возникни наша Метагалактика в чудовищном взрыве, мировое пространство было бы «холоднее», чем теперь, «плотность излучения» в нем была бы заметно меньше той, которую мы фактически наблюдаем. Реликтовое излучение наблюдается в радиодиапазоне, но оно есть и для других длин волн, только там оно несравненно слабее.

Теперь, после открытия реликтового радиоизлучения, гипотезы о возникновении Метагалактики из какого-то сверхмассивного и сверхплотного сгустка выглядят более правдоподобно. Правда, детали и подробности этого процесса продолжают потрясать наше воображение. Скажем, первоначальная плотность вещества, из которого возник наш Мир, была не меньше 10^{93} г/см³! Куда там плотность нейтронных звезд или квазаров! При таких сверхплотностях известные нам законы природы могут оказаться неприменимыми. Температура в первую секунду взрыва достигала 10 миллиардов градусов — нет средств сделать эту величину наглядной. Потом «накал» уменьшался, осколки сверхплотного сгустка превратились в галактики, продолжающие и ныне разлетаться в разные стороны. Где-то на исходе десятого миллиардолетия на крошечной планетке Земля появилось удивительное существо, способное осознать грандиозное становление Мира.

Взрывы, взрывы, взрывы... Как их много в космосе, как они часты и мощны! Рядовая солнечная вспышка равносильна одновременному взрыву тысяч водородных бомб. Но солнечные и звездные вспышки микроскопически малы по сравнению со взрывом сверхновой звезды. Но и это не предел мощи — квазары куда мощнее. Наконец, выясняется, что весь наблюдаемый нами Мир появился в результате какого-то сверхвзрыва, потрясшего Мироздание 10 миллиардов лет назад!

Так ли обстоят дела в других частях Вселенной, мы не знаем. Но все эти бесчисленные взрывы разной мощи и мас-

штаба заставляют нас сделать вывод, что доступная наблюдению часть космоса очень молода, она в буквальном смысле слова полна сил и энергии.

МИСТЕРИУМ — ЧТО ЭТО ТАКОЕ!

Наши представления о космосе были бы гораздо более скудными, если бы облака межзвездного водорода не посылали «радиосигналы» на волне 21 см и если бы радиоастрономы не сумели их расшифровать. Эти успехи вдохновили астрофизиков на поиски других «радиолиний», излучаемых межзвездным веществом.

Первые шаги в этом направлении были предприняты И. С. Шкловским еще в 1949 году. Длительные расчеты привели к выводу, что, кроме водорода, заметным для современных радиотелескопов радиоизлучением должны обладать молекулы гидроксила (ОН). Как известно, в земных условиях это химическое соединение кислорода и водорода крайне неустойчиво, и потому мы его нигде на Земле и не встречаем. Но в космическом пространстве, в условиях почти абсолютно-го вакуума, молекулы гидроксила могут не только существовать длительное время, но и заявлять о своем существовании достаточно интенсивным радиоизлучением. Однако, в отличие от водорода, молекулы гидроксила должны излучать не одну, а четыре радиолинии с очень близкими длинами волн: 18,00, 18,01, 18,57 и 17,24 см.

Предсказание это было сделано И. С. Шкловским в 1953 году, но лишь десять лет спустя американские радиоастрономы в спектре радиоисточника Кассиопея А нашли две слабые радиолинии из тех четырех, которые принадлежат молекулам ОН. Заметим, что это были линии поглощения, похожие на темные линии в оптических спектрах. И не мудрено: ведь Кассиопея А, как вы помните, — самый мощный радиоисточник на небе, и на его фоне радиоизлучение молекул ОН выглядит гораздо более слабым.

Позже нашли следы гидроксила и в радиоспектре источника Стрелец А. Интересно, что здесь радиолинии ОН оказались интенсивными и широкими. Это говорило о том, что в межзвездном пространстве есть быстродвижущиеся газовые облака, где концентрация молекул ОН весьма велика. Впрочем, в спектре других радиоисточников, таких, как Лебедь А и Крабовидная туманность, линий ОН и вовсе не обнаружили.

Все эти открытия, успехи и неудачи были бы, вероятно, интересны лишь для специалистов, если бы в феврале 1965 го-

да не произошло неожиданное — в спектре одного из радиоисточников обнаружили линию излучения гидроксила.

А дальнейшие исследования показали, что очень тонкие и очень интенсивные линии излучения ОН присутствуют в радиоспектрах примерно половины всех радиоисточников, отождествляемых с газовыми туманностями. Что же, однако, сенсационного в этих открытиях, всколыхнувших весь ученый мир?

Если радиолиния узка и притом необычайно интенсивна, это означает, что температура источника излучения исключительно высока. Между тем газовым туманностям, в спектре которых нашли очень «яркие» линии ОН, никак нельзя было приписать такую температуру. Ситуация казалась настолько загадочной, что некоторые радиоастрономы усомнились в принадлежности странных радиолиний молекулам ОН. И они решили, что излучает их особое межзвездное вещество, для которого даже придумали название «мистериум», то есть «таинственное».

Снова повторилось то, что когда-то было в астрофизике. Необъясненные до поры до времени линии в спектре планетарных туманностей приписали особому элементу небулию, а не поддавшиеся легкому отождествлению линии в спектре Солнца — коронию. И то, и другое оказалось временным заблуждением: линии небулия, как выяснилось, порождались кислородом и азотом, а короний оказался многократно ионизированным железом.

На этот раз загадка мистериума продержалась недолго. Уже спустя несколько месяцев после открытия таинственных, необычайно интенсивных радиолиний было доказано, что они могут принадлежать только молекулам ОН и ничему другому. Но броское наименование сохранилось, и до сих пор под «мистериумом» понимают всю совокупность очень странных, загадочных явлений, сопровождающих радиоизлучение молекул гидроксила.

Поразительные открытия следовали одно за другим. Оказалось, излучение гидроксила плоско-поляризовано, то есть колебания в радиоволне совершаются в одной плоскости. Ничего похожего в других радиоисточниках никогда не наблюдалось. Потом был открыт в излучении ОН и другой тип поляризации, еще более удивительный для естественных источников, — так называемая круговая поляризация. И то и другое явления обычно порождаются магнитными силами. Но магнитное поле, найденное в источниках мистериума, оказалось непомерно малым, и потому загадочная поляризация радиоизлучения, по-видимому, вызвана какими-то другими причинами.

Исследователей ждал и еще один сюрприз, требующий несколько более подробного пояснения. Каждая радиопериодическая линия, как и каждая вообще спектральная линия, имеет, как говорят, определенный профиль. Внутри самой линии интенсивность неодинакова — к краям она, как правило, уменьшается, а в середине бывает наибольшей. На обычных спектрограммах профиль линии можно узнать с помощью фотометра. Профили радиопериодических линий изучают, применяя высокочувствительные радиотелескопы.

Все эти профили легко сделать наглядными. По горизонтальной линии отложим длины волн, по вертикальной — интенсивность излучения (светового или в радиодиапазоне). Тогда форма графика и покажет «профиль» данной линии.

Обычные линии излучения в оптическом спектре газовых туманностей имеют постоянные профили, зависящие от свойств туманности. А вот профили радиопериодических линий ОН в некоторых туманностях вопреки ожиданиям оказались переменными: они заметно менялись за короткие сроки, иногда чуть больше месяца! Все это казалось совершенно необычайным: ведь газовые туманности имеют протяженность иногда в десятки и сотни световых лет, и если излучение радиопериодических линий ОН порождено туманностью, то каким образом изменения в состоянии туманности смогли охватить всю ее быстрее, чем свет — самое быстрое в природе? Чтобы усилить это недоумение, добавим, что в некоторых случаях отдельные детали профилей радиопериодических линий ОН изменялись день ото дня! Но отсюда следует, что источники мистериума имеют размеры, не превышающие световых суток. А это — $3 \cdot 10^{15}$ см, что всего в 200 раз превышает расстояние от Земли до Солнца и всего лишь вдвое превосходит поперечник нашей планетной системы!

Прямые наблюдения с помощью мощных радиоинтерферометров подтверждают эти выводы. Один из источников мистериума, связанный с туманностью W3 (таково ее условное обозначение), оказался очень небольшим — его видимый поперечник не превосходит полторы секунды дуги. Более того, выяснилось, что он состоит из нескольких отдельных конденсаций, видимые размеры которых составляют всего 0,005 секунды дуги. Судя по спектру, эти конденсации движутся относительно одна другой со скоростью, близкой к 70 км/сек. Учитывая расстояние до туманности W3 (5000 световых лет), нетрудно подсчитать, что истинные размеры загадочных конденсаций во всяком случае значительно меньше размеров нашей планетной системы.

Всю эту цепь, казалось, невероятных, но твердо установ-

ленных фактов можно объяснить только одним: в космосе действуют мазеры — квантовые генераторы электромагнитных колебаний!

О лазерах, этих удивительных квантовых генераторах, способных посылать очень узкие пучки света, в которых сосредоточено колоссальное количество энергии, за последние годы написано много увлекательных книг и статей. К этой литературе мы и отсылаем читателя, интересующегося техническими подробностями устройства современных лазеров.

Но мазер — это, в сущности, тот же лазер, тот же квантовый генератор, но действующий не в оптической части спектра, а в невидимом глазом радиодиапазоне.

Получается странная картина. То, что совсем недавно стало техническим открытием человека, оказывается, давным-давно существует в природе, да к тому же и в масштабах, несравнимых с земными. Ведь эти далекие космические мазеры, работающие на молекулах гидроксила, посылают радиоизлучение такой мощности, что мы его можем обнаружить с расстояний в сотни, тысячи световых лет! Напрашивается вопрос: а не сигналы ли далеких «братьев по разуму» воспринимают наши радиотелескопы?

Сейчас ищут различные естественные объяснения мистериуму. Так и должно быть. Прежде чем обратиться к гипотезе о внеземных цивилизациях, надо поискать более простые объяснения — ведь, в конце концов, разумом, неизмеримо более высоким, чем наш, можно объяснить что угодно!

Как считает И. С. Шкловский, мистериум, быть может, вызван излучением небольших, но достаточно плотных конденсаций межзвездного вещества, то есть, иначе говоря, зарождающимися звездами. Есть и другие гипотезы, объясняющие хотя бы отчасти загадки мистериума¹.

Но все это пока лишь догадки, прочно еще не подтвержденные.

ПУЛЬСАРЫ — НОВАЯ ЗАГАДКА КОСМОСА

Пульсары... Еще одно странное словечко, совсем недавно вошедшее в научный обиход. Но за ним, возможно, скрывается величайшее открытие века...

Летом 1967 года в Кембриджской радиоастрономической обсерватории вступил в строй новый высокочувствительный радиотелескоп. И вскоре этот инструмент зафиксировал ка-

¹ Подробнее см. статью И. С. Шкловского в журнале «Наука и жизнь» № 11 за 1967 год.

кие-то странные радиосигналы, исходящие из созвездия Лисички, близкого к яркой звезде Вега. Пожалуй, мы не оговорились, назвав принятое радиоизлучение сигналами. Оно было действительно очень странным, и его трудно объяснить какими-либо естественными процессами.

Радиоизлучение оказалось пульсирующим, потому его источник и был назван пульсаром. Каждый цикл длился фантастически малое время — всего 1,3373 сек! Не случайно период колебаний указан с точностью до четвертого знака после запятой. Он отличался удивительным постоянством, хотя иногда на короткий срок пульсар как будто прекращал свою работу. Говоря определеннее, выглядело все это так.

На протяжении каждого цикла в течение 0,2 сек длина волны принимаемого излучения увеличивалась от 3,70 до 3,75 м, затем наступала пауза, длящаяся почти 1,1 сек, а потом начинался новый цикл. А иногда бывало и так, что радиосигналы прекращались на несколько минут, чтобы затем снова возобновиться, причем строго с прежним периодом 1,3373 сек. И этот период оставался неизменным в течение полугода непрерывных наблюдений.

За шесть месяцев Земля успела перейти в противоположную точку своей орбиты. Иначе говоря, земные наблюдатели за этот срок переместились в пространстве на огромное расстояние в 300 миллионов километров. Если бы пульсар находился недалеко от Земли, полет нашей планеты вокруг Солнца непременно сказался бы в изменении видимого расположения пульсара на небе. Но и первый из открытых пульсаров, и остальные десятки пульсаров, найденные в других точках небосвода, оказались практически неподвижными. Учитывая точность, с которой измеряли их положение, можно сделать заключение, что пульсары находятся от нас на расстояниях не меньше нескольких световых лет.

Когда спустя семь месяцев после открытия пульсаров, в марте 1968 года, англичане наконец оповестили мир о существовании этих загадочных объектов, их наблюдения были продолжены и в других странах, в том числе и в Советском Союзе. Уловил радиосигналы пульсаров и крупнейший в мире 300-метровый радиотелескоп Аресибо. И тут снова подтвердили периодичность сигналов, причем отметили, что иногда длина принимаемых радиоволн в продолжение каждого цикла меняется в пять раз. Невольно создается впечатление, что из глубин космоса нам сигнализируют разумные существа, предусмотрительно меняющие длину волны так, чтобы она смогла быть наверняка пойманной приемниками, настроенными на разные волны! «Мысль о сигналах разумных существ

приходит первой, — писал академик Я. Б. Зельдович¹, — но уверенность в том, что мы имеем дело с цивилизацией, обладающей разумом, должна придти последней — только после того, как исчерпаны и отвергнуты другие объяснения».

В Солнечной системе известны явления, отдаленно напоминающие радиоизлучение пульсаров. Это так называемые пички — кратковременные всплески радиоизлучения Солнца, обнаруженные советским радиоастрономом В. В. Виткевичем более десяти лет назад. Длятся эти всплески около секунды, и при этом слегка увеличивается длина излучаемых радиоволн. В чем причина пичков, пока неясно. В отличие от радиоизлучения пульсаров, в появлении пичков и в самих этих всплесках не наблюдается какой-либо строгой периодичности. Наконец, энергия излучения пульсара во многие миллиарды раз превосходит энергию пичков. Так что скорее всего здесь имеется лишь весьма отдаленное и чисто внешнее сходство, вряд ли проясняющее природу пульсаров. И до открытия пульсаров и после радиотелескопы нередко принимали импульсное радиоизлучение, то есть кратковременные «всплески», серии радиоволн. Но то были излучения земных радиолокационных и телевизионных станций, случайно попавшие на приемную антенну радиотелескопа. Здесь же сходное по характеру радиоизлучение исходит явно из космоса, от очень далеких космических объектов.

Может быть, радиосигналы посылаются с планет других солнечных систем? В этом случае, однако, при обращении планеты вокруг далекой звезды источник радиоволн должен то приближаться к земному наблюдателю, то удаляться от него. А это сразу сказалось бы в смещении радиолиний по знакомому нам принципу Допплера, то есть, иначе говоря, в периодических изменениях частоты принимаемого радиоизлучения. Такого эффекта нет, или, лучше сказать осторожнее, он пока не обнаружен.

Выходит, что пульсары, по-видимому, представляют собой одиночные объекты, не связанные с планетами других солнечных систем.

С другой стороны, по некоторым признакам получается, что пульсары принадлежат нашей Галактике — в этом, в частности, они отличаются от квазаров.

Как и в случае мистериума, радиоизлучение пульсаров поляризовано, и в этом можно усмотреть сходство пульсаров, например, с земными телевизионными станциями — вспомните, как важно правильно ориентировать антенну телеviso-

¹ Газета «Известия» от 22 марта 1968 года.

ра для того, чтобы принимаемое ею поляризованное искусственное радиоизлучение дало на экране наилучший эффект.

В оптические телескопы на месте пульсаров пока не обнаружены какие-нибудь необычные объекты. Так, скажем, в том месте созвездия Лисички, где находится первый из открытых пульсаров, видна слабая звездочка 18-й звездной величины, в действительности излучающая в тысячи раз меньше света, чем Солнце. Средний блеск этой звезды остается неизменным, а ее спектр, сфотографированный на Крымской астрофизической обсерватории, указывает на температуру в 4—5 тысяч градусов. Возможно, что это самая обычная красноватая карликовая звездочка, лишь случайно проектирующаяся на то место неба, откуда поступают на Землю загадочные радиосигналы.

Предложено немало гипотез, объясняющих радиоизлучение пульсаров естественными причинами. Из них пока, пожалуй, наиболее правдоподобны те, которые считают пульсары пульсирующими белыми карликами или нейтронными звездами.

Расчеты показывают, что у белых карликовых звезд вполне могут возникнуть периодические радиальные колебания. Не исключено, что в отдельных случаях период пульсации белого карлика окажется очень малым, порядка долей секунды.

Радиальные колебания звезды создают особые ударные волны в звездной плазме, что, в свою очередь, порождает радиоизлучение.

Хотя средний блеск звезды, отождествляемой с самым мощным из пульсаров, как уже говорилось, остается неизменным, одновременно с этим наблюдаются очень малые и весьма кратковременные периодические изменения ее блеска. Говоря конкретнее, за 0,0025 сек блеск звезды ритмично меняется на 4%, причем один период изменения видимого блеска совпадает с двумя периодами радиоимпульса. Согласитесь, что это повышает вероятность рассматриваемой гипотезы — ведь пульсирующий белый карлик непременно должен периодически менять свой видимый блеск!

По мнению И. С. Шкловского, наблюдаемая в оптические телескопы звезда двойная, состоящая из обычной небольшой, сравнительно холодной субкарликовой звезды (ее мы и видим) и обращающегося вокруг нее на близком расстоянии пульсирующего белого карлика (его мы непосредственно не видим, но колебания его блеска сказываются на общем блеске всей системы). Есть и другие гипотезы.

Так ли все это в действительности, пока неизвестно. В 1968 году серпуховские радиоастрономы во главе с В. В. Виткевичем обнаружили еще одну важную деталь: интенсивность радиоизлучения пульсаров меняется весьма сложным образом. Иногда на фоне одиночных маленьких импульсов появляются серии значительно больших импульсов. Более того, всего за несколько месяцев уровень излучения некоторых пульсаров заметно возрос, то есть «передачи» из космоса стали значительно мощнее.

Но «передачи» ли это, или какие-то еще не понятые нами естественные космические явления? Пока, повторяем, вопрос не решен, исследования пульсаров интенсивно продолжают.

РАДИОЭХО



В АСТРОНОМИИ



о сих пор речь шла о пассивном изучении космических радиоволн. Они улавливаются радиотелескопами, и задача астронома заключается лишь в том, чтобы наилучшим образом расшифровать эти сигналы, получить с их помощью как можно больше сведений о небесных телах. При этом исследователь никак не вмешивается в ход изучаемого им явления — он лишь пассивно наблюдает.

Та отрасль радиоастрономии, с которой мы теперь кратко познакомимся, имеет иной, активный характер. Ее называют радиолокационной астрономией.

Слово «локация» означает определение местоположения какого-нибудь предмета. Если, например, для этого используется звук, то говорят о звуковой локации. Ею, как известно, широко пользуются современные мореплаватели.

Особое устройство, называемое эхолотом, посылает в направлении ко дну океана короткие, но мощные, неслышимые ультразвуки. Отразившись от дна, они возвращаются, и эхолот фиксирует время, затраченное звуком на путешествие до дна и обратно. Зная скорость распространения звука в воде, легко подсчитать глубину океана.

Подобным же образом можно измерить и глубину колодца или какого-нибудь ущелья. Громко крикнув, ждите затем, когда до вашего уха донесется эхо — отраженный звук. Учтя, что скорость звука в воздухе равна 337 м/сек , легко вычислить искомое расстояние. Любопытно, что звуковая локация встречается и в мире животных. Летучая мышь обладает специальным естественным локационным органом, который, испуская неслышимые звуки, помогает мыши ориентироваться в полете.

Когда говорят о «радиолокации», то под этим словом подразумевают определение местоположения предмета с помощью радиоволн.

Радиолокационная астрономия — молодая отрасль науки. Систематические радиолокационные наблюдения небесных тел

начались около 20 лет назад. И все же достигнутые успехи весьма значительны. Очень интересны и дальнейшие перспективы этого активного метода изучения небесных тел. «Активного» потому, что здесь человек сам направляет в космос созданные им искусственные радиоволны и, наблюдая их отражение, может затем по собственному желанию видоизменять эксперимент.

Образно говоря, в радиолокационной астрономии человек «дотрагивается» до небесных тел созданным им радиолучом, а не пассивно наблюдает их радиоизлучение.

КАК УСТРОЕН РАДИОЛОКАТОР

Вам теперь должен быть ясен основной принцип радиолокации. От мощного радиопередатчика посылается радиоволна. Со скоростью света ($300\,000\text{ км/сек}$) она достигает цели и, отразившись от нее, возвращается назад. Здесь ее надо поймать и исследовать, а для этого необходим приемник очень высокой чувствительности, так как отраженный радиосигнал (как и всякое эхо) гораздо слабее посылаемого.

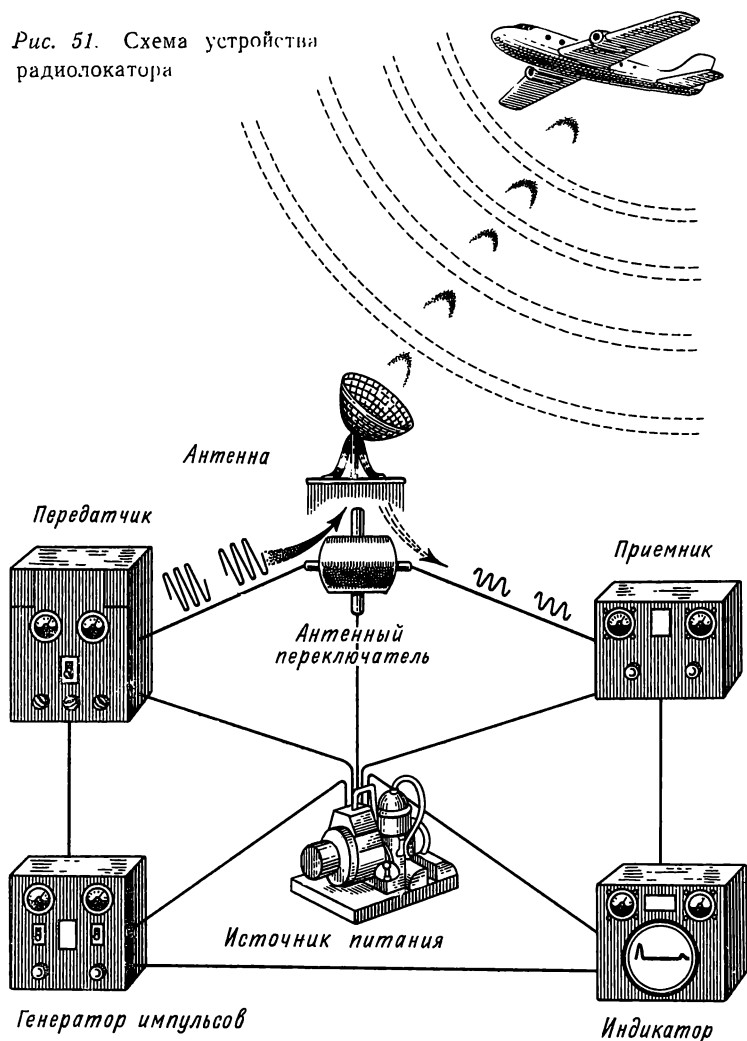
Такова принципиальная схема радиолокации. На практике же радиолокаторы — устройства, с помощью которых осуществляют радиолокацию, — довольно сложны.

От передатчика быстропеременные электрические токи поступают на передающую антенну радиолокатора. Она напоминает облучатель радиотелескопа. Ее также помещают в фокус металлического параболического зеркала, и делают это для того, чтобы радиоволны посылались радиолокаторами не во все стороны, а по определенному направлению параллельным пучком. Тем самым излучаемые радиолокатором радиоволны не «разбрасываются» во все стороны, а концентрируются на одной определенной цели.

В радиотелескопах параболическое зеркало улавливает космические радиоволны и направляет их на антенну. В радиолокаторе, наоборот, антенна, или, правильнее сказать, излучатель, излучает радиоволны, которые зеркало направляет на определенный предмет.

Между радиолокатором и обыкновенным прожектором есть несомненное сходство. Блестящее зеркало прожектора также имеет параболическую форму. Благодаря ему потоки света от электрической дуги (излучателя) преобразуются в направленный прожекторный луч. Допустим, что, «шаря» прожектором по небу, мы неожиданно осветили незнакомый самолет. Если бы можно было узнать, сколько времени за-

Рис. 51. Схема устройства
радиолокатора



тратил луч света, чтобы дойти до самолета, а затем вернуться к прожектору, можно было бы, очевидно, узнать расстояние до самолета. Но прожектор — это не «световой» локатор. В нем нет устройств, которые бы решали задачу. Прожектор предназначен только для освещения, а не для локации.

Другое дело радиолокатор. В его состав входит не только передатчик, но и приемник, снабженный дополнительным из-

мерительным устройством, называемым индикатором. Поэтому радиолокатор не только посылает радиоволны, но и принимает вернувшийся отраженный радиосигнал. В этот момент он действует как обычный радиотелескоп.

Если бы радиолокатор посылал радиоволны непрерывно, то он, естественно, не мог бы улавливать радиоэхо. Такое одновременное совмещение двух функций, конечно, невозможно. Поэтому радиолокатор работает иначе. Подражая человеку, который, крикнув, ждет, чтобы услышать эхо, радиолокатор сначала посылает радиосигнал, а затем, превращаясь в радиотелескоп, ловит его радиоэхо.

Радиосигналы, посылаемые радиолокатором, представляют собой кратковременные, но очень мощные импульсы радиоволн. Их вырабатывает специальное устройство, называемое генератором импульсов. В моменты действия передатчика радиолокатор по мощности сравним с мощностью крупнейших радиовещательных станций.

Как только импульс послан, антенный переключатель включает приемник. Теперь радиолокатор «слушает», стараясь уловить слабое радиоэхо. Но вот оно поймано, и снова антенный переключатель вводит в действие передатчик. Так повторяется много раз, причем паузы между импульсами по продолжительности в сотни раз длительнее импульсов. В общей сложности обычный радиолокатор в течение часа только несколько секунд посылает радиосигналы, а остальное время молчит, принимая радиоэхо.

Радиоволны столь же быстры, как и лучи света. Поэтому, посланные радиолокатором, они мгновенно достигают земных целей. Вот почему в современных радиолокаторах продолжительность радиоимпульсов невообразимо мала — миллионные доли секунды. Такими сверхкороткими, но зато очень мощными «очередями» и «стреляют» радиолокаторы.

Несмотря на исключительную кратковременность процессов, протекающих в радиолокаторе, его индикатор способен точно измерить промежутки времени в ничтожные доли секунды. На экране, несколько напоминающем экран телевизора, с помощью специальной шкалы наблюдатель непосредственно видит, чему равно расстояние до объекта наблюдения.

В современных радиолокаторах есть и другое сложное устройство, позволяющее на экране видеть объект наблюдения и окружающую его обстановку.

В устройстве радиолокаторов и радиотелескопов есть много сходного. Неудивительно поэтому, что многие из современных радиотелескопов, в том числе и крупнейший в мире

подвижный радиотелескоп обсерватории Джодрелл Бэнк, одновременно являются и радиолокаторами. Явление отражения радиоволн, то есть радиоэхо, было известно еще на заре радиотехники. Но только в годы второй мировой войны оно было использовано как одно из весьма действенных средств обороны: радиолокаторами были оснащены все воюющие страны.

Окончилась война, и мощные радиолокационные средства стали использовать не только для нужд обороны, но и для исследования небесных тел. Уже первые опыты показали, что радиоэхо способно значительно помочь астрономам в изучении космоса.

ЛУННОЕ ЭХО

Еще в 1928 году, когда большинство радиолюбителей пользовались примитивными детекторными приемниками, советские ученые Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси рассматривали вопрос о посылке радиосигнала на Луну и приеме на Земле радиоэха. Тогда это была только смелая мечта, далеко опережавшая действительность. Но такова характерная черта больших ученых — их мысль видит то, что становится реальностью лишь в будущем.

В годы второй мировой войны Л. И. Мандельштам и Н. Д. Папалекси снова вернулись к занимавшей их идее. Теперь настали другие времена. Радиолокация прочно вошла в практику военной жизни, и радиолокаторы уверенно нащупывали невидимые цели.

Советские ученые на основе новых данных подсчитали, какова должна быть мощность радиолокатора и другие его качества, чтобы с его помощью можно было осуществить радиолокацию Луны. Научная ценность такого эксперимента была вне сомнений. Ведь до сих пор, чтобы определить расстояние до Луны, приходилось наблюдать ее положение среди звезд одновременно из двух достаточно удаленных одна от другой обсерваторий. Радиолокация решила бы ту же задачу при наблюдениях из одного пункта. Учитывая быстрый прогресс радиотехники, можно было ожидать, что радиолокационные измерения астрономических расстояний дадут результаты, гораздо более точные, чем те, которые были получены в прошлом.

Трудности, однако, оказались огромными. Расчеты показали, что при прочих равных условиях мощность отраженного сигнала убывает обратно пропорционально четвертой степени расстояния до цели. Получалось, что лунный радиоло-

катор должен обладать примерно в тысячу раз большей чувствительностью, чем обычная радиолокационная станция береговой обороны, обнаруживавшая в те годы самолет неприятеля на расстоянии 200 км.

И все же проект казался довольно убедительным, и уверенность его авторов в успехе вскоре была оправдана фактами.

В начале 1946 года почти одновременно, но с различными установками венгерские и американские радиофизики осуществили радиолокацию Луны.

На Луну посылались мощные импульсы радиоволн длиной 2,7 м. Каждый импульс имел продолжительность 0,25 сек, причем пауза между импульсами составляла 4 сек. Антенна радиолокатора была еще весьма несовершенна: она могла поворачиваться лишь вокруг вертикальной оси. Поэтому исследования велись только при восходе или заходе Луны, когда последняя находилась вблизи горизонта.

Приемное устройство радиолокатора уверенно зафиксировало слабый отраженный сигнал, лунное радиоэхо.

Путь до Луны и обратно радиоволны совершили всего за 2,6 сек, что, впрочем, при их невообразимо большой скорости не должно вызывать удивления. Точность этого первого радиоизмерения из-за несовершенства аппаратуры была еще очень низка, но все же совпадение с известными ранее данными было весьма хорошее.

Позже радиолокация Луны была повторена на многих обсерваториях, и с каждым разом со все большей точностью и, конечно, с большей легкостью.

Пока такие наблюдения еще не дали ничего принципиально нового. Однако уже теперь отлично видны некоторые заманчивые перспективы этого метода. В будущем, например, удастся, вероятно, создать мощные радиолокаторы, дающие очень узко направленные «потоки» радиоволн. Таким радиолучом можно будет определять не только расстояние до Луны в целом, но и «прощупывать» отдельные детали ее поверхности, измерять высоту лунных гор и глубину лунных ущелий.

Если вокруг Луны есть разреженная газовая оболочка, то под воздействием солнечного излучения в ней должны постоянно образовываться ионы. Но тогда, если Луна окутана хотя бы и очень разреженной ионосферой, чувствительные радиолокаторы будущего непременно это обнаружат. Ведь слой ионизированных газов отражает радиоволны иначе, чем твердая поверхность Луны, и эта разница будет зафиксирована радиолокатором. Вполне возможно, что таким методом

удастся обнаружить лунную атмосферу даже в том случае, если она в миллиарды раз разреженнее земной.

Большие возможности радиолокации обнаружились при наблюдении так называемой либрации Луны. Под этим термином астрономы понимают своеобразные «покачивания» лунного шара, вызванные отчасти геометрическими причинами (условиями видимости), отчасти причинами физического характера. Благодаря либрации земной наблюдатель видит не половину, а около 60% лунного шара. Значит, либрация позволяет нам иногда «заглядывать» за край видимого лунного диска и наблюдать пограничные районы обратной стороны Луны.

При «покачивании», или либрации, Луны один ее край приближается к наблюдателю, а другой удаляется. Скорость этого движения очень мала — порядка 1 м/сек, что меньше даже скорости пешехода. Но радиолокатор способен, оказываясь, обнаружить и такие смещения.

Радиолокатор посылает на Луну волны определенной длины. Естественно, что и отраженный радиосигнал будет обладать той же длиной волны. Можно сказать, что радиоспектр отраженного сигнала представляет собой одну определенную «радиолинию».

Если бы Луна не «покачивалась» относительно земного наблюдателя, радиоспектры посланного и отраженного импульса были бы совершенно одинаковы. На самом же деле разница, хотя и небольшая, все же есть. Радиоволна, отразившись от того края Луны, который приближается к земному наблюдателю, по принципу Допплера будет иметь несколько большую частоту и, следовательно, меньшую длину, чем радиоволна, посланная на Луну. Для другого, удаляющегося края Луны должен наблюдаться противоположный эффект. В результате «радиолиния» в радиоспектре отраженного импульса будет более широкой, растянутой, чем «радиолиния» посланного импульса. По величине расширения можно вычислить скорость приближения или удаления краев Луны.

И вот такой, очень тонкий эффект радиолокаторы обнаружили.

Раньше требовались многолетние высокоточные оптические наблюдения Луны, чтобы затем после долгих вычислений получить величину либрации. Радиолокаторы решили эту задачу, так сказать, непосредственно и несравненно быстрее.

Радиолокационные наблюдения Луны несомненно дадут науке еще очень много.

В сообщении ТАСС о посылке 12 февраля 1961 года межпланетной автоматической станции к планете Венера говорилось, что одной из задач этого грандиозного эксперимента является «уточнение масштаба Солнечной системы».

О чем идет речь? Неужели мы до сих пор не знаем, на каком расстоянии от Солнца находятся планеты?

При каждом измерении пользуются некоторым эталоном — меркой, употребляемой как единица длины. Для измерений на земной поверхности таким основным эталоном длины служит метр. Для астрономических расстояний ни метр, ни даже километр не являются вполне подходящей единицей масштаба — слишком уж велики расстояния между небесными телами. Поэтому астрономы употребляют вместо метра гораздо более крупную единицу длины. Называется она «астрономической единицей» (сокращенно а.е.). По определению астрономическая единица равна среднему расстоянию от Земли до Солнца. Чтобы связать астрономические измерения длины с чисто земными мерками расстояний, астрономическую единицу в конечном счете сопоставляют с метром, то есть, проще говоря, выражают астрономическую единицу в метрах или километрах.

Во времена Иоганна Кеплера (XVII век) величину астрономической единицы еще не знали — она впервые была найдена только век спустя. Не были известны и расстояния от Солнца до других планет Солнечной системы. Тем не менее третий закон Кеплера гласит, что «квадраты времен обращения планет вокруг Солнца относятся между собой как кубы их средних расстояний до Солнца». Каким же образом, не зная расстояний от планет до Солнца, Кеплер мог открыть этот важный закон?

Весь секрет, оказывается, в том, что, не зная абсолютных (выраженных в километрах) расстояний от планет до Солнца, можно сравнительно просто из наблюдений вычислить их относительные расстояния, то есть узнать, во сколько раз одна планета дальше от Солнца, чем другая.

Посмотрите на рисунок 52. Допустим, что в некоторый момент Марс очутился в противостоянии. Земля оказалась между Солнцем и Марсом на прямой, соединяющей их. Момент противостояния какой-нибудь планеты определить очень легко. В этот момент планета «противостоит» Солнцу и, следовательно, находится в точке неба, противоположной Солнцу, а значит, наибольшей высоты над горизонтом она будет достигать ровно в местную полночь.

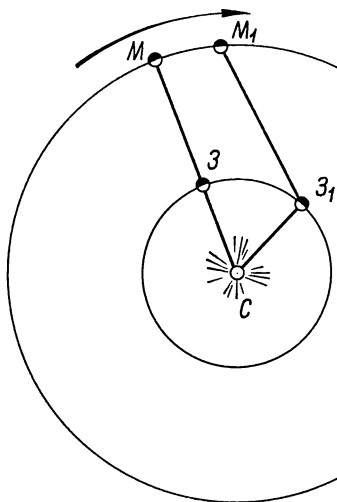
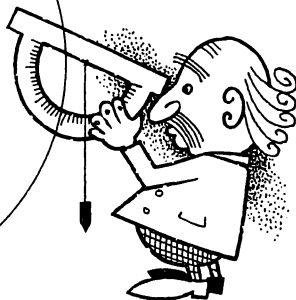


Рис. 52. Схема, поясняющая, как астрономы определяют относительные расстояния планет от Солнца.



Пройдет некоторое время, Марс перейдет в точку M_1 , а Земля — в точку Z_1 . Теперь Солнце, Земля и Марс образовали вершины треугольника CZ_1M_1 . В этом треугольнике можно найти все три угла. В самом деле, угол M_1Z_1C есть элонгация планеты, то есть угол между направлениями с Земли на Солнце и планету — его находят из наблюдений. Зная (опять же из наблюдений) периоды обращения Земли и Марса вокруг Солнца, можно вычислить дуги, которые они описали на своих орбитах после противостояния (дуги ZZ_1 и MM_1). Разность этих дуг дает угол M_1CZ_1 , и, следовательно, в рассматриваемом треугольнике теперь известны все три угла. Но тогда, по теореме синусов, доказываемой в школьном курсе тригонометрии, получаем:

$$\frac{M_1C}{Z_1C} = \frac{\sin \angle (M_1Z_1C)}{\sin \angle (Z_1M_1C)}$$

Таким образом можно узнать, во сколько раз Марс дальше отстоит от Солнца, чем Земля. Разумеется, подобные вычисления можно провести и для других планет.

Описанный способ был известен еще древним. Знал его и Кеплер. Так как в его третьем законе фигурируют отношения расстояний планет, то он и мог вместо абсолютных расстояний пользоваться расстояниями относительными.

Зная относительные расстояния от планет до Солнца, мож-

но сделать чертеж Солнечной системы. В нем не будет хватать только одного — масштаба. Если бы можно было указать, чему равно расстояние в километрах между любыми двумя телами на чертеже, то, очевидно, этим самым был бы введен масштаб чертежа и в единицах данного масштаба сразу можно было бы получить расстояние от всех планет до Солнца.

Попытки определить масштаб Солнечной системы начались еще в XVIII веке. Друг и ученик Исаака Ньютона, известный английский астроном Эдмунд Галлей, в 1716 году предложил определить величину астрономической единицы из наблюдений прохождения Венеры по диску Солнца. Наблюдая это редкое явление из двух пунктов Земли, можно измерить кажущееся (параллактическое) смещение Венеры на фоне Солнца, а отсюда вычислить расстояние до Венеры. Зная же удаленность Венеры от Солнца, можно, как уже говорилось, подсчитать расстояние от Солнца до других планет, в частности и до Земли.

Способ Галлея не давал желаемой точности, да и, кроме того, его можно было применять очень редко. Позже были предложены гораздо лучшие способы, сохраняющие, впрочем, прежний принцип, — измерялось расстояние до какой-нибудь планеты, а потом вычислялась величина астрономической единицы. При этом совершенно безразлично, какая используется планета, естественная или искусственная. Вот почему для уточнения масштаба Солнечной системы вполне годятся космические ракеты и та советская межпланетная автоматическая станция, которая превратилась в самостоятельный спутник Солнца — крошечную искусственную планету.

До последнего времени среднее расстояние от Земли до Солнца считалось равным 149 504 000 км. Эта величина измерена не абсолютно точно, а приближенно, с ошибкой в 17 000 км в ту или другую сторону.

Кое-кого из читателей может ужаснуть такая ошибка. Может быть, даже они усомнятся, стоит ли называть астрономию точной наукой. Такие упреки, конечно, несправедливы. Точность измерения характеризуется не абсолютной величиной ошибки (или, как говорят, абсолютной ошибкой), а ее отношением к измеряемому расстоянию.

С этой точки зрения, расстояние от Земли до Солнца измерено очень точно — относительная ошибка не превышает сотых долей процента.

Но постоянное стремление к повышению точности характерно для любой точной науки. Поэтому можно понять астрономов, когда они снова и снова уточняют масштаб Солнечной

системы и стремятся применить самые совершенные методы для измерения астрономической единицы. Вот тут-то и приходится на помощь радиоастрономия.

Совершенно очевидно, что радиолокация планет из-за их удаленности несравненно труднее радиолокации Луны. Не забудьте, что мощность радиоэха падает обратно пропорционально четвертой степени расстояния, то есть очень сильно. Но современная радиотехника преодолела и эти трудности.

В феврале 1958 года американскими учеными впервые проведена радиолокация ближайшей из планет — Венеры, а в сентября того же года поймано радиоэхо от Солнца.

Во время радиолокации Венера находилась в 43 миллионах километров от Земли. Значит, радиоволне требовалось примерно 5 мин для путешествия «туда и обратно». Сигналы подавались в течение 4 мин 30 сек, а следующие 5 мин «подслушивалось» радиоэхо. Длительная посылка радиосигналов была вызвана необходимостью — при коротком импульсе единичное отражение от Венеры не могло наблюдаться.

Даже с такими ухищрениями разобраться в принятых радиосигналах было нелегко. Крайне слабые, отраженные от Венеры радиоволны маскировались собственными шумами приемной аппаратуры. Только электронные вычислительные машины после почти годовой обработки наблюдений наконец доказали, что радиолокатор все-таки принял очень слабое радиоэхо от Венеры.

Радиоэхо от Венеры получилось в 10 миллионов раз более слабым, чем радиоэхо от Луны. Но радиолокаторы его все-таки поймали — таков прогресс радиотехники за каких-нибудь двенадцать лет.

Гораздо более уверенно и с лучшими результатами провели радиолокацию Венеры в апреле 1961 года советские ученые во главе с академиком В. А. Котельниковым. По их данным удалось уточнить величину астрономической единицы. Оказалось, что Солнце на 95 300 км дальше от Земли, чем считали до сих пор, и астрономическая единица равна 149 599 300 км.

Ошибка в этом измерении не превышала 2000 км в ту или другую сторону, что по отношению к измеренному расстоянию составляет всего лишь тысячные доли процента!

Солнце для радиолокатора гораздо более крупная цель, чем Венера. Но зато Солнце — само мощный источник космических радиоволн. Чтобы эти радиоволны не «заглушили» радиоэхо, отраженный от Солнца радиосигнал должен быть по крайней мере в сто раз сильнее сигнала, отраженного от Венеры.

Радиолокация Солнца впервые проводилась так. Передатчик включался и выключался с интервалами в 30 *сек* в продолжение 15 *мин*. Наблюдения начались в сентябре 1958 года и были продолжены весной 1959 года. При их обработке также пришлось прибегнуть к помощи электронных вычислительных машин. В хорошем согласии с предварительными расчетами получилось, что радиосигнал, посланный с Земли, отразился от тех слоев солнечной короны, которые находятся на расстоянии 1,7 радиуса Солнца от его поверхности.

В июне 1962 года советские астрономы впервые, почти за год до американцев, выполнили радиолокацию Меркурия, а в конце того же года с новой, гораздо более чувствительной аппаратурой была повторена радиолокация Венеры.

В сущности, на этот раз было сделано даже большее — впервые в мире осуществлена радиотелеграфная связь через Венеру! Специальным радиотелеграфным кодом на Венеру были переданы три самых дорогих для советских людей слова: Ленин, Мир, СССР. Спустя 270 *сек* радиоволны, проделав путь в 85 миллионов километров, донесли отраженный радиосигнал до Земли. Опыт удался блестяще.

В начале 1963 года у нас и в США успешно провели радиолокацию Марса, а в конце того же года — Юпитера. Накопился богатый радиолокационный материал, существенно уточнивший величину астрономической единицы. По данным советских радиоастрономов, расстояние от Земли до Солнца равно 149 598 000 *км* с ошибкой в 200 *км* в ту или другую сторону. По решению Международного астрономического съезда, состоявшегося в Гамбурге в 1964 году, астрономическая единица с той поры принимается равной 149,6 миллиона километров.

Конечно, и в будущем эта единица масштаба Солнечной системы будет уточняться. Но только теперь, на новом этапе в борьбе за точность, придется учитывать не только ошибки в определении астрономических величин, но и не вполне точное знание скорости света. Ныне принимается, что все электромагнитные волны распространяются со скоростью 299 792,5 *км/сек*. Ошибка в этой величине не превышает 0,4 *км/сек*. Но даже такая неточность, увы, приводит в определении астрономической единицы к ошибке весьма существенной — 200 *км* в ту или иную сторону.

Борьба за точность продолжается. Теперь она во многом диктуется нуждами космонавтики. Ошибки в определении астрономической единицы неизбежно влекут за собой ошибки в расчете траекторий космических аппаратов. Избежать их совершенно не удастся, но свести к минимуму можно.

Если планета вращается вокруг оси и при этом ось вращения не направлена прямо на наблюдателя, достаточно чувствительный радиолокатор способен это обнаружить. В самом деле, при вращении планеты один ее край будет приближаться к земному наблюдателю, а другой удаляться от него. Тогда отраженный от планеты радиосигнал неизбежно должен расширяться по сравнению с посланным. Точнее, радиолиния посланного сигнала будет несколько уже радиолинии сигнала отраженного — здесь действует знакомый нам принцип Допплера. Чем быстрее вращается планета, тем больше это расширение, размазывание отраженного радиосигнала. Значит, есть возможность из радионаблюдений планеты получить период ее осевого вращения.

В сущности, применяется тот же метод, что и при изучении либрации Луны. Стоит, пожалуй, подчеркнуть, что он одинаково хорош и для планет, лишенных атмосферы, и для планет, поверхности которых скрыты от наших глаз густым облачным покровом, — радиолуч пробивает облачный слой почти беспрепятственно.

Раньше во всех книгах по астрономии сообщалось, что планета Меркурий всегда обращена к Солнцу одной и той же стороной. Вечный день на одной стороне планеты, вечная ночь — на другой. С одной стороны ужасающая жара в 400° , с другой — леденящий холод мирового пространства, температура, близкая к абсолютному нулю.

Эти азбучные истины давно уже стали привычными, казались они незыблемыми и трудно было представить себе, что когда-нибудь их придется пересмотреть. Но, вопреки ожиданиям, радиоастрономия сказала здесь совсем новое слово.

Вслед за советскими астрономами радиолокацией Меркурия занялись американцы. В 1965 году в Пуэрто-Рико от Меркурия был получен расширенный отраженный радиосигнал. Высокая чувствительность радиоаппаратуры исключала ошибку. Пришлось признать сложившиеся взгляды ошибочными и констатировать, что Меркурий вращается вокруг оси с периодом в 59 суток!

Точности ради заметим, что это измерение сделано с ошибкой в пять суток в ту или другую сторону. Но факт установлен твердо: Меркурий хотя и очень медленно, но все-таки вращается вокруг оси, а значит, на Меркурии происходит смена дня и ночи.

Как ни замедленны эти перемены, они обязательно долж-

ны привести к сглаживанию температур дневного и ночного полушарий Меркурия. И в самом деле, недавно австралийские астрономы с помощью 63-метрового радиотелескопа неожиданно получили, что температура ночной стороны Меркурия равна 16°C . Видимо, тут сказывается не только вращение Меркурия, но и наличие вокруг планеты разреженной атмосферы из углекислого газа. Ее следы, как уже говорилось, заметны при изучении Меркурия в инфракрасных лучах. В связи с этим не следует забывать свидетельства таких опытных наблюдателей, как Антониади, который еще много десятилетий назад замечал, что темные детали на Меркурии иногда тускнели, маскируемые облаками пыли или туманом. Похоже на то, что, вопреки установившимся взглядам, Меркурий все же имеет атмосферу, а физические условия на его поверхности менее суровы, чем считалось до сих пор. Если это так, то перспективы высадки экспедиций на Меркурий уже не кажутся абсолютно нереальными.

Ось вращения Меркурия (об этом также сообщил радиолокатор) почти перпендикулярна к плоскости орбиты. Если бы Меркурий всегда, с самого начала образования нашей планетной системы, обращался вокруг Солнца по орбите, близкой к современной, приливы, вызываемые Солнцем в твердой коре Меркурия, непременно затормозили бы его вращение до синхронного, то есть такого, при котором он всегда оставался бы обращенным к Солнцу одной стороной. Но этого нет. Не исключено поэтому, что Меркурий движется по современной орбите не так давно, не более нескольких сот миллионов лет. Откуда он пришел в окрестности Солнца, правда, остается при таком предположении неясным.

Еще больше нового рассказал радиолокатор о Венере. Сколько было споров о продолжительности венерианских суток! Назывались самые различные периоды (от нескольких десятков часов до 225 дней) обращения Венеры вокруг Солнца. И только радиолокация сказала свое веское, окончательное слово.

Радиоволны, посылаемые радиолокаторами с Земли к Венере, отражаются от ее поверхности. Если бы радиоволны отражала ионосфера Венеры, характер отражения заметно бы менялся с изменением длины посылаемой радиоволны. На самом же деле для всех радиоволн он почти не меняется, и, следовательно, радиоволны сантиметрового диапазона достигают твердой поверхности планеты.

Возвращаются посланные радиосигналы заметно расширенными. Летом 1964 года советские радиоастрономы нашли, что Венера вращается вокруг оси с периодом в 230 суток

(ошибка в этом измерении достигала 25 суток в ту или иную сторону). Вращение это неожиданно оказалось обратным, то есть совершается оно в другую сторону, чем у Земли и остальных планет. Исполинский радиотелескоп в Пуэрто-Рико уточнил этот результат. Можно теперь считать надежно установленным, что Венера обладает обратным вращением с периодом около 247 земных суток. Любопытно, что ось ее вращения почти перпендикулярна к плоскости орбиты. Это означает, что, в отличие от Земли, на Венере нет смены времен года. Климат, погода, температура зависят там только от широты места и для каждого данного пункта Венеры должны быть достаточно однообразными.

Обратное вращение Венеры трудно объяснимо. Может быть, заставил так вращаться Венеру какой-нибудь крупный астероид, случайно врезавшийся в ее поверхность. Скорее же здесь действовали какие-то иные, пока неизвестные нам причины. Во всяком случае, обратное вращение Венеры — еще одно нарушение стройности нашей планетной системы.

Без труда пробив облачный слой Венеры, радиолуч нашел на ее поверхности много интересного. Как уже говорилось, радиоволны от разных пород отражаются по-разному — от одних лучше, от других хуже. В этом, как и во многом другом, он напоминает обычные, видимые глазом лучи света. Скажем, коэффициент отражения радиоволн от воды равен 100%, а от песка — всего 7%. Значит, по коэффициенту отражения, получаемому из радиолокационных наблюдений, можно сделать вывод, какова отражающая поверхность.

По советским и американским измерениям, коэффициент отражения поверхности Венеры составляет 10—15%. Менялась эта величина мало, а значит, поверхность Венеры достаточно однородна. По своей величине коэффициент отражения ближе всего соответствует сухим скальным породам (на силикатной основе). Во всяком случае, поверхность Венеры твердая, она вовсе не покрыта, как одно время думали, всепланетным океаном. Будущим космонавтам есть где совершить мягкую посадку.

Сравнение с Луной показало, что поверхность Венеры в среднем в два-три раза ровнее лунной поверхности. Но горы там все-таки есть. В самое последнее время радиолуч «прощупал» на поверхности Венеры обширные горные массивы протяженностью в сотни километров. Удалось это обнаружить потому, что радиолуч отражается от ровной поверхности несколько иначе, чем от гористой.

Выявилась и еще одна интересная деталь: на радиоволне длиной 3,6 см коэффициент отражения поверхности Венеры

в десять—двадцать раз меньше, чем на более длинных волнах. Объяснить это можно лишь тем, что поверхностный слой Венеры состоит из какого-то пористого материала.

И опять встает перед глазами мрачная картина. Облака и тучи пыли навсегда скрывают Солнце, кругом почти совсем темно, бушуют свирепые ураганы. И жара почти 300 градусов, и давление десятки атмосфер! Нет, нелегко придется космонавтам, высадившимся на Венеру!

О Марсе радиолокатор также сообщил немало интересного. По мере того как Марс, вращаясь вокруг оси, поворачивал к наблюдателю разные части своей поверхности, коэффициент отражения менялся в широких пределах. Значит, и состав, и характер поверхности Марса в различных его районах весьма неодинаков. Этот результат согласуется и с теми данными о Марсе, которые были переданы на Землю аппаратами «Маринеров»: Марс — гористая планета со сложным, разнообразным рельефом.

Судя по качествам отраженных радиосигналов, поверхность Марса напоминает сухой песчаный грунт или сухую почву. Такой мы представляем марсианскую поверхность и по оптическим наблюдениям.

Современные радиолокаторы дотянулись даже до Юпитера. В среднем коэффициент его отражения получился близким к 10%. Однако неожиданно выявилась область шириной не менее 1600 км, отражающая радиоволны гораздо лучше, чем остальная поверхность Юпитера. Любопытно, что она не совпадает со знаменитым Красным пятном и вообще ничем особенным в видимых лучах не отмечена. К длинному перечню загадок Юпитера прибавилась еще одна.

За короткий срок радиолокаторы раскрыли много нового в природе планет. Разве это не залог будущих, сегодня еще трудно предвидимых успехов радиолокационной астрономии?

МЕТЕОРЫ МОЖНО НАБЛЮДАТЬ ДНЕМ

Звездная ночь. В невообразимой дали тихо сияют тысячи солнц. И вдруг как будто одна из звезд сорвалась и полетела, оставляя на небе узенькую светящуюся полосу. Все явление обычно занимает доли секунды, реже несколько секунд.

Так выглядят «падающие звезды», или метеоры, — явления, хорошо знакомые каждому еще с детских лет. Читателю, конечно, известно, что «падающие звезды» не имеют никакого отношения к настоящим звездам — далеким солн-

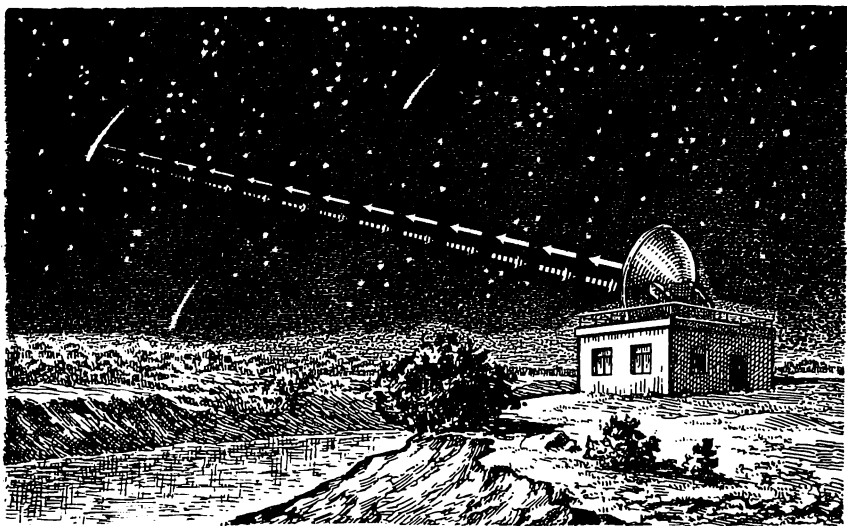


Рис. 53. Радиоволны отражаются от ионизированных метеорных следов.

цам. Когда по небу пролетает «падающая звезда», это означает, что в земную атмосферу из безвоздушного мирового пространства вторглась крохотная твердая частичка весом в граммы или даже доли грамма — метеорное тело.

Двигаясь со скоростью в десятки километров в секунду, метеорное тело сильно сжимает перед собой воздух. Он ярко светится, образуя так называемую воздушную подушку. Ее мы и видим как «падающую звезду».

Поединок твердой частички космического вещества и земной атмосферы всегда имеет один исход. Примерно на высоте 80—100 км метеорные тела полностью разрушаются, и остающаяся после них мельчайшая метеоритная пыль медленно оседает на Землю.

Метеоры наблюдаются уже много тысячелетий. В Ленинграде, в архиве Эрмитажа, хранится древний папирус, в котором сообщается о наблюдениях метеоров еще 4000 лет назад. Упоминание о метеорах можно встретить и в различных творениях древних поэтов.

Так как яркость метеоров сравнима с видимой яркостью звезд, то до последнего времени «падающие звезды» наблюдались только по ночам, на темном фоне звездного неба.

Радиоастрономия значительно расширила возможность изучения этих интересных явлений.

Когда метеорное тело стремительно прорезает земную атмосферу, то, сталкиваясь с молекулами и атомами воздуха, оно частично ионизирует их, то есть «вышибает» из них некоторые электроны. В результате за метеорным телом образуется длинный цилиндрический слой из ионизированных газов. Его размеры весьма внушительны — при поперечнике в несколько метров длина этой ионизированной «трубы» достигает десятков километров. Вследствие диффузии (рассеивания газов) «труба» постепенно расширяется и в конце концов как бы растворяется в атмосфере.

Мы уже отмечали, что слой ионизированных газов для радиоволн определенных длин является своеобразным зеркалом. Значит, с помощью радиолокатора можно получить радиоэхо и от ионизированных метеорных следов. Возможности радиотехники в этой области исключительно велики. Радиолокаторы могут быстро определить расстояние до метеора, скорость метеорного тела, его торможение в атмосфере и, наконец, положение радианта, то есть той точки неба, откуда, как нам кажется, вылетел метеор.

Опыты показали, что наилучшие результаты получаются, если радиолокация метеоров ведется на волнах длиной 5 м.

Современные радиолокаторы так чувствительны, что им

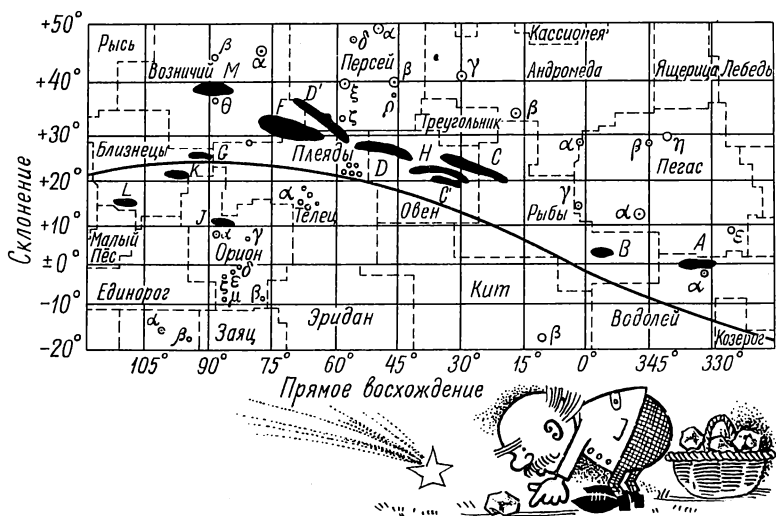


Рис. 54. Области неба (отмечены черным), откуда днем к нам летят метеоры.

доступны метеоры 16-й звездной величины, то есть почти в 10 тысяч раз менее яркие, чем самые слабые из звезд, доступных невооруженному глазу.

Систематические радиолокационные наблюдения метеоров начались с 1946 года. В ночь на 10 октября этого года Земля должна была пересечь орбиту кометы Джиокони — Циннера. Когда такое же событие происходило в 1933 году, на небе наблюдался интенсивный «звездный дождь». Сотни метеоров бороздили во всех направлениях звездное небо. В этот день земной шар встретился с метеорным потоком — огромным роем метеорных тел, своеобразных «осколков» кометного ядра, несущихся вокруг Солнца по орбите породившей их кометы. Астрономы договорились называть метеорные потоки по тому созвездию, из которого, как нам кажется, вылетают соответствующие им метеоры. Так как метеорный дождь, связанный с кометой Джиокони — Циннера, имеет радиант в созвездии Дракона, то порожденный ею метеорный поток получил название Драконида.

Ежегодно в конце первой декады октября Земля встречается с драконидами — метеорными телами потока Драконида. Но только иногда их звездные дожди бывают особенно обильными. Как раз такой случай и произошел в 1946 году, когда Земля пересекала наиболее плотную часть потока.

К огорчению астрономов, в ночь на 10 октября 1946 года ярко светила Луна, и ее сияние сильно мешало обычным наблюдениям. Но для радиолокаторов лунный свет не помеха. Советские ученые Б. Ю. Левин и П. О. Чечик в ту ночь зарегистрировали радиоэхо от сотен метеоров, большинство которых оставалось невидимым.

С тех пор радиолокационные наблюдения метеоров прочно вошли в практику работы многих обсерваторий.

Ни туман, ни дождь, ни ослепительное дневное сияние Солнца не могут помешать радиолокаторам «нащупывать» невидимые «падающие звезды». Они уверенно фиксируют как спорадические метеоры, то есть те метеоры, которые не связаны с каким-нибудь определенным метеорным потоком, так и невидимые «звездные дожди».

Без радиолокаторов мы никогда бы не знали, что в мае, в июле из тех участков неба, где в эти месяцы находится Солнце, ежегодно выпадают на Землю обильные «звездные дожди» — самые обильные из известных, включая даже Персеиды, ежегодно наблюдаемые августовскими ночами. Уже найдено около десятка дневных метеорных потоков, «падающие звезды» которых никогда не доступны нашим глазам. Для давно известных ночных потоков с помощью

радиолокаторов были уточнены сведения об орбите потока, численности входящих в него метеорных тел и другие данные.

Изучение метеоров имеет большое практическое значение. По торможению метеорного тела в атмосфере можно судить о плотности атмосферы на больших высотах, о распределении этой плотности по высоте. Спектр метеора приносит нам сведения о составе стратосферы, ее температуре. После распада метеорного тела образуется пылевой след — его размельченные остатки, нечто вроде пепла. Этот след гонится ветрами, что можно проследить при наблюдениях с Земли. Именно таким способом было неожиданно открыто, что в стратосфере, считавшейся прежде областью вечного покоя, на самом деле нередко бушуют ураганные ветры.

Совершенно очевидно, что все эти сведения очень ценны для высотной авиации, для расчетов траектории посылаемых в стратосферу ракет.

Небо служит Земле. И в этом нужном деле немалая роль принадлежит радиоастрономии.

С другой стороны, изучение твердого раздробленного вещества за пределами Земли, в межпланетном пространстве, исключительно важно для космонавтики. Крупные частицы весом в грамм и более могут пробить оболочку космического корабля, нарушить герметизацию кабины. Мелкие частицы и пыль медленно разрушают внешнее покрытие, портят оптические приборы.

«Метеорная опасность», очевидно, вероятнее там, где больше сосредоточено метеорного вещества. Как раз в этом и помогает разобраться радиоастрономия, регистрирующая невидимые глазом метеоры и новые, неизвестные метеорные потоки.

КОРПУСКУЛЯРНАЯ АСТРОНОМИЯ



Употребляя в житейском обиходе термин «излучение», мы обычно подразумеваем потоки электромагнитных волн — видимых или невидимых, неважно. Астрофизики, говоря об излучении, иногда имеют в виду нечто иное — потоки мельчайших элементарных частиц вещества. Так же поступают и физики, называя альфа-излучением потоки альфа-частиц, то есть ядер атомов гелия, а бета-излучением — поток электронов. Потоки из элементарных частиц независимо от состава этих частиц и их происхождения будем в дальнейшем называть корпускулярным излучением. Тогда становится понятным и заголовок этого раздела. Очевидно, содержанием корпускулярной астрономии будут наши сведения о корпускулярных космических излучениях.

В космосе есть немало тел, выбрасывающих в межзвездное пространство электроны, протоны, ядра атомов более тяжелых элементов. Все эти корпускулы наполняют межзвездное и, по-видимому, даже межгалактическое пространство. Они движутся со скоростями, близкими к скорости света, и потому каждая из таких корпускул обладает сравнительно очень большой кинетической энергией. Они в огромном количестве и в самых различных направлениях бороздят космическое пространство, и их совокупность принято называть космическими лучами.

Часть космических лучей порождается Солнцем — это корпускулы, выброшенные с его поверхности в межпланетное пространство. Корпускулярное излучение Солнца — одно из очень важных свойств его природы, и вполне понятен интерес астрофизиков к этому явлению.

К корпускулам следует отнести и неуловимое нейтрино — элементарную электрически нейтральную частицу исчезающе малой массы. Потоки нейтрино зарождаются в недрах Солнца и звезд, и, если бы нам удалось поймать эти нейтрино и по их свойствам разгадать, что творится в звездных недрах, это имело бы огромное научное значение. Однако не только

такая задача стимулирует зарождение нейтринной астрономии. Есть и другие, не менее интересные.

Впрочем, обо всем этом расскажем по порядку.

ЛУЧИ ИЗ ЧАСТИЦ

Около полувека назад физики пришли к заключению, что на Землю из космоса непрерывно поступают какие-то очень энергичные частицы, легко пробивающие даже толстые слои свинца. Глаз не различал эти невидимые «космические» лучи, но счетчики Гейгера — Мюллера и другие приборы регистрировали их совершенно определенно.

Позже выяснилось, что частицы, поступающие из космоса на границу земной атмосферы, и частицы, регистрируемые у поверхности Земли, не одни и те же. Из космоса вторгались в основном энергичные, быстрые протоны. Взаимодействуя с частицами воздуха, они порождали другие частицы, в частности — мезоны.

Космические лучи за пределами атмосферы называли первичными, а те космические лучи, которые регистрировались на поверхности Земли, — вторичными. Кстати сказать, эти вторичные лучи обладают огромной пробивной способностью, и от них не скроешься даже в метро — они проникают в толщу земли на глубину примерно 200 м!

Долгое время космические лучи интересовали только физиков. Так продолжалось до тех пор, пока не появились мощные ускорители, в которых элементарные частицы разгонялись до «космических», точнее — околосветовых скоростей. Нужда в природной, естественной лаборатории ослабла, и одно время казалось, что изучение космических лучей в познании космоса существенно помочь не может.

Но это было лишь временное заблуждение. За последние годы возникло новое направление, которое можно назвать «астрофизикой космических лучей». Оказалось, что космические лучи — очень важная составная часть космоса. Без изучения этих невидимых «лучей из частиц» нельзя понять многое из того, что происходит в космосе.

Оставим в покое вторичные космические лучи. Нас будут интересовать космические лучи, так сказать, в чистом виде, то есть те, которые приходят на границу атмосферы. С помощью ракет и спутников первичные космические лучи теперь стали доступны непосредственному изучению.

В первичных космических лучах (а только о них и пойдет далее речь) в основном встречаются протоны. Некото-

рые из них обладают фантастически большой энергией — 10^{20} электроновольт (эв), то есть они в миллиарды раз энергичнее самых быстрых и массивных частиц, разогнанных в современных ускорителях. Есть в космических лучах и альфа-частицы, правда в количестве гораздо меньшем, чем протоны.

И то, и другое, в сущности, неудивительно. Давно известно, что наблюдаемая нами часть космоса в основном состоит из водорода и гелия. Если космические лучи излучаются звездами, то, казалось бы, именно такой состав и должен у них быть. Однако дальнейшее изучение космических лучей показало, что в них присутствуют ядра и более тяжелых элементов. Необычно много оказалось ядер лития, бериллия и бора, примерно в сто тысяч раз больше, чем в среднем они встречаются в космосе. Впрочем, скоро нашлось объяснение.

Межзвездное пространство не пусто. Оно заполнено тончайшей, чрезвычайно разреженной газовой средой, газовыми и пылевыми туманностями. Когда тяжелые ядра пробиваются к Земле сквозь эти преграды, они дробятся на ядра-осколки. Процесс этот идет постоянно, достаточно интенсивно, а потому у тяжелых ядер мало шансов добраться до Земли в целости. Этим и объясняется, почему они так редки в космических лучах и почему так много их осколков — ядер лития, бериллия и бора.

В состав космических лучей входят и электроны. Вот это обстоятельство как раз и позволяет наблюдать космические лучи не только вблизи Земли, но и в глубинах космоса. Поясним это утверждение.

Всюду в нашей Галактике встречаются магнитные поля. Они очень слабые, в сотни тысяч раз слабее магнитного поля Земли. Но это не мешает им влиять, и притом очень существенно, на полет тех частиц, которые образуют космические лучи. Любая электрически заряженная элементарная частица не может двигаться прямолинейно в магнитном поле. Она непременно будет вращаться вокруг определенной силовой линии или по окружности, или (что бывает несравненно чаще) по спирали. Такая судьба ожидает и протоны, и ядра атомов других элементов, и, конечно, электроны.

Магнитные поля в Галактике сложны, запутанны. Поэтому необычайно извилисты и причудливы траектории частиц космических лучей. В некоторой степени их движение напоминает беспорядочную толчею молекул. Проходят огромные сроки (тысячи и миллионы лет), прежде чем частица, выброшенная звездой или другим космическим телом, доберется

до Земли. И оттого, что путь частицы очень сложен, никак не узнаешь, откуда она пришла и где возникла. Со всех сторон, буквально отовсюду, и практически с одинаковой интенсивностью поступают космические лучи на Землю — в этом и заключается так называемая изотропия космических лучей.

Трудно даже представить себе, что получилось бы, если бы причудливо искривлялись и смешивались световые лучи, испускаемые космическими телами. Создалась бы такая неразбериха, в которой ничего понять было бы нельзя. Не столь ли безнадежно и бесперспективно изучение и космических лучей? Вот тут-то на помощь и приходят электроны.

Как и другие электрически заряженные частицы, электроны будут «накручиваться» на силовые линии магнитных межзвездных полей. Кстати сказать, витки, описываемые электронами (и другими частицами), совсем не маленькие — радиусы этих витков сравнимы с радиусами земной орбиты.

Перемещаясь в пространстве по спиралеобразным кривым, электроны, естественно, движутся ускоренно. Но очень быстрые, ускоренно движущиеся электроны, как уже не раз говорилось, излучают энергию в форме электромагнитных волн. Значит, электроны космических лучей излучают радиоволны. А если они очень энергичны, то возникает излучение, доступное глазу, и даже иногда самое коротковолновое излучение. Вот здесь и проложен ныне мост между астрофизикой космических лучей и радиоастрономией. Вблизи Земли мы изучаем космические лучи с помощью различных счетчиков и других приборов. Вдали от Земли, практически на любом удалении, космические лучи благодаря входящим в них электронам заявят о своем существовании радиоизлучением (а иногда и другими типами электромагнитных волн).

Для глаза Галактика выглядела бы сплюсненной спиралеобразной звездной системой, в центре которой выделяется плотное скопище — звездное ядро. В радиолучах Галактика шарообразна. Плоский диск с центральным сгущением окутан гало — огромным, чрезвычайно разреженным сферическим газовым облаком, своеобразной короной Галактики. Но вот что особенно важно — гало порождает примерно 90% всего общего радиоизлучения Галактики, поступающего к нам почти в одинаковом количестве из всех точек неба, то есть, как говорят, изотропно. Не мудрено поэтому, что в радиолучах и наша Галактика, и ряд других похожих на нее звездных систем выглядят шарообразными.

Напрашивается вывод: космические лучи — одна из важных составных частей космоса. Ведь именно они наполняют

гало, именно они создают изотропное радиоизлучение Галактики. Но где зарождаются космические лучи? Какие небесные тела могут считаться их основными источниками?

Ни Солнце, ни другие обычные, похожие на него звезды для этого, по-видимому, не годятся. Их корпускулярное излучение слишком мало, чтобы им можно было объяснить наблюдаемые явления. Самые главные источники космических лучей — это, по-видимому, сверхновые звезды.

При взрывах сверхновых звезд выбрасываются в пространство не только газы, но и очень быстрые, релятивистские электроны (вспомните Крабовидную туманность). Не вполне пока ясно, как именно ускоряются при взрывах элементарные частицы, но сам факт порождения космических лучей сверхновыми звездами уже не вызывает сомнений. Не исключено, что десятки миллионов лет назад недалеко от Солнца вспыхнула сверхновая звезда. На Землю обрушился мощный поток космических лучей. Он разрушительно повлиял на наследственный аппарат клеток ящеров, что привело к их загадочно быстрому вымиранию. Такова смелая гипотеза, высказанная недавно И. С. Шкловским и В. И. Красовским.

Но не только сверхновыми звездами создаются космические лучи. Немалая роль в этом принадлежит и обычным новым звездам. Их взрывы слабее, чем у сверхновых, но зато новых звезд больше, вспыхивают они чаще. Вообще всюду в космосе, где происходят мощнейшие взрывы, будоражащие плазму, непременно зарождаются космические лучи. И, появившись на свет, они тотчас же сообщают об этом радиосигналами, точнее — особым, нетепловым радиоизлучением. Значит, и квазары, и активные ядра галактик также должны проявить себя как щедрые поставщики космических лучей. А радиотелескопы позволяют изучать невидимые космические лучи буквально повсюду, во всех уголках доступной нам части Вселенной.

ВЕСТНИКИ СОЛНЦА

Как уже не раз упоминалось, Солнце порождает свои солнечные космические лучи. Они менее энергичны, чем те, которые приходят к нам из глубин космоса, но состав у них, в сущности, такой же — протоны, ядра атомов других элементов (главным образом гелия) и вездесущие электроны.

Казалось бы, поскольку космические лучи возникают при взрывах, Солнце должно испускать их от случая к случаю, то есть только тогда, когда на его поверхности или в атмосфере происходят мощные взрывы. Отчасти это верно. Дей-

ствительно, когда на Солнце возникает вспышка, именно из этого района Солнца иногда очень узким и энергичным пучком выстреливается поток корпускул. Двигаясь со скоростью 1000—2000 км/сек, облако корпускул, или, как говорят астрофизики, корпускулярный поток, долетает до Земли и возмущает спокойное течение земной жизни. Вспыхивают яркие полярные сияния, бешено колеблется стрелка компаса, сильные помехи мешают радиосвязи на коротких волнах, некоторые люди, страдающие сердечно-сосудистыми или нервными болезнями, чувствуют ухудшение здоровья. Это, конечно, далеко не полный перечень тех влияний, которые оказывают невидимые корпускулярные потоки на Землю и ее органический мир. Сейчас, однако, важно подчеркнуть главное: вторжение корпускулярного потока в окрестности Земли — явление спорадическое, происходящее от случая к случаю. Когда Солнце активно, крошечные посланцы Солнца встречаются с Землей чаще, в иные периоды — реже.

Но есть у Солнца корпускулярное излучение другого рода, непрерывное, спокойное, почти одинаковое во всех точках солнечной поверхности. Со всей поверхности Солнца непрерывно (опять подчеркнем это) извергаются во все стороны корпускулы. Они уступают в энергии тем, которые порождаются солнечными вспышками. Их скорости никогда не превосходят 300—400 км/сек. Но зато это постоянное и спокойное корпускулярное излучение Солнца похоже на его обычное, видимое электромагнитное излучение. Называют его «солнечным ветром», что, пожалуй, и образно, и удачно — во всех точках околосолнечного пространства приборы могут регистрировать некий напор солнечных корпускул, разлетающихся от Солнца.

Как корпускулярные потоки, так и солнечный ветер переносят с собой слабые магнитные поля. Разберемся, почему это происходит.

Помните, что бывает, когда проводник перемещается в магнитном поле? В нем, в проводнике, возникает электрический ток. На этом принципе, как известно, действует любая динамо-машина. Есть и другой, также знакомый вам школьный опыт. Если рядом с проводником, по которому течет постоянный электроток, поместить магнитную стрелку, она отклонится от первоначального направления, обнаруживая тем наличие магнитного поля. Применим теперь эти данные школьной физики к корпускулярному излучению Солнца.

Каждый корпускулярный поток представляет собой плазму, то есть в целом электрически нейтральную смесь ионов — электронов и ядер атомов разных элементов. Плаз-

ма — отличный проводник электричества. Если плазма перемещается в магнитном поле, в ней возникает ток, который в свою очередь порождает магнитное поле. Это вторичное магнитное поле накладывается на первоначальное, и тогда всюду в проводнике поле сильнее, чем вне его, — ведь в проводнике складываются первоначальное и вторичное, «наведенное», поля.

Если постараться изобразить все это графически, силовые линии внутри проводника (плазмы) будут расположены гуще, чем вне его. И так получится при любом расположении проводника. Значит, можно сказать, что движущийся проводник как бы переносит с собой «вмороженное» в него магнитное поле.

Как раз все это и наблюдается в околосолнечном пространстве. Солнце, правда, обладает очень слабым общим магнитным полем. Но в активных районах Солнца, где возникают солнечные пятна, совершаются вспышки, магнитные поля весьма значительны (их напряженность тысячи эрстед). Если из такого участка солнечной поверхности выброшен корпускулярный поток, в нем непременно возникнут токи, собственное магнитное поле, которое поток и переносит с собой. То же можно сказать и о солнечном ветре.

Магнитное поле корпускулярных потоков в тысячи раз слабее земного магнитного поля. Солнечный же ветер переносит с собой поле, еще в десятки раз более слабое. Но это, конечно, не означает, что невидимые солнечные корпускулы и сопровождающие их невидимые магнитные поля не заслуживают нашего внимания. Напротив, это «невидимое», как теперь выясняется, играет исключительно важную роль в жизни Земли.

Попав в окрестности Земли и потеряв часть энергии при соударении с другими частицами, некоторые из корпускул начинают «навиваться» на силовые линии земного магнитного поля. С приближением к Земле напряженность ее поля увеличивается, и наступает момент (так показывают расчеты), когда частица как бы отражается от какой-то невидимой преграды и начинает двигаться в противоположном направлении. Миллионы и миллиарды раз продолжают эти своеобразные колебания частицы вдоль силовых линий земного магнитного поля, прежде чем, растеряв свою первоначальную энергию, она наконец не упадет на поверхность Земли. Но на ее место приходят новые корпускулы, непрерывно посылаемые Солнцем.

Все эти рассуждения объясняют, почему вокруг Земли существуют невидимые радиационные пояса.

Мы несколько раз употребляли выражение «невидимые солнечные корpusкулы». Это не совсем верно. Иногда солнечные корpusкулы становятся видимыми. Происходит это тогда, когда мы наблюдаем солнечную корону.

Связь солнечной короны с корpusкулярным излучением Солнца несомненна. В сущности, корона в основном и представляет собой совокупность корpusкулярных потоков, выбрасываемых Солнцем. Иногда видно, как отдельные длинные выступы короны постепенно сходят на нет, как бы растворяясь в межпланетном пространстве. Внешнее впечатление нас не обманывает — солнечное вещество в виде «струи» короны действительно извергается, рассеиваясь при этом и из видимого превращаясь в невидимое. Вблизи же Солнца его лучи рассеиваются на быстро движущихся электронах солнечной короны, и именно этот рассеянный свет создает серебристо-жемчужное сияние вокруг Солнца, позволяет видеть обычно невидимые корpusкулы.

Корpusкулярное излучение наполняет всю Солнечную систему. Об этом свидетельствуют, в частности, неожиданные вспышки некоторых комет, когда они внезапно, на короткий срок, резко увеличивают свою яркость. Удалось разобраться, почему это происходит. Оказывается, ядро кометы столкнулось с энергичным корpusкулярным потоком. Солнечные корpusкулы, бомбардируя поверхность кометного ядра, разрушают ее, а это приводит к бурному выделению скопленных в ядре газов.

Невидимое непременно проявляет себя в чем-то видимом, иначе бы мы о нем ничего не знали. Но иногда уловить, найти эти следы невидимого исключительно трудно. Как раз о таком случае и пойдет теперь речь.

НЕУЛОВИМЫЕ НЕЙТРИНО

О нейтрино впервые заговорили около сорока лет назад, после того, как в 1931 году швейцарский физик Паули теоретически предсказал существование этой удивительной частицы. Поначалу нейтрино выполняло служебную роль: его ввели, чтобы устранить кажущееся нарушение закона сохранения энергии при так называемом бета-распаде.

Как известно, распадаясь, радиоактивное вещество порождает три типа лучей, обозначаемых греческими буквами альфа (α), бета (β) и гамма (γ). Состав этих лучей давно известен: альфа-лучи представляют собой ядра атомов гелия, бета-лучи — электроны, гамма-лучи — электромагнит-

ное излучение малой длины волны, о котором в этой книге уже говорилось.

Все эти продукты радиоактивного распада уносят с собой энергию. Но вот при бета-распаде получается, что энергия вылетающих электронов не всегда одна и та же, а меняется от опыта к опыту, причем нередко в широком диапазоне. Чтобы объяснить эти странные факты, Паули высказал гипотезу, что каждый раз вместе с электроном из радиоактивного ядра вылетает некая частица, которая и уносит с собой недостающую энергию.

Закон сохранения энергии вновь торжествовал, но объяснение Паули многим казалось чересчур искусственным. Да и гипотетическая частица должна была обладать необычными свойствами — при отсутствии всякого электрического заряда иметь исчезающе малую массу. Как бы там ни было, эта частица все же прочно вошла в арсенал теоретической физики под названием «нейтрино». Только в 1957 году, после пятилетней подготовительной работы, физикам удалось наконец «увидеть» нейтрино. Говоря более строго, была зарегистрирована вспышка, порожденная потоками нейтрино в водородосодержащем веществе. Источником же нейтрино в этих опытах был один из самых мощных современных ядерных реакторов.

Ныне установлено совершенно твердо, что нейтрино образуется при всех ядерных процессах. Возникает оно и в недрах Солнца как побочный продукт тех ядерных реакций, которые обеспечивают его свечение на протяжении миллиардов лет. И роль этих солнечных нейтрино далеко не малая. Нейтринное излучение Солнца по своей энергии составляет 10% его видимого излучения.

Пробивная способность нейтрино совершенно фантастична. Зародившись в недрах Солнца, нейтрино совершенно беспрепятственно выходит наружу, в космическое пространство, и делает оно это так, как если бы вовсе не существовал исполинский газовый солнечный шар. Более того, если бы Солнце со всех сторон было окружено железным слоем толщиной в миллионы световых лет, то и такое препятствие нейтрино преодолело бы без всяких затруднений!

До сих пор астрономы изучали космос, используя главным образом электромагнитное излучение небесных тел. Фотоны, как видимые, так и невидимые, служили (да и теперь служат) почти единственными «связными» между небом и Землей. Существование нейтрино подсказало заманчивую идею: уловить солнечные нейтрино и «выжать» из них информацию о глубинных недрах Солнца.

Если бы мы могли видеть потоки солнечных нейтрино, наше дневное светило показало бы нам крошечной, ослепительно яркой точкой в сто раз по поперечнику меньше «оптического» Солнца. Нельзя ли с помощью каких-нибудь приборов увидеть, изучить это нейтринное Солнце? Ну, а в случае успеха можно потом попробовать уловить нейтринное излучение других звезд.

Идея смелая, но практически ее осуществить очень трудно. Мешает неуловимость нейтрино: оно никак не реагирует на магнитные или электрические поля. А очень малая масса помогает нейтрино беспрепятственно пробиваться сквозь вещество.

Нельзя, правда, сказать, что нейтрино никогда и ни при каких обстоятельствах не взаимодействует с веществом. Если бы дело обстояло так, то нейтрино мы бы просто никогда не обнаружили. На самом деле возможны процессы, при которых (по крайней мере, в принципе) нейтрино даст знать о себе. Таков, например, процесс, обратный бета-распаду. В этом случае протон должен превратиться в нейтрон и позитрон, причем неизбежно возникнет вспышка света, которую можно обнаружить чувствительными фотоэлементами. Правда, вероятность такого процесса очень мала, но все же не равна нулю. Если вещество содержит водород (а значит, протоны) и это вещество облучается потоком нейтрино, то рано или поздно фотоэлементы зарегистрируют слабые вспышки — реальные проявления реально существующих нейтрино.

Мыслимы две возможности: или пропустить одно нейтрино через астрономическую толщу вещества, или, наоборот, использовать поток с астрономическим числом нейтрино для облучения приемлемой на практике толщи вещества. Первый из этих вариантов, очевидно, практически нереален. Во втором случае при достаточно мощном потоке нейтрино есть шансы на успех — именно так и сделали физики, когда в 1957 году им удалось впервые убедиться в существовании нейтрино.

10% энергии видимого излучения Солнца — величина не-

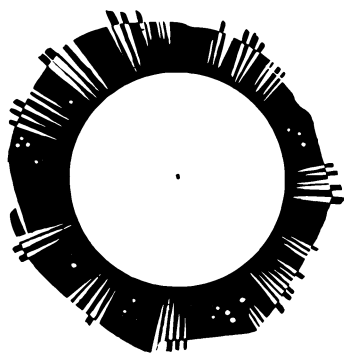


Рис. 55. «Нейтринное» Солнце — черная точка в центре наблюдаемого нами Солнца.

малая. Это значит, что ежесекундно через каждый квадратный сантиметр земной поверхности проходит 100 миллиардов нейтрино. Это значит, кстати, что в течение жизни человека через его тело пройдет число нейтрино, еще в миллиард раз большее. И, вероятно, только один раз одно какое-то нейтрино поглотится в человеческом теле. Заметим, что в полночь мы облучаемся потоком нейтрино никак не меньшим, чем в полдень, — ведь нейтрино запросто проходит через всю толщу земного шара! Любопытно все-таки, что нейтринное Солнце «освещает» нас круглосуточно. Но как поймать это излучение?

Среди высказанных предложений есть одно, пожалуй, наиболее практичное. Нейтрино реагирует с ядром хлора. В итоге этой реакции образуется ядро радиоактивного изотопа аргона, которое испускает электрон. Среди дешевых и широко распространенных веществ есть четыреххлористый углерод, вполне подходящая мишень для нейтрино. Заготовить его предварительно можно хоть тоннами. А потом посмотреть, как повлияют на него солнечные нейтрино — в нем должен образоваться аргон, который затем следует испытать на радиоактивность.

Еще одна примечательная деталь. Обсерваторию для приема солнечных нейтрино лучше всего поместить под землей, на глубине нескольких километров, где не будет сказываться нежелательное вмешательство других частиц. Недавно в глубоких шахтах Южной Африки и Индии провели первые опыты такого рода. И даже поймали нейтрино, но, увы,

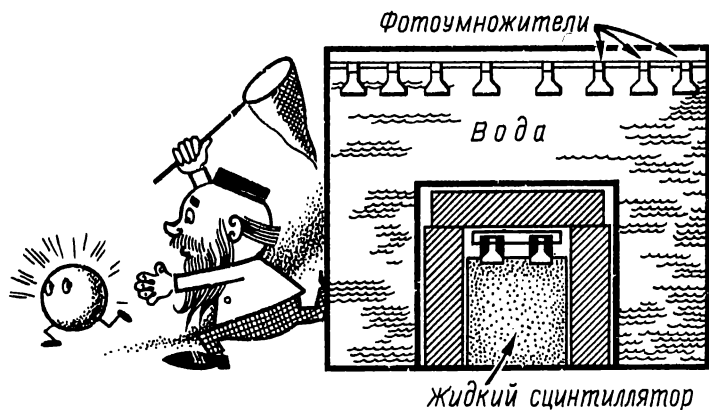


Рис. 56. Одна из возможных схем нейтринного телескопа.

не солнечные, а те, которые возникли в земной атмосфере при взаимодействии с ней космических лучей. Но что ни говорите, а эти первые шаги в создании нейтринной астрофизики обнадеживают.

Очень трудно построить нейтринный телескоп. И не потому лишь, что не видно, из чего сделать нейтринные линзы и как уменьшить их до практически реальных размеров. Нейтринные пучки только при очень больших энергиях, так сказать, чувствительны к направлению, только в этом случае «выбитые» нейтрино частицы вещества сохраняют первоначальное направление полета, а значит, можно узнать, откуда прилетело нейтрино. Есть, конечно, и другие трудности, заставляющие сегодня относиться к нейтронному телескопу почти как к вечному двигателю. Но будущее может таить в себе такие возможности, о которых мы сегодня и не подозреваем.

Еще не удалось поймать ни одного солнечного нейтрино, но астрофизики уже мечтают об использовании нейтрино при изучении звездного мира.

И если когда-нибудь все-таки будут построены нейтринные телескопы, с их помощью в звездном мире откроют много необычного. Среди прочего станет возможным прогноз вспышек сверхновых звезд. Оказывается, задолго до того, как вспыхнуть в видимом свете, кандидаты в сверхновые звезды начинают интенсивно излучать все более и более мощные потоки нейтрино. А разве не будоражит нашу фантазию такая возможность, как познание антимиров из антивещества, что с помощью нейтрино могло бы быть сильно облегчено? Право же, обидно сознавать, что вокруг нас (и даже в нас самих!) движутся мириады частиц, в которых заложена ценнейшая информация о космосе, а мы эту информацию пока не умеем извлекать и использовать!

Веками астрономы стремились подняться над Землей, в верхние, прозрачные и спокойные слои атмосферы. Они строили обсерватории на высоких плоскогорьях, забирались на вершины гор, а в последние годы им удалось даже вывести обсерватории на космические орбиты. И теперь, когда, казалось, цель достигнута, астрономы подумывают о том, чтобы зарыться глубже в Землю и оттуда, сквозь всю толщу земного шара, изучать космос!

Парадоксально? Конечно. Но в этой внешней противоречивости действий отражается внутренняя противоречивость науки, в конечном счете и обеспечивающая ее прогресс. А средства изучения космоса и должны быть многообразны, как многообразна сама Вселенная — видимая и невидимая.



НЕВИДИМОЕ ПОВСЮДУ!

Вот и подошло к концу наше повествование. Как и полагается в таких случаях, автор должен подвести итоги, сделать заключение. Постараемся не отступить от традиции.

Невидимый космос... Как тесно он переплетается с видимым!

Вы заметили, конечно, что о всех невидимых космических явлениях узнают только по тем их действиям, которые становятся в конечном счете для нас видимыми, познаваемыми. И в этой цепочке превращений невидимого в видимое решающая роль принадлежит приборам, инструментам — средствам познания объективного мира.

Нарисованную картину невидимого космоса имеет смысл, пожалуй, дополнить еще одним штрихом. Всю Вселенную буквально пронизывают поля, то есть области действия различных сил — гравитационных, магнитных, электрических. Важное значение их в жизни космоса очевидно — ведь именно они «цементируют» мироздание, связывают воедино разрозненные в пространстве космические тела. Поэтому изучение невидимых полей — совершенно неизбежный элемент в изучении невидимого космоса. Пожалуй, лучше всех других астрономы изучили гравитационные поля небесных тел — без этого была бы невозможной небесная механика. Исключительное значение электромагнитных полей в жизни космоса теперь осознано всеми, и именно поэтому наши знания о магнетизме космоса за последние годы увеличились необычайно.

Весьма возможно, что, проникая в глубины космоса, мы рано или поздно встретим там проявление каких-то новых, незнакомых нам невидимых сил. Такая ситуация складывается сейчас при изучении галактик, формы которых не удастся объяснить действием только известных сил. Не встретилось ли уже человечество с неведомыми, пока невидимыми «галактическими» силами?

Наше познание космоса было бы весьма неполным, если бы мы ограничились видимыми лучами света. «Астрономия невидимого» сделала доступным невидимый космос, и он оказался богаче, многообразнее видимого космоса.

Невидимое повсюду! Вторжение в область невидимого будет продолжаться и впредь во все возрастающих темпах и масштабах. Только так мыслим дальнейший прогресс науки, познающей бесконечно многообразный окружающий нас космос.



О Г Л А В Л Е Н И Е

<i>О том, как был открыт невидимый космос . . .</i>	3
Следы невидимого	7
Ультрафиолетовая астрономия	37
В инфракрасном свете	63
Радиотелескопы	81
Небесные радиостанции	94
Радиоволны из глубин Вселенной	124
Радиоэхо в астрономии	174
Корпускулярная астрономия	194
<i>Невидимое повсюду!</i>	206

Д Л Я С Т А Р Ш Е Г О В О З Р А С Т А

Зигель Феликс Юрьевич ● НЕВИДИМЫЙ КОСМОС

Ответственный редактор М. А. Зубков. Художественный редактор В. А. Горячева. Технический редактор Г. А. Подольная. Корректоры Е. Б. Кайрукштис и К. И. Каревская. Сдано в набор 6/XI 1969 г. Подписано к печати 28/V 1970 г. Формат 60×90^{1/16}. Печ. л. 13. Уч.-изд. л. 12,26. Тираж 100 000 экз. ТГ. 1970 № 557. А06156. Цена 48 коп. на бум. № 2.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Детская литература» Комитета по печати при Совете Министров РСФСР. Москва, Центр, М. Черкасский пер., 1.

Калининский полиграфкомбинат детской литературы Росглавполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров РСФСР, Калинин, проспект 50-летия Октября, 46. Заказ № 341.

Цена 48 коп.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ДЕТСКАЯ ЛИТЕРАТУРА»