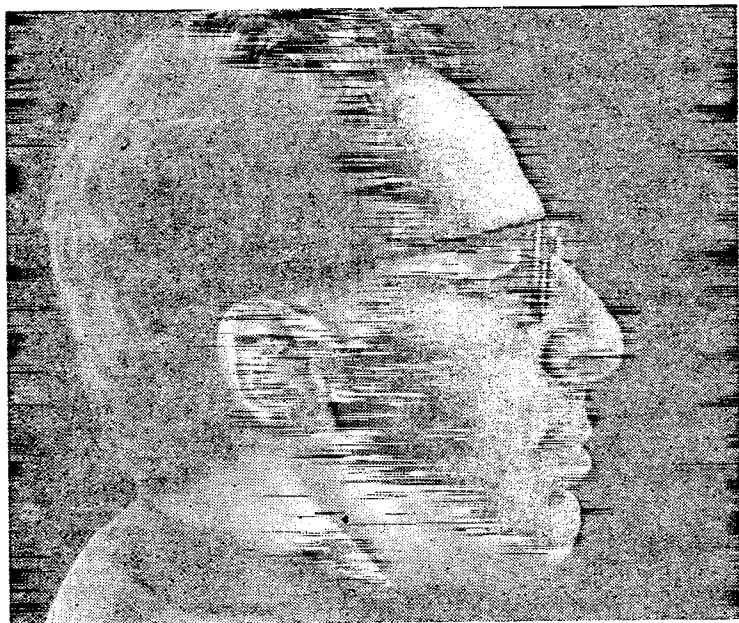




U. W. W. W. W.

ПРОБЛЕМЫ НАУКИ
И ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА

И. С. ШКЛОВСКИЙ

ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ АСТРОФИЗИКИ

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ, ДОПОЛНЕННОЕ



МОСКВА «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
1988

ББК 22.63
Ш66
УДК 524(023)

Ш66 Шкловский И. С.
Проблемы современной астрофизики/Под ред.
Н. С. Кардашева и Л. С. Марочкика.— 2-е изд.,
доп.— М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988
(Проблемы науки и технического прогресса).—
256 с. ISBN 5-02-013873-8

Сборник научно-популярных статей известного советского астрофизика члена-корреспондента АН СССР И. С. Шкловского. Посвящен как отдельным актуальным проблемам астрономии, в разработке которых принимал активное участие автор книги, так и общим проблемам философии естествознания. Описываются исследования космоса с помощью ракет и спутников, взрывающиеся звезды, внеземные цивилизации, активность ядер галактик и другие проблемы. Новое, посмертное издание (первое издание вышло в 1982 г.) дополнено некоторыми статьями, написанными И. С. Шкловским в последние годы. Хотя уровень популяризации и не везде одинаков, все статьи доступны неспециалистам.

Для интересующихся актуальными проблемами астрономии.

III $\frac{1705040000-170}{053(02)-88}$ 155-88

ББК 22.63

ISBN 5-02-013873-8

© Издательство «Наука».
Главная редакция
физико-математической
литературы, 1982;
с дополнениями, 1988

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие ко второму изданию	6
Феномен Шкловского (Н. С. Кардашев, Л. С. Марочник)	7
Предисловие к первому изданию	32
Размышления об астрономии, ее взаимосвязи с физикой и технологией и влиянии на современную культуру . .	35
Первое 20-летие космической эры и астрономия	52
Планетарные туманности, белые карлики и красные гиганты	64
Взрывающиеся звезды и их остатки	84
Современная метagalактическая астрономия и проблема ак- тивности ядер галактик	111
Физика плазмы и астрономия	145
Состояние и перспективы гамма-астрономии	157
О возможной уникальности разумной жизни во Вселенной	176
Вторая революция в астрономии подходит к концу . . .	197
Современная астрофизика и философия диалектического ма- териализма	221
Размышления об Эддингтоне	227
Что было, когда «ничего» не было?	241

ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

Настоящее издание «Проблем современной астрофизики» И. С. Шкловского является вторым и посмертным. Несмотря на то, что бурно развивающаяся наука — астрофизика — непрерывно обогащается новыми, часто сенсационными открытиями, эта книга не устарела, потому что в ней содержатся взгляды человека, заложившего основы современной астрофизики, на фундаментальные проблемы этой науки.

Книга состоит из отдельных статей, написанных И. С. Шкловским в разные времена и для разных изданий (не всегда популярных). Именно потому, что в совокупности набор этих статей охватывает наиболее актуальные и фундаментальные проблемы современной астрофизики, книге было дано такое название. Настоящее издание дополнено двумя более поздними статьями.

И. С. Шкловский был не только одним из выдающихся астрофизиков современности, он был еще и совершенно незаурядной личностью. В частности, он был отличным рисовальщиком. О различных гранях личности Иосифа Самуиловича мы постарались, в меру своих возможностей, рассказать в статье «Феномен Шкловского»*), которую следует рассматривать как предисловие редакторов к данному изданию.

Н. С. Кардашев, Л. С. Марочник

*) Кардашев Н. С., Марочник Л. С. Феномен Шкловского // Природа, — 1986. — № 6. — С. 84—95.

ФЕНОМЕН ШКЛОВСКОГО

Н. С. Кардашев, Л. С. Марочник

1 июля 1986 г. Иосифу Самуиловичу Шкловскому — человеку, оказавшему заметное, во многом определяющее влияние на современную астрофизику, — исполнилось бы 70 лет. Это не некролог. Некрологи пишутся по определенным канонам, в рамки которых личность Иосифа Самуиловича не вписывается.

* * *

Он родился на Украине в г. Глухове. В 1933 г. поступил на физико-математический факультет Владивостокского университета и через два года перешел на физический факультет Московского университета. В 1938 г. молодого физика-оптика приняли в аспирантуру на кафедру астрофизики Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга (ГАИШ) при МГУ; с этим институтом он будет связан всю жизнь. Далее — начало войны, эвакуация в Ашхабад (из-за плохого зрения на фронт не взяли), затем — возвращение в Москву, в ГАИШ, и многие годы — на передних фронтах революции в астрономии, начавшейся после войны.

За последние 40 лет, сопровождавшихся беспрецедентным развитием методов и техники наблюдений (радиотелескопы и радиointерферометры, инфракрасная, ультрафиолетовая, рентгеновская и гамма-астрономия), были открыты новые классы объектов — радиозвезды, радиогалактики, квазары, протроны, пульсары, мистериум, космические барстеры, источники гамма-всплесков, фоновое излучение во всех диапазонах, и, в частности, реликтовое радионизлучение (название предложено И. С. Шкловским). «Вопрос: что это такое? — должен быть центральным» — это главный завет Шкловского молодым исследователям. Он одним из первых осознал необходимость изучения любого астрономического объекта во всех диапазонах электромагнитного излучения. Только в этом случае можно надеяться построить правильную модель и понять, что собой представляет объект.

Кандидатская (1944 г.) и докторская (1949 г.) диссертации Шкловского были посвящены физике солнечной короны. Его первые работы об ультрафиолетовом и радионизлучении Солнца вышли в 1946 г., когда ракетная астрономия в наиболее жесткой части спектра и радиоастрономия в длинноволновой области еще только делали свои первые шаги.



И. С. Шкловский читает лекцию

К 1947 г. относится его работа о галактическом радиоизлучении; в том же году он участвовал в экспедиции по наблюдению солнечного затмения в Бразилии. Впервые экспедиция была оснащена радиотелескопом. С 1950 г. Шкловский принимал участие в первых наблюдениях в инфракрасном диапазоне с использованием электронно-оптических преобразователей, а в 1953 г. вышла его пионерская работа «Инфракрасное излучение Галактики».

Зимой 1952/1953 гг. Иосиф Самуилович впервые в мировой практике прочел в МГУ курс лекций «Радиоастрономия»; слушателями были не только студенты, но и многие научные сотрудники различных институтов. В лекциях Шкловского перед ними открылся новый мир; оказалось, радиоволны излучаются не только радиостанциями, а практически всеми астрономическими объектами во Вселенной: и Солнце, и Луна, и планеты, и звезды, и галактики, и какие-то еще неизвестные источники посылают сигналы, свойства которых строго связаны с необычными физическими процессами, протекающими в этих объектах, и позволяют определить важнейшие параметры областей, генерирующих радиоволны.

С самого начала, т. е. с 1957 г., Иосиф Самуилович активно участвовал в становлении и развитии космических исследований в нашей стране, понимая, что только с их помощью астрономия может стать действительно всеволновой. Осенью 1959 г. с борта 2-й советской лунной ракеты было выпущено облако натрия —

шел эксперимент «искусственная комета». Резонансную флуоресценцию атомов натрия под воздействием солнечных лучей можно было легко наблюдать и исследовать с Земли. Первоначально эти эксперименты послужили для индикации местоположения космических аппаратов, а в дальнейшем — для изучения свойств верхней атмосферы Земли и межпланетной среды. В них моделировался процесс, который был хорошо известен Носифу Самуиловичу из физики межзвездной среды. За эксперимент «искусственная комета» И. С. Шкловский в 1960 г. был удостоен Ленинской премии.

В 1966 г. Шкловский был избран членом-корреспондентом АН СССР, а в 1967 г. им был сформирован во вновь созданном Институте космических исследований АН СССР отдел астрофизики, включивший лаборатории, изучающие космос во всем диапазоне электромагнитного спектра.

Почти каждая работа Шкловского опирается в первую очередь на наблюдательные данные и содержит новую четкую физическую идею. Им была создана современная теория солнечной короны, а комплексное исследование спектров галактических и внегалактических источников позволило в дальнейшем выделить области ионизованного газа и области с электронами, имеющими релятивистские энергии.

Особенно большое значение имели работы Шкловского, объяснившие единым механизмом излучения радио- и оптический спектры Крабовидной туманности (остатка взрыва сверхновой звезды в нашей Галактике), и аналогичная работа по радиогалактике Дева А. В исследовании космического фонового радиои излучения, оставшегося от эпохи сверхплотного состояния Вселенной, Носифу Самуиловичу принадлежит фундаментальная работа, выполненная через год после открытия реликтового фона. Аномально высокая интенсивность оптических спектральных линий молекулы CN в межзвездном газе была объяснена как результат воздействия на нее именно фонового радиои излучения. Так было доказано, что реликтовое излучение действительно возникает за пределами Солнечной системы.

Носиф Самуилович выполнил большой цикл работ, посвященных физике взрывов сверхновых звезд, ядер галактик, квазаров, исследовал свойства оболочек из газа и релятивистских частиц, которые образуются при этих взрывах. Асимметрия таких взрывов, согласно его гипотезе, объясняет большие скорости движения пульсаров и то, что старые нейтронные звезды должны образовывать протяженное гало около галактики. Возможно, с этими объектами связаны неотожествленные пока источники гамма-импульсов. Точно так же взрывы в ядрах галактик могут приводить к выбросу из них сверхмассивных черных дыр.

Другое важнейшее направление, связанное с именем Шкловского,— развитие исследований спектральных линий в радиоастрономии. Еще в 1948 г., основываясь на пионерской работе голландского астрофизика Х. ван де Хюлста, Иосиф Самуилович рассчитал интенсивность главной радиолинии атомарного водорода (длина волны 21 см) — основного компонента межзвездной среды — и показал, что она может быть обнаружена.

Велика роль Шкловского в философском осмыслении последних достижений современной науки (в том числе астрофизики) и связанной с ними проблемы существования внеземных цивилизаций, понимания места человечества в Космосе и его роли в преобразовании окружающего мира. Только небольшую часть своих взглядов на эти проблемы он успел изложить в ряде статей и книге «Вселенная, жизнь, разум», выходу в свет которой очень способствовал М. В. Келдыш.

Большой талант Шкловского как ученого и философа, оригинальность мыслей и простота их изложения, темперамент оратора и благожелательность к жаждущим знаний, многочисленные выступления перед специалистами и широкой аудиторией снискали ему большую известность и признание.

Наиболее характерными чертами Иосифа Самуиловича как ученого были беспредельный интерес к фактам, поиск главного, стремление к простоте в понимании явлений природы, талант всегда быть на переднем крае.

Он создал школу современной всеволновой эволюционной астрофизики. Многие астрономы как нашей страны, так и за рубежом испытали сильнейшее влияние его личности *).

По гамбургскому счету

Он начинал десятиком на БАМе в 1932 г., имея 16 лет от роду (БАМ строился уже тогда). Кончил главой всемирно известной научной школы, членом множества академий, кавалером золотой Брюсовской медали, которая среди астрономов и астрофизиков копируется столь же высоко, как Нобелевская премия среди физиков.

Известно, что Л. Д. Ландау однажды с горечью сказал: «Я немножко опоздал родиться. Мне бы сделать это на 6—7 лет раньше». Имелось в виду, что к началу «золотого века физики» (1925 г.) ему было только семнадцать, а к 1930 г., когда он попал в Копенгаген к Нильсу Бору, весь фундамент квантовой ме-

*) Более подробно о фундаментальных работах И. С. Шкловского см.: Памяти Иосифа Самуиловича Шкловского // УФН.— 1985.— Т. 146.— С. 719—720.

ханики был уже заложен чуть более «старыми» Гейзенбергом, Дираком, Паули и др.

В этом смысле Иосифу Самуиловичу повезло. Родился он вовремя.

Древнейшая из наук — астрономия — пережила за время своего существования две революции, каждая из которых коренным образом изменила ее лицо. Первая из них произошла в декабре — январе 1609—1610 гг., когда Галилео Галилей впервые навел на небо телескоп. Некоторые историки утверждают, что известна точная дата этого события — 7 января 1610 г. Начиная с этого момента человек стал исследовать Вселенную вооруженным глазом.

Вторая революция в астрономии началась во второй половине нашего столетия. Мы с вами — ее современники. Атмосфера Земли непрозрачна почти для всех электромагнитных волн, идущих из космоса. Есть только два «окна прозрачности». Одно — в оптическом, второе — в радиодиапазоне. Именно второму «окну прозрачности» мы обязаны существованием столь много достигнутой современной радиоастрономии. Но вот все остальное излучение Вселенной недоступно наблюдениям с Земли, и вторая революция в астрономии состоит в том, что благодаря освоению космического пространства человек вынес свои приборы за пределы земной атмосферы и сейчас измеряет сигналы, которые излучает Вселенная, практически во всем диапазоне электромагнитных волн.

Перефразируя уже упоминавшиеся слова П. Дирака о «золотом веке физики», сказанные им при получении премии имени Роберта Опенгеймера, можно сказать, что Шкловский не опоздал к началу «золотого века астрофизики» — он стоял у истоков отечественной и мировой радиоастрономии, у истоков современной всеволновой астрофизики. Впрочем, пусть сам Иосиф Самуилович расскажет о том, как «вторая революция» в астрономии вторглась в Москву, и как он оказался у ее «колыбели»*):

*) Шкловский И. С. Из истории развития радиоастрономии в СССР. — М.: Знание, 1982. — С. 7—8 (№ 11. Сер. «Космонавтика, астрономия»).

Все мы знали Иосифа Самуиловича как превосходного рассказчика, скорее, даже новеллиста. Рассказывать он любил, делал это охотно, мастерски, всегда и везде собирая при этом (не прикладывая, конечно, не малейших усилий) большую аудиторию. Каждый его рассказ был небольшой повестью, «написанной» яркими мазками мастера, всегда с неожиданным парадоксальным концом. Его повелли чем-то напоминать рассказы И. Бабея и повелли О'Генри. Многие их запомнили и записывали. Благодаря этому мы сможем еще раз «услышать» живого Иосифа Самуиловича, время от времени предоставляя слово ему самому. Эти отрывки будут далее следовать без дополнительных специальных пояснений.

«Для меня все началось с того, что мне зачем-то понадобился мой бывший шеф по аспирантуре в ГАИШ, милейший человек — Н. Н. Парийский. Это было в начале лета 1946 г. После нескольких безуспешных попыток его найти, мне удалось установить, что он находился в ФИАН.

Тогда Физический институт АН СССР (попросту ФИАН) еще не занимал своего нынешнего места на Ленинском проспекте. Он находился в своем старом здании на Миусской площади. Помню, как поражали мое воображение лампы дневного света в его конференц-зале — едва ли не первые в Москве. Я вошел в конференц-зал, тщетно высматривая там Николая Николаевича. Увы, мне его найти не удалось в переполненном людьми зале, и я невольно стал прислушиваться к голосу докладчика — средних лет человека в полковничьих погонах.

Как я потом узнал, это был нынешний академик Ю. Б. Кобзарев. Забавно, что в 1980 г. у меня состоялась встреча с Юрием Борисовичем при довольно печальных обстоятельствах — в академической больнице. Я напомнил ему о его докладе в ФИАН 34 года назад. Он ничего не вспомнил... А говорил он тогда (по-видимому, это было сообщение обзорного характера) о том, что во время недавно окончившейся войны офицеры радарной службы Королевских военно-воздушных сил Великобритании обнаружили, что Солнце излучает радиоволны на метровом диапазоне.

Эта новость меня тогда буквально поразила. Докладчик уже давно перешел на другую, чисто радиотехническую тему, а я, сидя в конце большого конференц-зала, сосредоточенно думал, что может означать этот необычный астрономический феномен? К этому времени я уже три года работал над проблемами солнечной короны и в какой-то степени разбирался в плазменной физике (хотя всегда предпочитал ей казавшуюся мне более конкретной спектроскопию).

По-видимому, в то далекое второе послевоенное лето в конференц-зале ФИАН случилось своеобразное явление резонанса — я был внутренне настроен на информацию, услышанную от Ю. Б. Кобзарева.

Так или иначе, но к концу доклада я уже понял для себя, что это за явление природы — радионизлучение Солнца (а ведь прошло меньше получаса, как я попал в этот зал). Но в жизни бывают (увы, очень редко!) такие минуты озарения. Мне пришлось пережить такое в моей последующей научной жизни только 2—3 раза.

Так все началось. Что же было потом? Потом был ряд фундаментальных открытий, каждого из которых достаточно, чтобы ускоречить в науке имя этого человека.



Автопортрет. «...В детстве я был чрезвычайно далек от всякого рода техники, испытывая к ней только чувство тоскливого отвращения. По призванию автор этих строк — художник. Я стал рисовать с помощью «подручных средств» — мела, кусочков битого кирпича (других пзобразительных средств у меня не было — времена были суровые и нищета была полная) с трех лет. С тех пор я рисовал почти всюду и везде. Вплоть до окончания физического факультета Московского университета в 1938 г. я еще колебался в выборе жизненного призвания. Сделав, однако, такой выбор, я полностью бросил искусство». (Шкловский И. С. Из истории развития радиоастрономии в СССР.— М., 1982. Сер. «Космонавтика, астрономия», № 11.— С. 3)

Научные работники знают, что между собой профессионалы в науке судят друг о друге по гамбургскому счету*). Обычный вопрос:

— Такой-то? А что он сделал? Что, так сказать, за ним «записано» в науке? Это прекрасно понимал Иосиф Самуилович, однажды сказавший о Г. А. Гамове:

«Я считаю Г. А. Гамова, пожалуй, крупнейшим русским физиком XX века. В конце концов, от ученого остаются только конкретные результаты его труда. Применяя футбольную аналогию, имеют реальное значение не изящные финты и дриблинг, а забитые голы. В этом сказывается жестокость науки. Гамов обесмертил свое имя тремя выдающимися «голами»: 1) теорией α -распада, более обще — «подбарьерными» процессами (1928 г.); 2) теорией «горячей Вселенной» и как следствие ее — предсказанием реликтового излучения (1948 г.), обнаружение которого в 1965 г. ознаменовало собой новый этап в космологии; 3) открытием феномена генетического кода (1953 г.) — фундамента современной биологии. Конечно, Гамов — невозвращенец, и это нехорошо. Но можем ли мы представить музыкальную культуру России XX века без имен Шаляпина и Рахманинова?»

Пользуясь той же футбольной терминологией, можно сказать, что по числу забитых «голов» Шкловский был самым результативным из советских астрофизиков и, безусловно, входил в символическую «сборную мира» на первых ролях. Он был Астрофизиком № 1 нашей страны. Не думаем, чтобы кто-нибудь в этом сомневался.

И. С. Шкловский

— создал теорию ионизации и радиоизлучения солнечной короны (1949). До его работы феномен солнечной короны был вообще непонятен. Теперь это основа физики Солнца;

— предсказал, что радиолиния на длине волны 21 см, излучаемая всеми находящимися в основном состоянии атомами водорода в Галактике, должна быть наблюдаема (1949). Через два года линию обнаружили. Это стало началом новой эры в астрономии, так как позволило буквально «пересчитать» все водородные атомы межзвездной среды, исследовать ее динамику и кинематику. Радионаблюдения на волне 21 см — теперь самый эффективный и распространенный метод изучения динамики Галактики и ее ближайших соседей;

*) Иосиф Самуилович часто употреблял этот «термин». По существующей легенде в Гамбурге в начале века тайно разыгрывалось неофициальное первенство по борьбе между профессионалами, на котором выяснялось истинное соотношение сил: кто на каком месте на самом деле — ведь в официальном профессиональном споре всегда существует неспортивная, коммерческая сторона.

Зарисовки с натуры. «В эти годы я как никогда раньше много и успешно рисовал с натуры... Увлекался новой для меня техникой — сангиной и тушью. Сеансы обычно длились 40 минут, больше натурщики не выдерживали. Я достиг своего пика в искусстве портрета как раз в это время. Почти все портреты я роздал оригиналам. Кое-что осталось — иногда я сам удивляюсь, как это я мог так рисовать — ведь никогда не учился!»



— объяснил природу свечения Крабовидной туманности — одного из самых интересных объектов на небе — во всем диапазоне длин волн, от оптики до радио, единым физическим механизмом — синхротронным излучением электронов в магнитных полях (1953). Глубокая нетривиальность ситуации состояла в том, что впервые в астрономию был введен «неклассический», принципиально новый механизм оптического излучения. До этого момента астрономы имели дело только с «обычным» тепловым излучением различных



И. С. Шкловский, А. Л. Зельманов, Д. Я. Мартынов, американский астрофизик Ф. Хойл, Б. А. Воронцов-Вельяминов

космических объектов. Так же, как статья о «21 см», эта работа открыла собой новую эру в астрономии;

— объяснил природу планетарных туманностей (1955), доказав, что они являются закономерным этапом эволюции определенного типа звезд, так называемых красных гигантов, и что их ядра быстро эволюционируют в белые карлики, причем основная часть последних возникает именно таким способом. Эта работа опередила не менее, чем на 10 лет, свое время и указала новый, неизвестный ранее путь эволюции вещества во Вселенной. Это — одно из важнейших достижений астрономии второй половины XX века.

Полный список фундаментальных работ Шкловского приведен в статье Н. С. Кардашева в журнале «Успехи физических наук»^{*)}.

Научное наследие Иосифа Самуиловича составляет более двухсот статей, не говоря о книгах; практически все они написаны... без соавторов! Профессиональным научным работникам нет нужды объяснять, что это значит.

Несмотря на столь, казалось, бы, «крайний индивидуализм» в науке, Шкловский, как уже говорилось, был главой крупной научной школы. Многие его ученики — это люди с мировыми именами в астрофизике, которые выросли и были выпестованы им буквально с «университетских пеленок».

^{*)} Кардашев Н. С. Памяти Иосифа Самуиловича Шкловского // УФН.— 1985.— Т. 146.— С. 719—720.

Впрочем, об этой стороне «Феломея Шкловского» гораздо лучше и полнее написал в своей уже упоминавшейся статье Н. С. Кардашев. В ней замечательно рассказано о том, что сделал Шкловский в науке персонально, как он создал школу современной всеволновой эволюционной астрономии, какие новые фундаментальные направления науки обязаны ему своим существованием. Прочти статью Н. С. Кардашева, Вы, вероятно, поймете и главное — то, что Н. С. Шкловский был совестью и душой советской астрофизики.

Сумма запретов

Отношения Носифа Самуиловича с кино были непростыми. Будучи по натуре художником и тонким ценителем искусства, он резко отрицательно относился к различного рода киноподателям. На то у него были свои причины. За свою долгую жизнь в астрономии ему не раз и не два приходилось выступать в роли консультанта, рецензента и т. п., и всегда происходили какие-то недоразумения и накладки по причине необязательности или недобросовестности деятелей кино. Широко известна, например, история с «Солярисом» Андрея Тарковского; выходу его на экран немало способствовал Шкловский, так как фильм сначала не давали ставить, а потом не хотели выпускать. Друзья-гуманитарии попросили его собрать астрономическую общественность и привезти на Мосфильм для обсуждения и поддержки этого фильма.



Рисунки И. С. Шкловского

«Стоял лютый мороз с обжигающим ветром. Непросто было собрать 15 «пайщиков» и привезти их общественным транспортом

к проходной Мосфильма. В качестве «свадебного генерала» я уговорил ехать Якова Борисовича Зельдовича — академика и трижды Героя. И тут вдруг случилась накладка: пропуска на нас не были заказаны, хотя накануне мне в институт звонила какая-то приближенная к Тарковскому особа и настойчиво нас приглашала, заверяя, что организационная часть обеспечена. Минут 15 толкались мы в холодной проходной. Тицетно я метался от окошка к окошку, пытаюсь найти хоть какие-нибудь концы. Можно себе представить, как на меня смотрели мои коллеги! В отчаянии я шутя (хотя было не до шуток) попросил Якова Борисовича подойти к окошку и щегольнуть своими тремя золотыми звездами. «Ничего не выйдет. Подумают — муляж!» — ответил Я. Б., обнаружив тонкое понимание специфики кино. Так и ушли мы ни с чем. Через несколько дней я узнал, что обсуждение фильма Тарковского отменили, о чем нас не соизволили известить. Тарковский даже не извинился».

Неудивительно, что когда во время визита в Москву знаменитый итальянский кинорежиссер Антониони, известный нашим зрителям «Красной пустыней», «Затмением» и другими не менее прекрасными фильмами, передал Иосифу Самуиловичу приглашение приехать к нему в гостиницу для разговора, последний отказался, причем не в самой вежливой форме. В результате последовал телефонный звонок с Мосфильма, из которого явствовало, что к 15 часам — времени, назначенному Шкловским, — маэстро прибудет в ГАИШ (Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга).

«...Девушки бросились в мой захламленный кабинет, где, кроме моего, стояло три стола. И еще огромное, продавленное старое кресло. Они лихорадочно стали «шаводить марафет», готовясь к приему знаменитости. «Отставить», — рявкнул я. — Мы его примем в стиле итальянского неореализма. Так сказать, под небом Сицилии». Ровно в 15 часов во двор института въехал кортеж роскошных машин. Маэстро приехал со своей киногруппой в сопровождении весьма малоквалифицированной переводчицы, от услуг которой я сразу же отказался. Антониони оказался очень симпатичным, немного грустным немолодым человеком, одетым с подчеркнутой простотой. По-английски он говорил примерно так же плохо, как и я, что, конечно, способствовало взаимному пониманию.

— Чем могу служить? — спросил я.

— Видите ли, я задумал поставить фильм-сказку. По ходу действия дети, играющие в городском дворе — настоящем каменном мешке — запускают воздушного змея, который улетает в Космос. Может ли это быть?

— Вы придумали, маэстро, прелестную сказку, а в сказке все возможно!

Насчет сказок Антониони разбирался, во всяком случае, не хуже меня. Нет, его интересовало — может ли это быть с точки зрения науки!

— Я вынужден Вас разочаровать, — с точки зрения науки этого не может быть!

— Я понимаю, — сказал Антониони, — что этого не может быть с точки зрения науки сегодняшнего дня. Но, может быть, через 200—300 лет наука уже не будет исключать такую возможность?

— Боюсь, что и через 1000 лет позиция науки в этом пункте не изменится. Разве что детишки оснастят свою игрушку каким-нибудь аннигиляционно-гравитационным двигателем.

Нет, какой-нибудь двигатель маэстро не устраивал — он разрушал его милую задумку. Я стал ему объяснять, что только первобытные люди и современные, обремененные полужананиями цивилизованные дикари верят (именно верят) в безграничные возможности науки. На самом деле настоящая наука — это сумма запретов. Например, вся физика состоит из трех запретов. а) нельзя построить перпетуум мобиле первого и второго рода, б) нельзя передать сигнал со скоростью, большей, чем скорость света в пустоте, в) нельзя одновременно измерить координату и скорость электрона. Антониони помрачнел. Запреты ему были явно не по душе.

Нам кажется, эта парадоксальная, но глубокая идея относится не только к настоящей науке. Разве, когда мы говорим о настоящей порядочности или настоящей интеллигентности, речь идет не о сумме запретов (разумеется, на подсознательном уровне)?

Сумма запретов Шкловского была абсолютной. Как в физике. Однажды старый товарищ попросил его поддержать коллегу — астрофизика.

— Я перестал бы себя до конца моих дней уважать, если бы не поставил своей подписи рядом с подписью этого высокоуважаемого мной человека. И, ясно понимая, что попал в аварию, подписал, иначе я просто не мог, — скажет позже Иосиф Самуилович. За эту историю он расплатился тяжелейшим инфарктом.

Добро должно быть конкретным

Иосиф Самуилович не был святым. Бесполезно, да и не нужно канонизировать его образ. Он был «слишком талантлив», талантлив во всем — обаяние и масштабность его личности ощущал каждый, кто так или иначе с ним сталкивался.

«...Научные педанты не прощали ему смелости и риска. По молодежи, мне кажется, нужно учиться такому бесстрашию. Он всегда был окружен друзьями и учениками — большой группой

талантливых молодых астрофизиков. По его острое слово, разящее, как пушкинская эниграмма, создавало ему немало врагов»^{*)}).

Очень давно, около сорока лет назад Шкловскому, еще молодым человеком, посчастливилось попасть в экспедицию по наблюдению солнечного затмения. Экспедиция была направлена в Бразилию на пароходе «Грибосдов». Руководил экспедицией патриарх советской астрономии академик А. А. Михайлов — образованнейший, интеллигентнейший человек.

«...Особенно тяжело было мне и другим молодым участникам, не имевшим опыта светских раутов и не знавшим тонкостей правил поведения за столом. Какие уж тонкости, когда всю войну я воспитывал свой характер в направлении стоицизма: донести целым домом довесок пайкового хлеба... Я постоянно попадал впро-сак. Трудности начинались с заказа: меню было на французском языке. Дабы упростить ситуацию, я всегда садился рядом с Александром Александровичем Михайловым — начальником нашей экспедиции, что было, конечно, не так-то просто. После этого я механически повторял его заказ. Скоро, однако, я убедился, что такая стратегия порочна, так как лишает меня возможности отве-дать неслыханно вкусных мясных жареных блюд. Увы, наши с А. А. вкусы оказались полярно различны — он был на строгой диете. И тогда я пустился в опасную самостоятельность, в критические минуты обращаясь к начальнику за консультацией. Помню, как-то я довольно безуспешно ковырял какую-то экзотическую рыбку вилкой.

— Что Вы делаете?— тихо прошепел А. А.

— Пытаюсь вилкой, ведь нельзя же рыбу ножом,— пролепетал я.

— Вот именно, ножом, специальным рыбным ножом, который лежит слева от Вас!

Поди знай! В другой раз на мой какой-то дурацкий вопрос А. А. тихо, но отчетливо сказал:

— И вообще, И. С.— больше самостоятельности. Нужно руководствоваться принципом: человек за столом должен быть как можно дальше от собаки. Собака ест вот так.— А. А. низко нагнулся над тарелкой и стал к удивлению окружающих быстро елозить руками.— А человек вот так.— он откинулся на спинку стула, держа нож и вилку в почти вытянутых руках. После такого объяснения я к А. А. больше за консультацией не обращался.

Через несколько недель после этого, когда мы уже плыли в Аргентину, я взял у А. А. реванш. Как-то в кают-компании за послеобеденным трёмом я решил продемонстрировать свою эрудицию, процитировав по памяти прелестный афоризм Анатоля

^{*)} Бердичевская В. С. // Шкловский и современная астрофизика.— М.: Знание, 1986.— № 7.



И. С. Шкловский и Я. Б. Зельдович (1914—1987)

Франса: «...В некоторых отношениях наша цивилизация ушла далеко назад от палеолита: первобытные люди своих стариков съедали — мы же выбираем их в академики...» Присутствовавший при этом А. А. даже бровью не повел — все-таки старое воспитание, но навсегда сохранил ко мне настороженно-холодное отношение...

Предельно точно, нам кажется, написал об этом академик Я. Б. Зельдович*): «...из песни слова не выкинешь, и мы подходим к трудному месту. Сама личность Шкловского поляризовала окружающих. Наряду с верными друзьями, учениками, последователями у него были враги. Он мог больно задеть и людей, вполне расположенных к нему. Эта фраза «он Человеком был» включает в себя и подтекст — ничто человеческое не было ему чуждо. Смерть подводит итог, отсекая все проходящее...».

*) Зельдович Я. Б. // Шкловский и современная астрофизика.— М.: Знание. Серия Астрономии и Космонавтики, 1986.— № 6, 7.

Да, он мог задеть «пушкинской эпиграммой», мог обидеть маститого коллегу недвусмысленным обвинением в невежестве, мог отстаивать свою научную и этическую позицию невзирая на лица. И все-таки, пусть не покажется это парадоксальным, едва ли не основной чертой его характера была Доброта.

Среди его учеников 2 члена-корреспондента АН СССР, 10 докторов и около 30 кандидатов наук — и ведь каждому или почти каждому из них Шкловский помогал от всей души. Не менее десяти ныне ведущих советских астрофизиков обязаны Иосифу Самуиловичу тем, что они вообще состоялись. Скольким молодым талантам, «не щадя живота своего», он «пробивал» (и «пробил»!) московскую прописку, скольким — квартиру. У него всегда находилось время для начинающей молодежи, студентов и даже школьников. В связи с проблемой добра стоит выслушать самого Шкловского:

«Каждый раз, когда я из дома еду в издательство «Наука», точнее, в астрономическую редакцию этого издательства, к милейшему Илье Евгеньевичу Рахлину, и водитель троллейбуса № 33 объявляет (не всегда, правда): «Улица академика Петровского» — остановка, на которой я должен выходить — неизменно мне делается грустно. Я очень многим обязан человеку, чьим именем назван бывший Выставочный переулок. Он восстановил меня на работу в Московском университете, когда меня в 1952 году вместе с несколькими моими несчастными коллегами выгнали из Астрономического института им. П. К. Штернберга. Двумя годами позже он своей властью прямо из ректорского фонда дал мне неслыханно роскошную трехкомнатную квартиру в 14-этажном доме МГУ, что на Ломоносовском проспекте. До этого я с семьей 19 лет ютился в одной комнате останкинского барака... Мне удалось создать весьма жизнеспособный отдел и укомплектовать его талантливой молодежью исключительно благодаря самоотверженной помощи Ивана Георгиевича... Моим бездомным молодым сотрудникам он предоставлял жилье. И потом, когда началась «космическая эра», сколько раз он помогал нам! У него было абсолютное чутье (как у музыкантов бывает абсолютный слух) на настоящую науку, даже если она находилась в эмбриональном состоянии.

22 года Иван Георгиевич руководил самым крупным университетом страны. У него ничего не было более близкого, чем университет, бывший ему родным домом и семьей. Ради университета он забросил даже любимую математику...

Его судьба была глубоко трагична. Это ведь древний сюжет — хороший человек на трудном месте в тяжелые времена! Надо понять, как ему было тяжело. Я был свидетелем многих десятков добрых дел, сделанных этим замечательным человеком. Отсюда, будучи хорошо знакомым со статистикой, я с полной ответствен-

постью могу утверждать, что количество добрых дел, сделанных им за все время пребывания на посту ректора, должно быть порядка 10⁴! Много ли у нас найдется людей с таким жизненным итогом? Некогда модный поэт написал такие «гуманные» строчки: «...добро должно быть с кулаками...». Это ложь! Добро должно быть прежде всего конкретно. Нет ничего хуже «безваттной», абстрактной доброты. Эту простую истину следовало бы усвоить нашим «радикалам». И было бы справедливо, если бы на надгробье Ивана Георгиевича, что на Новодевичьем, была высечена простая надпись: «Здесь покойся человек, совершивший 10 000 добрых поступков». Какие слова хотелось бы видеть на надгробье Иосифа Самуиловича? Может быть, те же самые?»

Механика Аристотеля

Шкловский был не только родоначальником новых направлений в науке, но и человеком, впервые в нашей стране, а возможно, и в мире, попытавшимся (и притом удачно) организовать глобальные экспериментальные исследования в этих новых областях астрофизики.

«...Начиная с 1953 г., я, по кусочкам, из талантливой молодежи, остро ощущавшей происходящую в нашей астрономической науке революцию, формировал отдел, условно называемый «отделом радиоастрономии», хотя мы не ограничивались только радиоастрономией (*Фактически это был отдел всеволновой астрофизики* — курсив паш.— Н. С., Л. М.). Это было дьявольски трудно...».

Новому и прогрессивному всегда нелегко пробивать себе дорогу, а ведь начиналась космическая эра в истории человечества — вскоре был запущен первый спутник, астрофизика становилась всеволновой, но вот «жить» становилось все труднее.

«...Вообще, по всем делам, большим и малым, касающимся моего отдела и его сотрудников, я обращался непосредственно к ректору, что, конечно, нельзя было считать нормальным. Но что прикажете делать? В конце концов, в 1968—1969 гг. основная, творчески наиболее активная часть отдела радиоастрономии ГАИШ (и я в том числе) покинула стены *alma mater* и перешла вновь организованный Институт космических исследований Академии наук СССР, где получила более или менее нормальные условия существования. Одной из многих причин ухода из ГАИШ было активное нежелание лежать в положенный мне Богом час на многим хорошо известном большом дубовом столе в конференц-зале. Сколько своих старших (и не только старших) коллег я за эти годы проводил в мир, где, как можно верить, нет всякого рода... Ритуал гражданской панихиды в ГАИШ отработан до мельчайших деталей...».



Рисунок И. С. Шкловского

Все это было давно, в «доисторические времена». Не следует думать, однако, что дальнейший путь Иосифа Самупловича, живо переживавшего с каждым из своих учеников и сотрудников его проблемы, как свои собственные, был усыпан розами. Отнюдь. Однако, как выяснилось, на этом пути его ждало открытие.

Извечная тайна движения... Должны были пройти тысячелетия для того, чтобы Галилей постиг его сущность. Позднее Ньютон сформулировал первый закон механики, по которому «всякое тело совершает равномерное и прямолинейное движение до тех пор, пока внешние силы не выведут его из этого состояния». Тем не менее, Шкловский считал, что истинный смысл тайны движения удалось установить лишь ему.

Если Ньютону закон всемирного тяготения явился во всем его великолепии, как утверждает известная легенда, в Кембридже в саду, когда упало историческое яблоко, то Иосифу Самуиловичу тайна движения открылась, по-видимому, во Львове во время пленума Комиссии по звездной астрономии АН СССР.

«...Хорошо помню, что в один из вечеров... пришел местный человек К. — коренной львовянин. За бутылкой венгерского оп разговорился и поведал историю, которую я никак не могу забыть.

История эта на первый взгляд кажется простой и пезамысловатой. До войны он работал лифтером в местном отеле. Когда 17 сентября 1939 года произошло историческое воссоединение двух частей Украины, большая часть жителей ликовала, в то время как другая часть замерла в настороженном молчании. На следующий день после исторического события в отеле, как и в других более или менее значительных учреждениях, появился новый уполномоченный. Старые служащие отеля затаились: что же будет дальше? А дальше уполномоченный стал вызывать в свой кабинет всех служащих по одному и о чем-то беседовал с ними. О чем — толком никто не знал, так как прошедшие собеседование подавленно молчали. Напряжение в отеле достигло кульминации. Наконец, к концу этой «операции» к уполномоченному был вызван и К., занимавший в служебной иерархии отеля одно из последних мест. «Кем Вы работаете?» — грозно спросил уполномоченный. «Лифтером», — скромно ответил мой новый львовский знакомый. «Ну, так смотрите, — чтобы лифт работал!» — и уполномоченный недвусмысленно дал понять, что аудиенция окончена.

К. вышел из кабинета в совершенно подавленном состоянии. Что он вообще хотел сказать — этот важный начальник? Как это прикажете понимать? Разве может быть так, чтобы лифт не работал? Тут что-то не так...

Мне кажется, что эта простенькая история полна глубокого смысла... Суть дела упирается в вневечную тайну движения. Великий Аристотель, как известно, считал, что движение (конечно, равномерное и прямолинейное) может происходить только потому, что на движущееся тело непрерывно действует некоторая сила. Перестанет сила действовать — и рано или поздно тело остановится! Великий Галилей, а после него — не менее великий Ньютон пришли к радикальному выводу, что равномерное и прямолинейное движение любого тела для своего поддержания не требует никакой силы! Это — знаменитый закон инерции, который без должного понимания зубрят многие миллионы школьников на всех континентах». Как считал Иосиф Самуилович, суть его открытия в том, что вся наша деятельность, к сожалению, происходит в соответствии с законами механики Аристотеля, а не Нью-

тона и Галилея — попробуйте-ка пустить на самотек организацию какого-либо эксперимента — сами знаете, что из этого получится.

«В самом деле, хорошим примером формального действия механики Аристотеля является движение какого-нибудь тела в вязкой среде. Чтобы тело (дело) двигалось, его непрерывно надо толкать — вот суть механики Аристотеля! Случай с лифтом, так удививший неопытного К., есть всего только малюсенькая частность в действии всеобъемлющего закона, установленного великим греком».

Люди, ау!

Для широкого круга людей во всем мире профессор И. С. Шкловский — прежде всего, автор знаменитой книги «Вселенная, жизнь, разум». Впервые она вышла на русском языке в 1962 г. и выдержала шесть переизданий. Эта книга была переведена на многие языки народов мира, интерес к ней никогда не падал, так как для каждого нового поколения она является все таким же откровением, как и для первых ее читателей.

«Я особенно горжусь, что книга вышла в издании для слепых — шрифтом Брайля! Четыре толстенных тома, сделанные на бумаге, похожей на картон, производят страшное впечатление».

«Вселенная, жизнь, разум» — это книга о Вселенной, возможности существования жизни в ней, и, главное, о возможности существования в ней не просто жизни, но жизни разумной. Она была написана «на одном дыхании». Тогда, в 1962 г., в период «бури и натиска» казалось, что гигантские успехи всеволновой астрономии не могут не привести к обнаружению сигналов искусственного происхождения.

Этого не произошло. Космос молчал, и точка зрения Шкловского изменилась. Он пришел к выводу, что наша цивилизация существует, скорее всего, в единственном числе.

Мы не хотим здесь приводить все про и contra в пользу той или иной точки зрения. В конце концов мы пишем не об этой старейшей, как мир, проблеме, а об Иосифе Самуиловиче.

По его мнению, «в настоящее время, характеризуемое огромными успехами астрономии, утверждение о нашем практическом космическом одиночестве значительно лучше обосновывается конкретными научными фактами, чем традиционное, ставшее уже догматическим ходячее мнение о множественности обитаемых миров...

Возможность нашего практического антропоцентризма хотя бы в Местной системе галактик мне представляется неизмеримо



Автопортрет

богаче в философском, этическом и нравственном плане, чем традиционное «Люди, ау!»*).

Все мы знаем, что наш мир находится на грани катастрофы, и одной из главных причин этого является отсутствие взаимопонимания. Ну, а если мы еще и одиноки во Вселенной, то...

В этой связи мы расскажем историю эпиграфов к книге И. С. Шкловского «Вселенная, жизнь, разум».

*) Шкловский И. С. Отвечаю Лему (О критических замечаниях Ст. Лема по поводу моей статьи «Возможная уникальность разумной жизни во Вселенной») // Знание — сила. — 1977. — № 7. — С. 41—42.

Книга состоит из трех частей (27 глав): первая — «Астрономический аспект проблемы», вторая — «Жизнь во Вселенной», третья — «Разумная жизнь во Вселенной». Каждая часть предвращается эпиграфом.

К общеастрономической главе хороший эпиграф дал мне знаковый литературный критик Бен Сарнов («И страшным, страшным крепом к другим каким-нибудь неведомым Вселенным повернут Млечный Путь» — это из Пастернака). Сложнее получилось с эпиграфом к футурологической главе... Незадолго до этого я получил письмо от своего ныне покойного старого друга, товарища по Дальневосточному университету С. Д. Соловьева. Между прочим, в этом письме были такие строчки: «...На днях перечитал новые стихи Асеева. К старости он стал писать лучше. Вот почитай слегка подправленные мною строфы:

А любопытно, черт возьми, что будет после нас с людьми —
Что станется потом?
Какие платья будут шить? Кому в ладоши будут бить?
К каким планетам плыть?»

Но ведь это и есть тот самый эпиграф, который мне так нужен! И только при корректуре я вспомнил приписку Соловьева насчет «слегка подправленных строф». Значит, эти поправившиеся мне строчки — не подлинный Асеев? Может случиться скандал! Тем более, как я узнал, у маститого поэта был довольно скандальный характер. С большим трудом нашел книжку Асеева, где напечатаны эти строки. Худшие мои опасения оправдались: у Асеева после «Кому в ладоши будут бить?» стояло звукоподражание «тим-там, тим-там, тим-там!» А ведь весь смысл был для меня в соловьевской строчке «К каким планетам плыть?» Пришлось выбросить эту концовку и обрубить строки на «ладошках», в которые будут бить наши потомки. Но зато в следующих изданиях, уже после смерти Асеева, я концовку Соловьева восстановил... Да простят меня ревнители неприкосновенности поэтического замысла и священности авторского права».

Как вы попали, это эпиграф к третьей части. Эпиграфом же ко второй части (о котором, собственно, идет рассказ) Шкловский взял стихи Н. С. Гумилева — широко известного в начале века поэта, главы русского акмеизма (мужа А. А. Ахматовой) — из цикла «К синей звезде»:

На далекой звезде Венере
Солнце пламенней и золотистей,
На Венере, ах, на Венере
У деревьев синие листья...

В последующих изданиях эпиграфы к первой и второй частям не менялись. Эпиграф же к третьей части в последнем (пятом) издании Иосиф Самуилович вообще заменил другим — вместо

Н. Асесва появился Н. Ильф («Записные книжки»): «Жить на такой планете — зря время терять!».

Закономерно, — подумаете Вы, — очень точное отражение изменившегося отношения Шкловского к проблеме внезапных цивилизаций. Да, конечно, но дело не только в этом.

Не исключено, что выдержка из «Записных книжек» Ильфа появилась не только в связи с изменившейся авторской позицией по поводу внезапных цивилизаций, но и в связи с историей второго («венерапанского») эпиграфа.

В феврале 1961 г. к Венере стартовала первая советская ракета. В связи с этим «Известия» напечатали статью Иосифа Самуиловича, посвященную Венере и столь знаменитому событию. Статья начиналась с этих давно забытых стихов.

«Я был чрезвычайно горд своим поступком *) и, расприраемый высокими чувствами, послал Анне Андреевне Ахматовой вырезку из «Известий», сопроводив ее небольшим почтительным письмом. Специально для этого я узнал адрес ее московских друзей, у которых она всегда останавливалась, когда бывала в столице. Долго ждал ответа — ведь должна же была она обрадоваться такому из ряда вон выходящему событию! Прошли недели, месяцы. Я точно установил, что Ахматова была в Москве. Увы, ответа я так никогда от нее не дождался, хотя с достоверностью узнал, что письмо мое она получила».

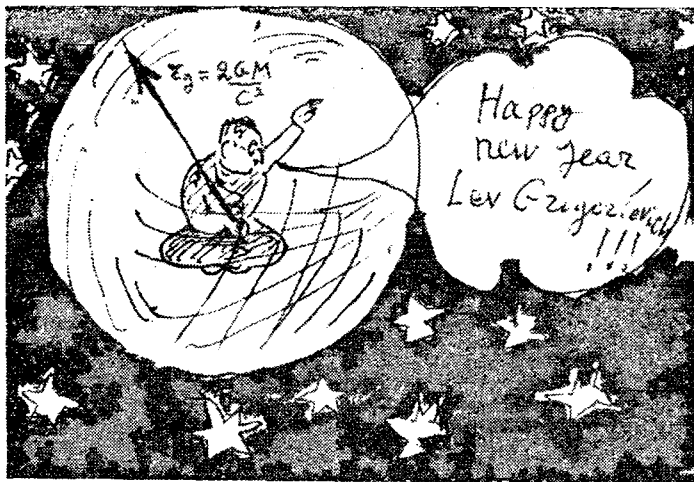
Действительно, «жить на такой планете — зря время терять», если даже одинаково чувствующие свое время люди, люди одного мироощущения, одного «духовного движения» не слишком хорошо понимают друг друга. Впрочем, кто знает?

«Причину молчания Анны Андреевны я узнал только через много лет. Оказывается, цикл стихов «К синей звезде» Гумилев посвятил другой женщине! Это просто поразительно — до конца своих дней она оставалась женщиной и никогда не была старухой!».

«Бог на стороне больших батальонов»?

«Откуда же мне было тогда знать, что весна и первая половина лета далекого 1947 года будут самыми яркими и, пожалуй, самыми счастливыми в моей сложной, теперь уже приближающейся к финишу, жизни. В ту третью послевоенную весну, до края наполненный здоровьем, молодостью и непоколебимой верой в бесконечное и радостное будущее, я считал само собой разумеющимся, что предстоящая экспедиция к тропику Козерога — в далекую

*) После смерти Н. С. Гумилева (1921 г.) это была первая, насколько нам известно, публикация его стихов.



Новогоднее поздравление американскому астрофизiku Лео Гольбергу (И. С. Шкловский изобразил себя в черной дыре)

сказочно прекрасную Бразилию — это только начало. Что будет еще очень, очень много хорошего, волнующего душу, пока неизвестного. После убогой довоенной юности, после тяжких мучений военных лет передо мной вдруг наконец-то открылся мир — таким, каким он казался в детстве, когда я в своем маленьком родном Глухове замирал в ожидании очередного номера выписанного мне волшебного журнала «Всемирный следопыт» с его многочисленными приложениями. То были журналы «Вокруг света», «Всемирный турист» и книги полного собрания сочинений Джека Лондона в полосато-коричневых бумажных обложках. Читая запоем «Маракотову бездну» Конан-Дойля или, скажем, «Путешествие на Снарке» Лондона, я был за тысячи миль от родной Черниговщины. Соленные брызги моря, свист ветра в корабельных снастях, прокаленные тропическим солнцем отважные люди — вот чем я тогда грезил. Вообще у меня осталось ощущение от детства, как от парада удивительно ярких и сочных красок. На всю жизнь врезалось воспоминание об одном летнем утре. Проснувшись, я долго смотрел в окно, где на ярчайшее синее небо проектировались сочные, зеленые листья старой груши. Меня пронзила мысль о радикальном отличии синего и зеленого цвета. А ведь я в своих тогдашних художнических занятиях по причине отсутствия хорошей зеленой краски (нищета!) смешивал синюю и желтую. «Что же я делаю? Ведь синий и зеленый цвета — это цвета моря и равнины...»

А потом пришла суровая и бедная юность. Муза дальних странствий ушла куда-то в область подсознания. Живя в далеком Владивостоке и случайно бросив взгляд на карту Родины, я неизменно ежился: «Куда же это меня занесло!» А в войну карты фронтов уже вызвали совершенно другие эмоции — вначале страшные, а потом вселяли надежду.

Война закончилась. Спасаясь от убогой реальности, я жадно увлекся наукой. Мне очень повезло, что начало моей научной карьеры почти точно совпало с наступлением эпохи «бури и натиска» в науке о себе. Пришла «вторая революция» в астрономии, и я это понял всем своим существом. Вот где мне помогли детские мечты о дальних странах! Довольно часто я чувствовал себя таким Пигафеттой и Орельяпой, прокладывающим путь в неведомой, таинственно-прекрасной стране. Глубоко убежден, что без детских грез за чтением «Всемирного следопыта», Лондона и Стивенсона я никогда не сделал бы науке того, что сделал.

В этой самой науке я был странной смесью художника и кописта. Подобные феномены появляются только в эпохи ломки привычных, устоявшихся представлений и замены их новыми. Уже сейчас такой стиль работы невозможен. Наполеоновское правило «Бог на стороне больших батальонов» в наши дни действует неукоснительно».

Принцип Паули

Среди фундаментальных запретов физики имеется и принцип Паули, о котором не упомянул Шкловский в беседе с Антонио (см. «Сумму запретов»). Суть его в том, что в данном квантовом состоянии спин электрона может быть направлен либо в одну, либо в другую сторону *).

«Или-или», как шутят в Одессе. Феномен Шкловского не может быть понят до конца без принципа Паули.

— Бросьте Вы, Иосиф Самуилович, из-за пустяков себе нервы портить! Берегите здоровье! — сказал не на шутку разволновавшемуся Шкловскому сотрудник, навещавший его в больнице.

— Я могу находиться только в двух состояниях, — ответил Иосиф Самуилович, — или живым, каким Вы меня знаете, или не живым. Другим я не бываю **).

Он умер 3 марта 1985 г. от инсульта, которого могло и не быть. Впрочем, в этом случае статью следовало бы назвать иначе.

*) Разумеется, в общем виде принцип Паули формулируется иначе.

**) *Комберг Б. В.* // И. С. Шкловский и современная астрофизика. — М.: Знание, 1986.

ПРЕДИСЛОВИЕ К ПЕРВОМУ ИЗДАНИЮ

В этой книге собраны популярные и «полупопулярные» статьи, которые были опубликованы мною в различных журналах (преимущественно «Вопросы философии», «Природа» и «Земля и Вселенная»). Самая «старая» из статей («Размышления об астрономии...») была напечатана довольно давно, еще в 1969 г., в то время как несколько статей опубликованы в текущем, 1981 г. Старые статьи подверглись при подготовке книги к печати лишь незначительной «модернизации», отражающей прогресс науки. Поэтому они несут на себе отпечаток того времени, когда они были написаны. Я полагаю, что это не так уж плохо...

Послевоенные три с половиной десятилетия ознаменовались огромным диапазоном астрономических исследований, приведших к таким открытиям, которые коренным образом изменили наши представления о Вселенной. Этот период развития нашей древней науки с полным основанием называется «второй революцией в астрономии». Известно, что первая революция в астрономии имела место в XVI и XVII веках. Ее важнейшие результаты — переход от геоцентрической к гелиоцентрической системе и изобретение телескопа. Основным результатом второй революции в астрономии является то, что эта наука стала всеволновой, в то время, как все предыдущие века предметом исследований было только оптическое излучение различных космических объектов. Другим фундаментальным результатом второй революции является то, что астрономия стала насквозь эволюционной, в то время как до этого она была в значительной степени статической. Этим основным вопросам в книге посвящены две статьи («Размышления об астрономии...» и «Вторая революция в астрономии подходит к концу»).

Ряд статей относится к конкретным достижениям астрономии за последние десятилетия. Эти статьи посвящены отдельным узловым проблемам современной астрономии, тесно связанным с общей проблемой эволюции звезд и галактик. Это статьи о планетарных туманностях и вспышках сверхновых звезд. Проблемы эти нельзя отнести к числу новых. Но только в последние годы здесь был достигнут ощутимый прогресс, в значительной степени объясняемый новыми методами исследований. Статья «Современная метagalактическая астрономия и проблема активности ядер галактик» освещает проблемы едва ли не важнейшей части современной астрономии — исследования Метagalактики.

Астрономия — отнюдь не изолированная наука. Прежде всего она органически связана с физикой, частью которой она, по существу, является. Связи астрономии с таким очень важным разделом современной физики, как физика плазмы, в книге посвящена отдельная статья. В последние два десятилетия все теснее становятся связи астрономии с космонавтикой. Дело доходит до того, что широкая публика и даже некоторые специалисты отождествляют обе науки, объединяя их под несколько расплывчатым понятием «Исследования Космоса». Разъяснению этого недоразумения в книге посвящена специальная статья «Первое 20-летие космической эры и астрономия», отдельные положения которой могут показаться энтузиастам космонавтики спорными... Мы, конечно, ни в коей мере не пытаемся умалить грандиозные достижения космонавтики, без которой некоторые важные области современной астрономии были бы просто невысказаны. Тому примером является гамма-астрономия, которой посвящена в этой книге отдельная статья.

Совершенно другой круг вопросов рассматривается в статье «О возможной уникальности разумной жизни во Вселенной». Проблема внеземных цивилизаций и возможности связи с ними, как известно, привлекает к себе самое живое внимание широкой публики. В этой статье я попытался охладить пыл пламенных энтузиастов идеи установления контактов с инопланетянами. Идея о нашей уникальности, обоснованная в этой статье, в последние годы приобретает все большее количество сторонников.

Следует помнить, что уровень популяризации разных статей, составивших эту книгу, различен. Это вполне естественно, так как они публиковались в разных журналах. Всё же статьи вполне доступны для читателей со

средним образованием, интересующихся проблемами современной науки. Вместе с тем, книга эта будет полезна и для специалистов — физиков и астрономов, а также студентов и аспирантов.

Конечно, статьи, включенные в этот сборник, не исчерпывают все важнейшие проблемы современной астрономии. В значительной степени они отражают круг проблем, которыми занимается автор на протяжении ряда лет своей профессиональной деятельности. Приходится, например, сожалеть, что в книге нет статей по проблемам образования звезд из газопылевой межзвездной среды и статьи о рентгеновской астрономии. Но, как говорится, «нельзя объять необъятное» — особенно одному автору. Если эта книга вызовет живой интерес у читателя к современной астрономии, автор будет считать свою задачу выполненной.

РАЗМЫШЛЕНИЯ ОБ АСТРОНОМИИ, ЕЕ ВЗАИМОСВЯЗИ С ФИЗИКОЙ И ТЕХНОЛОГИЕЙ И ВЛИЯНИИ НА СОВРЕМЕННУЮ КУЛЬТУРУ

Древнейшая наука — астрономия всегда занимала совершенно особое место в «интеллектуальной истории» человечества. Хотя значение астрономических знаний для общественной практики во все времена было очень велико (вспомним все мировые календари, способы навигации и пр.), главное значение астрономии состояло в том, что она прежде всего определяла основы мировоззрения разных эпох и народов.

В нашей стране распространению астрономических знаний среди широких слоев населения всегда уделялось очень большое внимание. Почти каждый раз в конце популярных лекций задают стереотипный вопрос: «А какова практическая ценность астрономических знаний?» Лучшее всего на этот вопрос как-то ответил один выдающийся советский астрофизик: «Человек отличается от одного животного, в частности, тем, что иногда поднимает глаза к небу». С этим полным достоинства и остроумия ответом, бичующим мелкотравчатый утилитаризм, я думаю, согласятся все астрономы. Тем не менее в наше время уже пельзя, отвечая на этот вопрос, ссылаться лишь на набившие оскомину примеры, касающиеся службы времени, навигации и пр. Эти примеры были актуальными много десятилетий тому назад, а сейчас они безнадежно устарели.

Развитие физики привело к появлению эталонов времени гораздо более точных, чем период вращения Земли вокруг своей оси. Более того, используя эти новые эталоны времени, астрономы весьма успешно исследуют ничтожные отклонения вращения Земли от равномерного. Что касается навигации, особенно в авиации, то развитие радиофизики (приведшее, например, к созданию системы

радиомаяков), по существу, упразднило астрономические методы, столь славно послужившие человечеству в прошлом.

Для популяризации важной идеи о пользе астрономии для общественной практики нужны сейчас другие примеры. Мы постараемся несколько таких примеров привести ниже. Но прежде нам необходимо остановиться на некоторых аспектах взаимосвязи астрономии и физики, ибо преимущественно через физику осуществляется влияние астрономии на технологию.

Первые тысячелетия своего развития астрономия не была явно связана с физикой. В древности «небесные», «идеальные» явления противопоставлялись земным. Почти безраздельно господствовала геоцентрическая система. Считалось, что планеты обращаются вокруг Земли по идеальным окружностям — эпициклам и деферентам, а «неподвижные» звезды, прикрепленные к некоей идеальной «хрустальной сфере», вращаются вместе с нею вокруг той же Земли. Однако после революции в естествознании, связанной с великими именами Коперника, Кеплера, Галилея и Ньютона, стало ясно, что имеется только одна наука о природе и что одни и те же законы управляют как движением небесных тел, так и земных. Пожалуй, нельзя ответить на вопрос, кем были Галилей и Ньютон — физиками или астрономами? Когда-то было такое емкое и очень удачное выражение «натуральная философия». В современном научном языке это выражение, к сожалению, отсутствует. Для развития физики в XVII и XVIII вв. характерна теснейшая связь с астрономией. Законы физики выводились и проверялись на астрономических явлениях.

В дальнейшем, однако, бурное развитие и дифференциация наук о природе постепенно привели ко все более растущему обособлению физики от астрономии. Все чаще и чаще физики стали забывать о «космических» источниках своей науки. Как-то постепенно, исподволь, у них росло пренебрежение к астрономии, сопровождаемое недооценкой роли астрономии для общей системы физического знания. Закономерным следствием этого нездорового процесса явилось прогрессивно растущее невежество в области астрономии среди подавляющего большинства физиков. На физических факультетах университетов преподаванию астрономии уделялось все меньше и меньше внимания. Частично это было связано с непрерывным увеличением нагрузки студентов и нехваткой лекцион-

ных часов, но факт остается фактом: выросло поколение физиков, имеющее об астрономии самое поверхностное представление.

Со стороны астрономов развитие также шло в направлении, которое трудно назвать нормальным. Среди них все более и более начинало преобладать «потребительское» отношение к физике. Астрономы старшего поколения с трудом усваивали «новинки» из области электроники и радиофизики, которые властно вторгались в практику астрономических исследований. Между тем сразу же после окончания второй мировой войны произошли важные события, коренным образом преобразовавшие древнюю науку о небе.

На протяжении тысячелетий единственным предметом исследования астрономов были световые лучи, приходящие к нам от удаленных космических объектов. Если древние астрономы занимались преимущественно изучением направлений приходящих на землю лучей света и их изменениями со временем, то начиная с девятнадцатого столетия все большее значение приобретает количественный и качественный анализ световых потоков от небесных тел. Количественный анализ привел к развитию астрофотометрии — важной области практической астрофизики, тогда как качественный анализ — астроспектроскопии, основы астрофизики. Все многообразие информации о природе звезд, туманностей и планет было в основном почерпнуто из анализа их спектров. Однако световые волны, как известно, — это лишь очень малая часть огромного диапазона электромагнитных волн, которые излучаются (и поглощаются) различными небесными телами. Совершенно очевидно, что, ограничивая себя узкой спектральной областью видимых лучей, астрономы получали только ограниченную информацию о космических объектах.

Бурное развитие радиофизики во время второй мировой войны (радиолокация!) привело к такому коренному усовершенствованию приемников и антенн, что оказалось возможным принимать и измерять весьма слабое радионизлучение удаленных космических объектов. Так возникла радиоастрономия, которая сейчас, спустя три с половиной десятилетия после своего возникновения, радикально изменила астрономию, обогатив ее рядом открытий первостепенной важности. Этот пример наглядно демонстрирует зависимость науки от уровня технологического развития общества. Ведь обнаружить радионизлу-

чение Солнца, существование которого можно было ожидать, исходя из самых общих соображений, пытался еще в 1903 г. сэр Оливер Лодж (на волне около 3 см). Эта попытка была обречена на неудачу прежде всего из-за недостаточного технологического развития общества того времени. Сейчас на вооружении радиоастрономии находятся самые большие в мире (размером в сотни метров) антенны и самые чувствительные из всех существующих приемники радиополучения. Реализованы интерферометрические устройства с длиной базиса во много тысяч километров. Уже сейчас размеры земного шара ограничивают разрешающую способность этих гигантских интерферометров, определяемую длиной их базиса. И все же достигнутая в наши дни разрешающая способность таких интерферометров (около одной тысячной секунды дуги) в сотни раз лучше, чем у самых больших оптических телескопов. Но это не предел! На очереди создание «космических» интерферометров, одна из антенн которых будет помещена на межпланетной ракете, а вторая — на Земле. Такой проект кажется фантастическим только на первый взгляд, и мы не сомневаемся, что в ближайшие несколько лет он будет реализован *).

Широкое внедрение радиоастрономии в астрономию не ограничивалось только большим количеством выдающихся открытий. В астрономии стали работать, притом весьма успешно, люди, никогда раньше астрономией не занимавшиеся. Это прежде всего инженеры, специалисты в области радиофизики, радиоэлектроники и даже кибернетики. Сама методика работы стала для «астрономов-классиков» совершенно непривычной. Находились среди них и такие, которые смотрели на этих новых людей примерно так же, как некогда флотские офицеры на корабельных механиков, машинистов, электриков и других «пенастоящих» моряков. Такая точка зрения, однако, не могла долго держаться. Уже слишком ощутимы были результаты радиоастрономических исследований.

Хотя эти новые методы радикально изменили лицо астрономии, ее сущность осталась неизменной. А сущность эта сводится к наблюдению электромагнитных излучений от различных космических объектов при помощи подходящих приемников. За свою многовековую историю астрономия пережила несколько революций, пол-

*) В начале 90-х годов предусматривается запуск первого космического радиотелескопа с диаметром зеркала 10 м (см. с. 220).

ностью изменявших ее лицо, но не сущность. Вспомним, что долгие века астрономия развивалась без оптических телескопов вообще. Можем ли мы представить себе сейчас обсерваторию без телескопов? Новое поколение астрономов рассматривает радиоастрономию как полноправную ветвь своей науки. И сейчас уже почти нет тех коллизий, о которых шла речь выше.

Другой революцией, происшедшей в астрономии в последнее время, является ее выход в космос. Это опять-таки связано с бурным развитием технологии, в данном случае ракетной. Возникла ракетная астрономия, столь же радикально отличающаяся от классической астрономии, как и радиоастрономия. Установив научные приборы (счетчики фотонов, телескопы) на космические платформы, астрономы пробили мощную броню земной атмосферы, полностью поглощающей коротковолновое электромагнитное излучение (ультрафиолетовое, рентгеновское). Тем самым оказалось возможным прежде всего исследовать ультрафиолетовое и рентгеновское излучение Солнца, звезд и туманностей, что необычайно расширило объем нашей информации о природе этих объектов. Техника таких исследований весьма специфична и имеет мало общего с методами классической астрономии. Но эта новая техника, так же как и в случае радиоастрономии, не изменяет основного содержания предмета астрономии. Обогащенная новыми грандиозными возможностями радио- и ракетной астрономии, древнейшая из наук как бы обрела вторую молодость, и ныне она стоит в авангарде наук о неживой природе.

Эти грандиозные изменения последних трех десятилетий, происшедшие буквально на наших глазах, снова как будто бы «нормализовали» взаимоотношения между физикой и астрономией в духе лучших традиций XVII и XVIII веков. За эти годы в астрономию влились многочисленные отряды физиков и инженеров, и от старого, кастового духа изолированных обсерваторий мало что осталось. В конечном счете все эти многозначительные изменения были обусловлены бурным развитием технологии. Последняя же своими успехами обязана выдающимся достижениям физики.

Успление зависимости современной астрономии от уровня технологического развития общества влечет за собой естественное удорожание астрономических исследований. Прошли те времена, когда, например, дюрихский аптекарь Швабе, любительски занимаясь астрономией,

смог сделать выдающееся открытие 11-летнего цикла солнечной активности или когда лорд Росс мог домашними средствами построить замечательные по тому времени телескопы. Сейчас стоимость больших оптических и радиотелескопов оценивается суммой порядка десятков миллионов долларов каждый. Что же касается астрономических исследований на космических ракетах и спутниках, то только такие могучие сверхдержавы, как СССР и США, могут проводить их в достаточно широком масштабе. Здесь расходы составляют поистине астрономические суммы. Недаром один из наших американских коллег шуточно предложил ввести новую единицу стоимости космических экспериментов — «световой доллар». При организации и планировании подобных экспериментов были бы чрезвычайно плодотворны помощь и сотрудничество между странами с высоким потенциалом космической технологии и странами, которые таковым не обладают, но имеют достаточное количество талантливых исследователей. Насколько нам известно, первые шаги в этом направлении уже делаются, что имеет большое значение для международного сотрудничества *)

Астрономической науке во все времена были присущи особенно развитые международные связи. Ведь космических объектов очень много, и только разумно планируемая международная кооперация может обеспечить достаточно быстрый прогресс. В наше время эти славные традиции астрономии получают новое развитие. Например, при разработке «глобальных» интерференционных систем в радиоастрономии, о которых речь шла выше, международное сотрудничество совершенно необходимо.

Итак, наше время характеризуется бурным вторжением в астрономию новых методов исследований, определяемых уровнем технологического развития общества, связанным с этим грандиозным удорожанием астрономических исследований и возросшей необходимостью сотрудничества между астрономами разных стран.

Прежде чем перейти к важной проблеме обратного влияния астрономии на физику и технологию, хотелось бы обратить внимание на одну особенность астрономии. Дело в том, что между открытием какого-нибудь нового явления и построением его полной теории должна иметь место интерпретация явлений без какой бы то ни было

*) Эту функцию весьма успешно выполняет сейчас организация «Интеркосмос», объединяющая преимущественно страны социалистического содружества.

серьезной теоретической разработки. В физике интерпретация также играет большую роль, но в астрономии она занимает совершенно особое положение. На важность этого обстоятельства, насколько нам известно, впервые обратил внимание В. А. Амбарцумян. Поясним сказанное несколькими примерами.

В настоящее время нет недостатка в довольно рафинированных теориях так называемых «квазизвездных источников» («квазаров»). Эти теории, как правило, взаимно исключают друг друга, предлагались и предлагаются преимущественно физиками-теоретиками, мало знакомыми со спецификой астрономии. Следует, однако, сказать, что пока эти многочисленные теории по меньшей мере преждевременны, ибо интерпретация данных наблюдений «квазаров» в настоящее время еще отсутствует. Можно ли говорить о теориях, если мы с достоверностью не знаем, на каких расстояниях находятся от нас эти загадочные объекты? Оценки различных авторов, основывающиеся на вере в ту или иную «теорию», резко отличаются друг от друга. Мы не знаем даже самым приблизительным образом, какова масса «квазаров», как долго они излучают и какое отношение имеют к другим космическим объектам (например, галактикам). Пока на эти вопросы нет вытекающих из анализа наблюдений однозначных ответов, никакая физическая теория этих объектов невозможна *). Приведем другой пример: это знаменитая проблема нейтронных звезд. В настоящее время имеются достаточно развитые теории этих объектов. Не хватает «только» одного: с достоверностью обнаружить эти объекты на небе из анализа их наблюдаемых характеристик. Кандидатами являются многие объекты, например, большинство источников космического рентгеновского излучения, которые были обнаружены методами ракетной астрономии несколько лет тому назад. В последнее время такими кандидатами стали недавно открытые «пульсары**).

Можно привести и еще один, более простой пример. Анализ орбитального движения, цвета и видимой звездной величины знаменитого спутника Сириуса с неизбежностью привел к выводу, что вещество этой небольшой

*) Спустя 12 лет после того, как были написаны эти строки, положение изменилось к лучшему (см. статью «Современная метагалактическая астрономия...» на с. 111 этого сборника).

**) Сейчас можно считать доказанным, что нейтронные звезды обнаружены методами радио- и рентгеновской астрономии.

звездочки имеет среднюю плотность, в тысячи раз большую плотности воды. Это классический пример интерпретации. Физическая теория таких звезд (так называемых «белых карликов»), основывающаяся на квантовых представлениях о вырожденном газе, могла быть построена и безотносительно к открытию подобных объектов. В большинстве случаев в астрономии интерпретация предшествует построению теории, хотя бывают и исключения (см. приведенный выше пример нейтронных звезд).

На наш взгляд, фундаментальным, даже принципиальным отличием астрономии от физики является наскавозь эволюционный характер науки о небе. Между тем, законы физики, свойства элементарных частиц и полей извечны, т. е. не зависят от времени. Попытки некоторых теоретиков (например, Дирака) ввести представление о медленном изменении мировых постоянных (заряда электрона постоянной Планка, скорости света) не увенчались успехом. Как раз в последние годы астрономия дала яркие доказательства того, что миллиарды лет тому назад мировые постоянные имели практически современное значение. Из астрономических наблюдений также следует, что вероятности элементарных процессов (ионизации, рекомбинации и пр.) миллиарды лет тому назад были такими же, как сейчас. Было время (в XVIII и первой половине XIX в.), когда астрономия, сводившаяся практически только к небесной механике Солнечной системы, также не была эволюционной. Современная астрономия, однако, вся эволюционна. Эволюция наблюдается на всех уровнях: активные образования на Солнце, кометы, планетные атмосферы, газовые туманности, остатки взрывов сверхновых звезд, сами звезды, ядра галактик, галактики — все эти объекты эволюционируют с характерными для них шкалами времени. Изучая Вселенную на более ранних этапах ее эволюции, мы с необходимостью приходим к эпохе, когда во Вселенной не было звезд. В еще более ранние эпохи не было галактик и их скоплений — была только более или менее однородная водородно-гелиевая плазма.

Необходимо подчеркнуть, что последний вывод отнюдь не является чисто теоретическим. Удивительный прогресс в радиоастрономии привел к 1965 г. к обнаружению так называемого «реликтового» радионизлучения, имеющего такой же спектральный состав, как излучающее черное тело, нагретое до температуры около 3 кельвинов. Это излучение заполняет всю наблюдаемую Вселенную. Доказа-

но, что оно представляет собой «выродившееся» по причине красного смещения излучение горячей плазмы в эпоху, когда никаких галактик еще не было.

Принципиально эволюционный характер астрономии роднит ее с другими науками о природе — биологией и геологией. Во избежание недоразумений заметим, что и в физике приходится иногда учитывать эволюцию. Это бывает тогда, когда предметом исследования являются некоторые необратимые макроскопические процессы (например, взрывы). Важный раздел физики — «физическая кинетика», по существу, занимается эволюционными процессами.

Итак, едва ли не основным результатом многолетних исследований астрономических объектов является утверждение о том, что все они эволюционируют. Стоит немного задуматься о характере и невероятной сложности и разветвленности процессов эволюции в природе. Особенно большое впечатление производит анализ эволюции в биологии. В настоящее время зоологи и ботаники насчитывают на Земле $2 \cdot 10^6$ видов животных и растений. А за все время эволюции жизни на нашей планете их было не меньше 10^9 . И все это неизмеримо богатое многообразие сложнейших систем и форм могло произойти из нескольких нитей довольно простой молекулы ДНК, содержащей всего четыре пуринных основания.

Что послужило движущей силой этой поразительной эволюции от простого к сложному? Эволюционная биология указывает на два фактора: а) мутации, б) естественный отбор. Как же обстоит дело в случае эволюции Вселенной? Здесь мы также наблюдаем развитие от простого к сложному. Если мы обратимся к той эпохе в эволюции Вселенной, когда возникло наблюдаемое сейчас «реликтовое» излучение, то обнаружим, что тогдашняя Вселенная была умеренно нагретой — до температуры около 4000 К — плазмой, находящейся в сравнительно небольшой области с радиусом около 15 миллионов световых лет, что примерно в 1000 раз меньше ее современных размеров. Концентрация частиц в этой плазме была около $3 \cdot 10^3$ в кубическом сантиметре. Химический состав плазмы, как уже упоминалось выше, был очень простым: она состояла из водорода и гелия. Более тяжелых элементов в ней не содержалось. Из этой простейшей плазмы в процессе дальнейшей эволюции возникло все огромное многообразие наблюдаемой нами в настоящее время Вселенной. Каким-то в высшей степени не про-

стым способом образовались тяжелые элементы, частицы сверхвысоких энергий — космические лучи (которые, как доказывает современная астрономия, не могли образоваться в ту отдаленную эпоху), галактики, звезды, планеты и в конце концов все многообразие живых существ. Мы ведь пока знаем характер эволюции жизни на Земле; но и на других планетах, обращающихся вокруг других солнц, могут быть свои живые организмы, скорее всего весьма отличные от наших.

Каков же механизм этой эволюции? Что было движущей силой данного процесса? Мы можем указать по крайней мере на один такой фактор, с необходимостью вызывающий эволюцию Вселенной. Речь идет о так называемой «гравитационной неустойчивости», смысл которой был ясен еще Ньютону, а теория ее была создана в начале нашего столетия известным английским астрономом Джинсом. Причина этой неустойчивости состоит в том, что вследствие всемирного тяготения материя не может быть распределена с постоянной плотностью в сколь угодно большом объеме. В таком объеме с неизбежностью начнется процесс образования отдельных конденсаций, сгущений. Первоначально однородная плазма должна была распасться на отдельные сгустки, из которых в дальнейшем образовались скопления галактик. В каждом таком скоплении со временем также возникла гравитационная неустойчивость, приведшая к образованию отдельных галактик, а потом звезд. Процесс образования звезд, как твердо установлено астрономией, продолжается и в настоящее время.

Очень может быть, что, кроме гравитационной неустойчивости, действуют еще и другие фундаментальные причины, приводящие к эволюции материи во Вселенной. Эта важнейшая проблема, имеющая глубокий философский смысл, требует еще тщательного исследования.

Подобно тому, как пока остается открытым вопрос, как возникли первые, примитивные молекулы ДНК на первобытной Земле, точно так же пока покрыт мраком вопрос о первоначальной причине расширения Вселенной. В своем продвижении назад, к той эпохе, когда Вселенная была более молодой, мы остановились на стадии возникновения «редиктового» излучения. Тогда возраст Вселенной был уже около 10 миллионов лет, причем она состояла из довольно простой плазмы. Ну, а что было раньше? Эта весьма важная проблема, имеющая огромное познавательное значение для человечества, сейчас занимает

воображение ряда теоретиков. К сожалению, астрономия пока не располагает методами, которые позволили бы эту удаленную эпоху сделать наблюдаемой (подобно тому, как, изучая «реликтовое» излучение, мы наблюдаем Вселенную, когда она была в тысячу раз моложе, чем сейчас).

Можно, однако, полагать, что в ту отдаленную эпоху Вселенная была значительно меньше, плотнее и горячее, чем в эпоху образования «реликтового» излучения. Например, когда средняя плотность Вселенной была близка к плотности атомного ядра (т. е. около 10^{15} г/см³), ее радиус был немногим больше, чем 10^{13} см, что близко к расстоянию от Земли до Солнца. В научных докладах, посвященных этой проблеме, приходится слышать и о гораздо более высоких значениях плотности Вселенной в первые мгновения ее существования — вплоть до 10^{91} г/см³. Заметим, что при такой плотности радиус Вселенной составлял около 10^{-12} см, что близко к классическому радиусу электрона. Трудно отделаться от ощущения, что Вселенная чем-то напоминает элементарную частицу. А может быть более подходящей является аналогия со «сверхгеном» с огромным набором потенциальных возможностей, реализующихся при его дальнейшей эволюции?

Думается, однако, что следует ожидать полной неприменимости обычных понятий и законов физики при рассмотрении даже таких систем, которые еще не имеют столь гигантской плотности. В частности, возможно, что понятие «время» также полностью потеряет свой обычный смысл. Поэтому лишены всякого научного содержания, казалось бы, естественные вопросы: «А что же было еще раньше? Было ли у Вселенной начало?» Вполне возможно также, что дальнейшее развитие астрономии сделает наблюдаемыми и самые ранние этапы эволюции Вселенной. От тех отдаленных времен дойти к нам могут только нейтрино, свободно пронизывающие гигантские толщи вещества. Сейчас нейтринная астрономия только начинает развиваться. В недалеком будущем это развитие может преподнести нам немало сюрпризов. Если самые ранние этапы эволюции Вселенной станут предметом экспериментальных исследований, потребуются пересмотр многих привычных понятий физики. Может быть, даже придется создавать какую-то новую физику, адекватную необычному состоянию вещества на его первоначальных этапах развития. Очень может быть, что в свете этой будущей, более общей физической теории, совершенно по-

новому будут поняты законы и трудности современной физики, в частности проблема элементарных частиц, пока с трудом поддающаяся усилиям теоретиков.

Среди большинства физиков распространено заблуждение, что фундаментальные законы их науки в будущем будут открываться либо в лабораториях экспериментаторов, либо под пером теоретиков. Это раньше-де астрономические наблюдения вдохновляли Ньютона на открытие фундаментальных законов механики. Теперь же времена другие... Такая точка зрения нам представляется глубоко ошибочной. Уже сегодня можно привести опровергающий ее конкретный пример. В 1966 г. в результате анализа интересной особенности в спектрах поглощения некоторых квазизвездных источников («квazarов») возрос интерес к так называемому «лямбда-члену» в уравнениях Эйнштейна. В свое время сам Эйнштейн от этого члена отказался. Речь идет о некоей гипотетической силе, пропорциональной расстоянию между точками, которая в принципе может возникнуть при некоторых свойствах пустого пространства. Появление этой силы определяется внутренними свойствами пространства. Ничтожно малая величина указанной силы приводит к тому, что нет никакой возможности обнаружить ее в лабораторных условиях. Всегда существуют неустрашимые силы (например, гравитация), которые подавляюще превосходят ее по величине. Совершенно другое положение может возникнуть в естественных космологических условиях, где действие этой «лямбда-силы» может привести к весьма ощутимым последствиям. Оно может, например, затормозить и даже полностью прекратить дальнейшее расширение Вселенной, начиная с некоторого этапа ее эволюции. Именно такое явление и заподозрили некоторые астрономы, изучая спектры квазизвездных объектов. Если их подозрения основательны (а это покажет близкое будущее), возраст Вселенной придется увеличить в 5—6 раз, что будет иметь невообразимые последствия. Но самое главное — будет доказано, что во Вселенной действует некоторая сила, обнаружить которую можно только в результате анализа астрономических наблюдений. Эта сила связана с фундаментальными свойствами вакуума, имеющими принципиальное значение для всей системы современной теоретической физики.

Рассмотренный пример наглядно показывает, что, много заимствуя из арсенала экспериментальной и теоретической физики, астрономия не остается в долгу. Можно при-

вести и другие примеры, иллюстрирующие ту же мысль. Начнем с общезвестной идеи создания на Земле управляемых термоядерных реакторов. Эта пока еще не решенная проблема коренным образом изменит всю будущую технологию человеческого общества. Сама мысль о возможности осуществления такой управляемой реакции синтеза возникла на основе решения давнишней проблемы астрономии об источниках энергии Солнца и звезд. Природа в каждой (вернее, почти каждой) звезде демонстрирует осуществимость этой реакции, пока еще недоступной нашим физикам. Но, более того, астрономия указала те конкретные методы, с помощью которых оказывается возможным удерживать сверхгорячую плазму в ограниченном объеме. Уже более 30 лет прошло с тех пор, как астрономы, исследующие Солнце, обратили внимание на одно удивительное обстоятельство: так называемые «спокойные» протуберанцы могут в течение многих недель и даже месяцев, почти не меняя своей формы, «висеть» над поверхностью Солнца, будучи окруженными со всех сторон корональной материей. Между тем хорошо известно, что солнечная корона — это плазма, нагретая до очень высокой температуры (около миллиона градусов), в то время как температура плазмы протуберанца около 10 тысяч кельвинов. Простые расчеты показывают, что даже самые большие протуберанцы должны «прогреться» короной не дольше, чем за полчаса. При этом должен радикально измениться их спектр. Ничего подобного, однако, не происходит. В чем причина этого на первый взгляд непонятного явления? Оказывается, причина в магнитном поле, которое «теплоизолирует» протуберанцы от короны. Именно по этому пути и пошли лабораторные попытки создания в ограниченной области (внутри «магнитной бутылки») сверхгорячей плазмы.

Приведем еще один пример того, как астрономические исследования стимулируют конкретную техническую разработку проблемы осуществления управляемой термоядерной реакции. Анализ возмущений магнитного поля Земли, связанных с появлением на Солнце активной области, приводит к представлению о распространении в плазме межпланетной среды некоторой ударной волны. Но межпланетная плазма чрезвычайно разрежена. По этой причине длина свободного пробега частиц в ней во много раз больше размеров Солнечной системы. Казалось бы, при такой ситуации само возникновение ударной волны с резко очерченным фронтом невозможно. И тем не менее на-

блюдения доказывают, что такой фронт налицо. Исследование этого явления (а также других) привело к разработке концепции «бесстолкновительной плазмы», оказавшейся весьма плодотворной при решении ряда проблем управляемого термоядерного синтеза.

Можно привести и более конкретный, наглядный пример влияния астрономии на технологию. Известно, что в современной технологии весьма перспективными считаются магнитогидродинамические генераторы. Однако сама разработка этих генераторов оказалась возможной только на базе такой новой области астрофизики, какой является космическая магнитная гидродинамика, созданная свыше 30 лет тому назад выдающимся шведским ученым Альвеном. Магнитная гидродинамика нашла самые широкое применение в физике Солнца, межзвездной среды и космических лучей. Сейчас мы являемся свидетелями проникновения ее и в технологию.

Чудом технологии второй половины XX века справедливо считают квантовые генераторы и усилители электромагнитных волн — мазеры и лазеры. Физические законы, на основе которых работают эти устройства, были сформулированы Эйнштейном свыше полувека тому назад. Однако всего удивительнее то, что природа реализовала в естественных условиях космические мазеры неслыханной на Земле мощности. Несколько лет назад на волне радиолонии молекулы гидроксила (18 см) были обнаружены источники излучения очень малых угловых размеров и огромной яркости. Если эту яркость измерять в температурных единицах (как это обычно принято в астрофизике), то получится величина порядка тысяч миллиардов градусов! Как показывает довольно простой анализ, причиной такой огромной яркости может быть только мазерное усиление отдельных радиолоний молекул гидроксила, находящихся в особых условиях. Усиление происходит в отдельных конденсациях межзвездной среды, размеры которых раз в десять больше расстояния от Земли до Солнца, а масса близка к солнечной. По всем своим характеристикам эти конденсации представляют собой не что иное, как протозвезды, т. е. очень молодые объекты, являющиеся как бы переходным этапом между плотными облаками межзвездной среды и «настоящими» звездами. Таким образом, вырисовывается удивительная картина: «поворожденная» звезда как бы «кричит» на всю Галактику, пользуясь для усиления своего крика новейшими достижениями квантовой радиофизики...

Огромное значение этого открытия состоит в том, что одна из основных проблем современной астрофизики — механизм образования звезд из разреженной межзвездной среды, — рассматривавшаяся до этого в плане чисто теоретических спекуляций, стала предметом наблюдательной астрономии. В то же время детальное исследование принципов работы космических мазеров, несомненно, будет весьма полезным при разработке земных квантовых усилителей излучения. То обстоятельство, что небесные мазеры были открыты после того, как были разработаны земные, является чисто случайным. Например, уровень развития радиоастрономии в 1950 г. вполне позволял открыть мазерные космические источники на волне 18 см.

Примеры влияния современной астрофизики на физику можно было бы приумножить. Так, можно ожидать, что в близком будущем мы станем свидетелями еще более поразительных космических открытий, которые смогут революционизировать физику и технологию. Почему бы, например, не считать возможным открытие у некоторых космических объектов (достаточно конденсированных) явлений сверхпроводимости при сравнительно высоких температурах? Легко понять, что такое открытие, будучи внедрено в земную практику, ознаменовало бы собой новую эру в технологическом прогрессе человечества.

В начале этой статьи мы подчеркивали, что при всей огромной роли астрономии в развитии земной технологии она имела и имеет решающее значение для формирования мировоззрения. В наши дни мировоззренческое значение астрономии особенно велико. За 25 лет космической эры такие специальные понятия классической астрономии, как «орбита», «перигей» и многие другие вошли в разговорный язык. Нечто подобное происходило в эпоху великих открытий, когда такие понятия математической географии, неразрывно связанной с астрономией, как «широта», «долгота», «экватор», «меридиан», стали употребляться повсеместно. Овладение ближайшей к Земле областью космического пространства должно радикально изменить человеческую психологию. Люди начинают понимать не как школьную истину, а «весомо, грубо, зримо», что Земля — ничтожных размеров пылинки, затерянная в безграничных пространствах Вселенной. Образное сравнение Земли с двадцатипятицентовой монетой, которое сделал командир американского космического корабля «Аполлон-8» Борман, не так уж далеко от действительности: с расстояния наилучшего зрения (около 30 см)

Монетка имеет примерно такие же угловые размеры, как Земля с Луны. В перспективе ближайшего столетия, когда, как можно полагать, все планеты Солнечной системы будут освоены человечеством, следует ожидать коренного изменения в психологии людей в соответствии с огромным расширением области пространства, охваченного их преобразующей деятельностью. Вспомним, что неизмеримо меньшее технологическое усовершенствование — изобретение автомобиля — радикальным образом изменило многие стороны жизни человеческого общества.

Вряд ли, однако, будет преувеличением сказать, что для нашего мировоззрения самым важным вкладом, который мы могли бы ожидать от астрономии, было бы обнаружение в далеком космосе несомненных следов активности высокоорганизованной внеземной цивилизации. Пока эта проблема еще очень далека от решения. Исходя из астрономических наблюдений и теоретического анализа, следует с большой вероятностью ожидать огромного количества планетных систем во Вселенной. Значительная часть таких систем должна быть более или менее похожа на нашу Солнечную систему (см. по этому вопросу книгу автора «Вселенная, жизнь, разум», М.: Изд-во АН СССР, 1965). Но условия возникновения жизни на планетах пока еще практически неизвестны. И уж совсем неизвестно, какова вероятность такого рода эволюции жизни на какой-нибудь планете, в процессе которой возникали бы разумные существа. Автор этой статьи глубоко убежден, что эта вероятность весьма мала. Возникновение в процессе эволюции разумной жизни на той или иной планете, по нашему мнению, не является закономерным процессом, хотя статистически, если рассматривать достаточно большое количество планет с эволюционирующей жизнью, возникновение разумной жизни на немногих из них представляется закономерным. Мы, однако, пока ничего не можем сказать ни о вероятности возникновения жизни на подходящей планете, ни о вероятности ее эволюции в направлении появления разумных существ.

Потенциальные возможности высокоорганизованной цивилизации практически неограниченны. Поэтому такая цивилизация вполне может (хотя, конечно, не обязательно, должна) проявлять себя в космическом масштабе. Это означает, что она может быть наблюдаемой с галактических или даже с межгалактических расстояний. При такой ситуации астрономы могли бы наблюдать в глубинах Вселенной, так сказать, «космические чудеса». Под космиче-

ским чудом мы понимаем такое наблюдаемое явление, которое заведомо нельзя объяснить естественными законами «мертвой» природы. Допустим, например, такой фантастический случай: пекий космический радионисточник посылает импульсные сигналы, которые в двоичной системе расшифровываются как значение числа «пи» с очень большой точностью.

Заметим, однако, что в принципе «космическое чудо» может быть и не так явно выражено. Вообще не существует такой уж резкой грани между тем, что мы назвали «космическим чудом» и необычными естественными явлениями, природа которых пока еще непонятна. Например, когда летом 1967 г. кембриджские радиоастрономы открыли совершенно новый, необычный тип космических объектов — пульсары, они первое время полагали, что наконец-то «космическое чудо» обнаружено...

Будем все же надеяться, что «космическое чудо» когда-нибудь астрономы обнаружат. Очень уж как-то хочется убедиться, что Земля не есть единственное прибежище разума во Вселенной. Нужно, однако, ясно понимать, что имеющиеся астрономические данные говорят в пользу, мягко выражаясь, малой распространенности разумной жизни во Вселенной. Мы, например, полагаем, что ближайшие к нам внеземные цивилизации — наши «современники» — удалены от нас на расстояния не меньше чем тысяча световых лет.

Очень вероятно, что наша оценка слишком оптимистична. В принципе, например, нельзя исключить возможность того, что в современную эпоху Земля — единственный очаг разумной жизни в Галактике и, кто знает, может быть, и в значительно больших пространственно-временных областях Вселенной. Философам стоило бы серьезно подумать о такой возможности. По-видимому, здесь возникают проблемы совершенно нетривиального характера, особенно, если учесть, что длительность «психозойской» эры на Земле может быть ограниченной.

Вопросы философии. — 1969. — № 5.

ПЕРВОЕ 20-ЛЕТНЕ КОСМИЧЕСКОЙ ЭРЫ И АСТРОНОМИЯ

Сейчас уже можно (да и нужно) подвести первые итоги двадцатилетия космической эры. В этой статье мы сконцентрируем наше внимание на том огромном импульсе, который получили фундаментальные науки, прежде всего астрономия, благодаря стремительному развитию космических исследований за два минувших десятилетия. Но прежде всего остановимся на одном вопросе, на первый взгляд кажущемся чисто терминологическим.

Долгие века понятия «Вселенная» и «космос» казались синонимами. Предмет астрономии можно было определить как науку о *космосе*. Последние два десятилетия, однако, привели к четкому размежеванию космических исследований и астрономии. Первые представляют собой исследования межпланетного пространства и отдельных планет и спутников *прямыми методами*, т. е. методами физического эксперимента, сама возможность применения которых для решения *астрономических проблем* появилась только в связи с развитием ракетной космической техники, позволившей доставить приборы, а иногда и людей, непосредственно к исследуемым объектам Солнечной системы. Между тем предмет астрономии и основное ее содержание — всесторонние исследования излучения весьма удаленных от нас объектов — за последние тысячелетия не изменились. В частности, бурное развитие радиоастрономии за последние три десятилетия никак не изменило предмета и содержания астрономии, оно ее только обогатило. То же самое следует сказать и о других ветвях «астрономии невидимого» (например, инфракрасной астрономии). Развитие космических исследований привело к возникновению ультрафиолетовой, рентгеновской и гамма-астрономии. Бурное развитие внеатмосферной астрономии — вот то главное, что дали астрономии космические исследования. Внеатмосферную астрономию следует рассматривать как один из важнейших *методов* астрономии, наряду с классической оптической и радиоастрономией. Но не следует забывать, что внеатмосферная астрономия отнюдь не исчерпывает паучную часть космических исследований. Главная цель последних, — это, как уже говорилось выше, изучение Солнечной системы (в том числе и нашей планеты Зем-

ля с ее ближайшими окрестностями) самыми прямыми методами.

То, что в последние два десятилетия называют словом «космос» (иногда — «ближний космос»), связано со сложным и противоречивым процессом активной деятельности человечества за пределами своей «колыбели» — Земли. Этот важнейший, исторически неизбежный процесс происходит в силу ряда *внутренних* причин, не всегда ясно осознаваемых. То, что при этом получают серьезное развитие фундаментальные науки, является как бы «побочным», хотя и очень важным продуктом этого развития. Следует иметь в виду, что процесс исследования и овладения космосом и его ресурсами находится в самой начальной стадии, поэтому нелегко осмыслить нам — современникам и участникам этого грандиозного процесса, — к каким коренным изменениям в судьбах человечества он приведет. Уже сейчас намечаются контуры создания многомиллионных *колоний* в космосе, вынос в космос целого ряда производств, функционирование которых на Земле несовместимо с охраной окружающей среды, освоение новых мощных источников энергии и пр. В этом развитии, однако, могут быть и такие аспекты, последствия которых для Земли пока трудно предвидеть. Но вернемся к нашей теме.

Развитие космических исследований должно было с неизбежностью дать ответ на один старый, вернее древний, вопрос: в какой степени правильными оказались наши представления о Солнечной системе, полученные до этого с помощью «косвенных» астрономических методов? Ехидно-скептический комментарий астрономических открытий и выводов («поди проверь») приходилось слышать не только от обывателей с различными научными цензами — от нулевого до академического. Профессионалы-астрономы частенько дорого заплатили бы за возможность «пощупать» тот или иной интересующий их объект, чтобы полностью убедиться в достоверности тех, иногда парадоксальных выводов, которые следовали из анализа косвенных данных, т. е. астрономических наблюдений. Ибо интерпретация этих наблюдений часто бывает далеко не однозначна и связана с огромными трудностями. Практика астрономических исследований показывает, что имеющаяся информация, как правило, недостаточна, а точность наблюдений (разрешающая способность, предельная яркость протяженных объектов, потоки излучения от «точечных объектов») оставляет же-

лать лучшего. Тем более поразительно, что картина Солнечной системы, полученная трудами астрономов на поверхности Земли, была полностью подтверждена прямыми методами при космических исследованиях. Как это ни парадоксально, но никаких «неожиданностей», т. е. принципиально новых явлений при исследовании Солнечной системы прямыми методами, обнаружено не было! Этот важнейший факт имеет огромное значение: он обосновывает достоверность наших астрономических знаний. Отсюда с непреложностью следует вывод, что наши знания о природе звездной системы — Галактики, а также Метагалактики, в основном соответствуют действительности и вполне надежны. Может быть, это является важнейшим результатом космических исследований.

Важнейшие открытия в области планетной астрономии за последние четверть века сделаны наземными и космическими средствами. Далеко не просто, однако, отдать пальму первенства какому-нибудь из двух этих методов. Конечно, если говорить о детальных исследованиях планет, так сказать «на геофизическом уровне», первенство несомненно принадлежит космическим средствам.

Укажем хотя бы на такие выдающиеся результаты, как забор грунта на Луне и транспортировка его на Землю, детальнейший анализ поверхности Марса, выполненный на «Викингах», съемка поверхности Марса, выявившая удивительные свойства его рельефа, например, обнаружение величайшего в Солнечной системе потухшего вулкана «Никс-Олимпик» высотой 25 км и диаметром 500 км, а также извилистых высохших русел рек, по которым миллиарды лет назад бежала вода, превосходные фотографии спутников Марса Фобоса и Деймоса. В результате успешного применения прямых методов исследований мы с достаточной полнотой знаем химический состав атмосферы Марса и Венеры. Большой вклад в решение этой проблемы был внесен советскими учеными. Исключительные результаты при исследовании гигантской магнитосферы Юпитера были получены на американских спутниках «Пионер-10» и «Пионер-11». В области геофизических исследований фундаментальное научное и практическое значение имело открытие радиационных поясов Земли и ее магнитного хвоста.

Выше были перечислены только важнейшие результаты исследований Солнечной системы прямыми метода-

ми. Конечно, они впечатляющи. И все же мы позволим себе смелость утверждать, что открытия принципиального значения, сделанные в этой области методами наземной астрономии, по своей значимости во всяком случае не уступают «космическим» достижениям. Назовем хотя бы открытие высокой ($T \sim 300^\circ \text{C}$) температуры поверхности Венеры, сделанное методами наземной радиоастрономии. Из анализа наземных наблюдений также впервые стало ясно, что атмосферное давление на поверхности этой планеты достигает большого значения. Эти открытия, в частности, определили всю компоновку экспериментов, связанных с мягкой посадкой на поверхность Венеры. Все приборы с самого начала рассчитывались на экстремальные значения температуры и давления. Без предварительного знания условий на поверхности Венеры космические исследования этой планеты были бы обречены на провал. Конечно, в конце концов и без такого знания, с помощью одних космических экспериментов, условия на Венере стали бы нам известны. Но, помимо существенной задержки во времени, это обошлось бы во много сотен миллионов рублей и долларов, между тем как стоимость наземных наблюдений в сотни раз меньше.

Методами наземной радиоастрономии впервые удалось обнаружить мощную магнитосферу на Юпитере. Это открытие было сделано сразу же после обнаружения синхротронного радиоизлучения Юпитера в сантиметровом диапазоне длин волн. Еще до того были обнаружены гигантской мощности всплески длинноволнового радиоизлучения Юпитера, коррелирующие с положением на орбите его удивительного спутника Ио, который довольно близок к поверхности планеты. Эти всплески несомненно связаны с активными процессами в магнитосфере планеты-гиганта. Особенно поразительным по своей неожиданности является влияние спутника Ио на характер процессов в магнитосфере Юпитера. Дальнейшие тщательные наблюдения, выполненные на знаменитых космических аппаратах «Пионер-10» и «Пионер-11», позволили существенно уточнить параметры магнитосферы Юпитера.

Никаких, однако, открытий принципиального характера при этом сделано не было. Даже численное значение магнитного поля Юпитера, полученное в результате прямых измерений, оказалось весьма близким к значению, полученному из анализа радиоастрономиче-

ских наблюдений, которые обошлись в сотни раз дешевле*).

Отметим, что необходимость существования кратеров на поверхности Марса была предсказана замечательным эстонским астрономом Э. Эппком задолго до их открытия. Сказанное, конечно, ничуть не умаляет значимости открытия кратеров на Марсе, которое могло быть сделано только средствами космической техники. Следует однако, подчеркнуть, что без выдающихся достижений, полученных при радиолокации планет наземными средствами, невозможна была космическая навигация, требующая очень точного знания расстояний до планет и элементов их орбит. Установление весьма точных масштабов Солнечной системы есть крупнейшее достижение наземной астрономии.

Не следует думать, что открытия, сделанные средствами наземной планетной астрономии, были возможны постольку, поскольку космические исследования только «набирали разбег». Не прошло и года, как мы с большим изумлением стали свидетелями открытия, может быть, наиболее впечатляющего после открытия в 1930 г. «последней» планеты Солнечной системы — Плутона. В декабре 1976 г. во время наблюдений покрытия Ураном довольно слабой звезды были обнаружены... кольца, окружающие эту весьма удаленную от Солнца планету. Со времен Галилея и до наших дней считалось, что только один Сатурн имеет вокруг себя кольца. И вдруг — пожалуйста! Оказалось даже, что кольца Урана (их 5) во многом весьма сходны с кольцами Сатурна, хотя есть и примечательные различия. Кольца Сатурна теперь могут быть значительно лучше поняты, чем раньше — ведь сравнительный анализ в науке всегда играл очень большую роль. Хотя со времени открытия колец Урана прошло еще очень мало времени, уже сейчас ясно, что оно сыграет значительную роль в понимании происхождения нашей Солнечной системы, т. е. планетной космогонии **).

*) Обнаруженный недавно американским спутником «Вояджер» вулканизм на Ио не был такой уж неожиданностью для астрономов. Задолго до этого идея о вулканизме на спутниках Юпитера была выдвинута С. К. Всехсвятским, а И. Д. Куно обнаружила в спектре Ио линии пониженной серы.

**) В 1978 г. на космическом аппарате «Вояджер» были открыты кольца и вокруг Юпитера. По-видимому, эти кольца были открыты задолго до этого методами оптической наземной астрономии С. К. Всехсвятским.

Коль скоро речь зашла о космогонии планетной системы, следует подчеркнуть, что эта фундаментальная проблема естествознания находится пока в эмбриональном состоянии. Многие выдающиеся умы на протяжении минувших двух столетий пытались решить эту проблему, выдвигая те или иные «космогонические гипотезы». Тем не менее до решения этой грандиозной проблемы еще очень далеко. Сам метод «космогонических гипотез», по нашему мнению, не адекватен этой задаче. Выдвигая ту или иную космогоническую гипотезу, их авторы гипертрофировали какую-нибудь черту явления, представлявшуюся им особо важной. При скудости фактического материала, а главное, при невозможности сравнивать нашу планетную систему с какой-нибудь другой (обнаружение таких систем пока находится за пределами возможностей наблюдательной астрономии) «космогонические гипотезы» неизбежно страдали субъективизмом.

Развертывание космических исследований впервые открывает возможность поставить проблему космогонии Солнечной системы на действительно научную основу. Открывается возможность детального сравнительного анализа различных планет, в частности планет земной группы. Эта огромная работа неизбежно должна предшествовать синтезу наших представлений о планетах, в итоге которого сам по себе прояснится вопрос об их происхождении. Надо ясно понимать, что время априорных «космогонических гипотез» безвозвратно прошло. Только детальнейшее изучение и сравнение рельефов планетных поверхностей, их минерального, химического и изотопного составов, степени однородности их недр, сейсмичности, радиоактивности, а также многих других свойств позволит получить надежные данные о происхождении Солнечной системы. Вся эта многолетняя программа может быть выполнена главным образом прямыми методами космических исследований, хотя роль наземной астрономии, как это видно на примере открытия колец Урана, будет продолжать оставаться значительной.

На этом примере видна разница между результатами астрономических и «космических» исследований. Первые дают общую картину явления, часто открывая его, между тем как детальная картина, уже на совершенно другом уровне, дается применением прямых методов. Поясним это еще на примере истории исследования на-

шей планеты — Земли. Такие ее общие характеристики, как размеры, форма, масса, параметры осевого вращения, были в свое время получены чисто астрономическими методами. В этом смысле изучение нашей планеты было частью предмета астрономии и еще в начале нашего столетия органически входило в гимназические курсы космографии. Однако потребности общественной практики с необходимостью выделили изучение Земли из астрономической «епархии». Исследования нашей планеты стали весьма детальными, а главное — дифференцированными. Появились такие науки, как геодезия, метеорология, геофизика. Последняя раздробилась на ряд вполне самостоятельных наук, таких как сейсмология, геомагнетизм, аэрономия. Земля изучается сейчас, так сказать, «самостоятельно», хотя она является, конечно, астрономическим телом.

Не подлежит сомнению, что в современную эпоху мы являемся свидетелями «пизъятия» планет из «астрономического департамента» и возникновения новых наук о них. Таким образом, на более высоком уровне повторяется процесс, который на рубеже нашего столетия произошел с изучением планеты Земля. Процесс выделения науки о планетах из астрономии неизбежен, и реализуют его только прямые космические исследования. Эти исследования позволяют изучать планеты, их спутники, кометы, астероиды и межпланетную среду с подробностями, недоступными для наземной астрономии. Как уже подчеркивалось выше, мы особенно много ожидаем от таких будущих наук, как сравнительная морфология планетных поверхностей («супергеология»), сравнительная аэрономия, сравнительный магнетизм планет — именно развитие этих наук в сочетании с астрономией и радиоастрономией в конечном итоге позволяет решить космогоническую проблему.

Если, при всех очевидных достижениях, в области изучения планет Солнечной системы и межпланетной среды космические исследования главным образом «развивались вширь» и детализировали результаты наземной оптической и радиоастрономии, то *внеатмосферная астрономия* открыла перед наукой совершенно новые горизонты. Сейчас можно уже с полным основанием сказать, что исследование излучений космических объектов, которые полностью поглощаются земной атмосферой, революционизировали астрономию. Здесь основные результаты были получены не с межпланетных станций, а с

помощью специализированных спутников Земли. Поэтому такие наблюдения значительно *дешевле*, чем впечатляющие лунные, марсианские, венерианские и юпитерианские полеты космических кораблей. Широкая публика знает об этих исследованиях значительно меньше, а пресса отводит им соответственно гораздо более скромное место, чем эффектным «Лунникам», «Викингам», «Пионерам» и пр., хотя полученные на этих орбитальных лабораториях научные результаты по своей значимости существенно превосходят результаты, полученные на межпланетных автоматических станциях. Я подчеркиваю, что речь идет о *научных результатах*, так как межпланетные станции, помимо научных, решают также огромное количество космонавтических технических задач и знаменуют собой этапы многотрудного пути освоения и покорения космоса.

Между тем специализированные автоматические орбитальные обсерватории, такие, например, как «Коперник», «Ухуру» или готовящийся к пуску большой спутник для астрофизики высоких энергий (так называемый «НЕАО-2»*), представляют собой исключительно сложные устройства, предназначенные для решения *чисто научных задач*. Они обладают весьма точными системами астрономической ориентировки (например, с точностью в несколько сотых угловой секунды, как это было у «Коперника»), позволяющими по команде с Земли плавиться на любую точку неба. Установленные на орбитальных станциях оптические, рентгеновские или гамма-телескопы весьма совершенны. Так же совершенна система обработки поступающей информации на борту и передача ее на Землю. Конечно, и на «Викингах», и на «Пионерах» тоже есть высококачественные научные приборы и системы управления ими. Не нужно, однако, забывать, что каждый такой полет сопряжен с преодолением большого количества дополнительных трудностей, требующих специальной, чисто технической проработки (например, в случае «Пионеров» — преодоления мощных радиационных поясов Юпитера, а также «долговечность» и надежность приборов, в случае «Викингов» — отработки системы мягкой посадки и выпуска

*) Этот спутник, получивший название «Обсерватория Эйнштейна», был успешно запущен в 1979 г. к столетнему юбилею великого ученого. На нем были получены научные результаты огромной важности.

орбитальных отсеков). Поэтому чисто научные задачи на этих объектах не являются абсолютно доминирующими.

Говоря об основных результатах, полученных внеатмосферной астрономией за минувшие два десятилетия, хочется начать с солнечных исследований. Получен огромный материал по жесткому излучению Солнца — ультрафиолетовому и рентгеновскому. За это излучение, как известно, ответственны верхние слои солнечной атмосферы — хромосфера и корона. В отличие от оптического, жесткое излучение Солнца значительно меняется со временем. В сочетании с наземными радиоастрономическими и оптическими методами внеатмосферная астрономия сейчас уже может дать довольно полную картину активных процессов, происходящих на Солнце, оказывающих мощное воздействие на Землю. Заметим, что как в настоящее время, так и в перспективе обозримого будущего Солнце нельзя будет исследовать прямыми методами (исключение составляет задача детального изучения свойств вещества солнечного ветра, заполняющего межпланетное пространство). Поэтому, как и прежде, изучение Солнца и, в частности, солнечной «метеорологии» по-прежнему остается прерогативой астрономии.

Пожалуй, наиболее впечатляющие результаты были получены в области рентгеновской астрономии. В 1962 г. были открыты галактические, а вскоре после этого — метagalактические рентгеновские источники. Запуск в 1970 г. специализированного рентгеновского спутника «Ухуру», по существу, положил начало систематическому исследованию рентгеновского неба. Был обнаружен удивительный класс рентгеновских звезд — нейтронные звезды в тесных двойных системах, питаемые потоками вещества от соседнего, более или менее «нормального» компонента. Изучение этого явления открыло новую страницу в астрономии. Особый интерес представляют недавно открытые «импульсные» рентгеновские источники, во многих отношениях еще загадочные. Были также обнаружены рентгеновские туманности, связанные с остатками вспышек сверхновых звезд, что впервые открыло возможность достаточно полного исследования этих весьма важных объектов. Стало ясно, что рентгеновское излучение сопутствует заключительным стадиям звездной эволюции. Его анализ имеет решающее значение для понимания развития вещества во Вселенной. Похоже на то, что по крайней мере в одном случае ис-

точник рентгеновского излучения ассоциируется с черной дырой, т. е. предметом особого интереса в современной астрономии и физике. Если это открытие подтвердится, это достижение рентгеновской астрономии трудно будет переоценить.

Особое значение имеет обнаружение рентгеновского излучения от *метagalактических объектов*, в первую очередь активных ядер галактик и квазаров. Как известно, эти объекты находятся в центре внимания современной астрономии. Тот факт, что они являются мощными источниками рентгеновского излучения, сам по себе говорит о грандиозности происходящих там процессов, природа которых пока еще далека от ясности. Стоит еще отметить открытие протяженных рентгеновских источников, отождествляемых со скоплениями галактик. Причиной этого излучения является очень горячая плазма, заполняющая пространство между галактиками. Таким образом, впервые был обнаружен межгалактический газ! Это открытие вполне можно поставить рядом с открытием межзвездного газа в начале нашего века. Несомненно, что метagalактическая рентгеновская астрономия находится на крутом подъеме и еще не раз порадует нас удивительными открытиями.

Серьезных успехов в последние годы достигла гамма-астрономия, особенно в результате работы специализированных спутников «SAS-2» и «Cos-B», на котором были установлены детекторы жесткого гамма-излучения, регистрирующие кванты с энергией, превышающей несколько десятков МэВ. Жесткое гамма-излучение исследовалось во всей полосе Млечного Пути. В основном регистрируемые гамма-кванты возникают в межзвездной среде при взаимодействии ее с первичными космическими лучами. Тем самым открывается возможность весьма эффективного изучения космических лучей — одной из центральных проблем физики и астрономии. До недавнего времени первичные космические лучи исследовались прямыми методами (в верхней атмосфере, где они поглощаются), а также с помощью радиоастрономии. Имеются все основания полагать, что гамма-астрономия поднимет эти важные исследования на более высокую ступень. Особый интерес представляют дискретные источники космического гамма-излучения, исследование которых только начинается. Уже открыто гамма-излучение от знаменитой Крабовидной туманности и некоторых пульсаров. По-видимому, источником такого излучения

являются также активные ядра некоторых галактик и квазаров. В близком будущем можно ожидать выдающихся результатов в этой области. Ждет своего решения проблема источников импульсного *мягкого* гамма-излучения, обнаруженного еще в 1972 г. По-видимому, природа этих источников отлична от природы импульсных рентгеновских источников. Трудность проблемы — отсутствие достаточно точных координат импульсных гамма-источников. В этой важной области гамма-астрономии мы возлагаем надежды на совместный советско-французский эксперимент на недавно запущенном спутнике «Снег-3».

Следует сказать несколько слов о ближайших перспективах внеатмосферной астрономии. В области рентгеновской астрономии мы много ожидаем от запуска специализированного спутника «НЕАО-2». По сравнению с «Ухуру» можно ожидать выигрыша на два порядка по всем характеристикам приборов, установленных на борту этого спутника. Рентгеновская астрономия в результате работы «НЕАО-2» получит новый мощный импульс. На очереди запуск специализированного спутника, предназначенного для наблюдений в инфракрасном и субмиллиметровом диапазонах. Хотя в этом исключительно важном диапазоне проводились уже наблюдения с поверхности Земли (в отдельных спектральных участках, где земная атмосфера более или менее прозрачна), а также с баллонов и высотных самолетов-лабораторий, по-настоящему это важнейшее «окно во Вселенную» будет исследоваться с помощью специализированных спутников. Важность этого диапазона определяется, во-первых, тем, что в нем сосредоточено основное излучение Вселенной, а во-вторых, в этом диапазоне следует ожидать огромного количества молекулярных спектральных линий. Исследование этих линий, как можно ожидать, должно пролить свет на ряд важных проблем космогонии и космологии.

До сих пор мы еще ничего не говорили о «классической» оптической астрономии. Между тем и оптические телескопы очень много выигрывают, если их вывести за пределы земной атмосферы. Последняя сильнейшим образом искажает качество изображения и делает большие телескопы значительно менее эффективными, чем они могли бы быть. Установка современного автоматического большого оптического телескопа (с диаметром, например, 3 м) на космическую платформу является

довольно трудной технической проблемой, но вполне разрешимой. Между тем астрономия от этого выигрывает в сильнейшей степени.

Назрела необходимость и для радиоастрономии выйти в космос. Там уже проводились отдельные наблюдения на очень длинных волнах, которые из космоса не могут попасть на поверхность Земли, так как отражаются от ионосферы. Сейчас, однако, разрабатываются проекты совершенно другого рода. Речь идет о выносе огромных радиотелескопов как на орбитальные станции, так и на далекие межпланетные зонды. Кроме того, по причине тяжести конструкции, в поле земного тяготения строить очень большие радиотелескопы (например, с диаметром в несколько сот метров) просто технически невозможно. В космосе же таких ограничений не видно. Имеется и еще одно немаловажное обстоятельство, настоятельно требующее выноса радиотелескопов в космос. Дело в том, что в радиоастрономии, как нигде, широко используется интерферометрическая методика. Этим достигается весьма высокая угловая разрешающая способность, определяемая отношением длины волны радиоизлучения λ к расстоянию между элементами интерферометра — «базе» d , $\lambda/d \sim 10^{-10}$, что, в свою очередь, $\sim 10^{-4}$ секунды дуги (это при использовании межконтинентальных баз). Дальнейшее повышение разрешающей способности упирается в конечные размеры земного шара. Совершенно ясно, что только *межпланетные* базы обеспечат качественно новое повышение разрешающей способности. Развитие межпланетной радиоастрономии открывает перед наукой о Вселенной совершенно исключительные перспективы. Так, например, можно будет решить фундаментальной важности проблему — определение *тригонометрических* параллаксов сколь угодно удаленных метagalактических объектов.

Решение этой задачи даст самый надежный фундамент космологии. Другой проблемой, к решению которой можно будет подойти при развитии межпланетной радиоастрономии, является космическая радиоголография некоторых объектов, перспективы которой просто фантастичны (например, получение *трехмерных* изображений космических источников).

С полным основанием можно закончить эту статью утверждением, что 20 лет космической эры революционизировали астрономию и открыли перед этой древнейшей наукой воистину неограниченные перспективы.

ПЛАНЕТАРНЫЕ ТУМАННОСТИ, БЕЛЫЕ КАРЛИКИ И КРАСНЫЕ ГИГАНТЫ

Наблюдаемые в телескопы небесные светила можно очень грубо разделить на звезды и туманности. Главное различие между этими двумя классами объектов — это их угловые размеры. В то время как звезды даже в самые большие телескопы выглядят как яркие точки*), туманности представляют собой более или менее протяженные объекты с хорошо выраженной структурой.

Термин «туманности» возник исторически и относится он к небесным телам самой различной природы. Например, издавна астрономы с помощью телескопов наблюдают спиральные туманности. Впоследствии было доказано, что каждая такая туманность представляет собой гигантский коллектив звезд, насчитывающий 10^9 — 10^{12} членов, сходный с нашей Галактикой. Такие туманности сейчас называют галактиками (с маленькой буквы), причем далеко не всегда они имеют спиральную структуру. В нашей Галактике (так же как и в других галактиках) имеются большие причудливой формы газовые облака с примесью пыли, массы которых иногда в десятки тысяч раз превышают массу Солнца. Это так называемые «диффузные туманности», представителем которых является известная туманность Ориона (рис. 1). Такие туманности концентрируются к плоскости симметрии нашей Галактики, а также других спиральных галактик. Огромное значение диффузных туманностей для астрономической науки состоит в том, что в некоторых из них (наиболее плотных и холодных) происходит во многом пока еще загадочный процесс образования звезд путем конденсации сравнительно разреженной среды под действием силы всемирного тяготения.

Совершенно иную природу имеют *планетарные* туманности, названные так пионером звездной астрономии Гершелем за свою компактную форму, иногда напоминающую планетные диски. В центре планетарной туманности, как правило, наблюдается довольно слабая звездочка — ядро туманности. Так же как и диффузные туманности, планетарные туманности состоят, в основном, из газа. Но в то время как диффузные туманности суть молодые (разумеется, по астрономическим масштабам)

*) Наблюдаемые в телескопы звездные диски имеют инструментальное происхождение.

объекты и являются как бы колыбелью звезд, наличие планетарных туманностей, как выяснилось четверть века тому назад, указывает на финальную стадию эволюции звезды, с которой эта туманность генетически связана, т. е. ее ядра. На рис. 2 и 3 приведены фотографии двух планетарных туманностей.



Рис. 1. Туманность Орiona

В развитии астрономии XX в. планетарные туманности сыграли выдающуюся роль. На рубеже этого века все большее значение стали приобретать астрофизические методы исследования. Изучение спектров различных не-

бесных светил открыло возможность количественного анализа их химического состава, температуры, давления и других характеристик. Это оказалось возможным только после выдающихся достижений лабораторной и теоретической физики в области понимания природы излучения (прежде всего, открытие формулы Планка) и строения атома (теория Бора и ее последующее развитие в

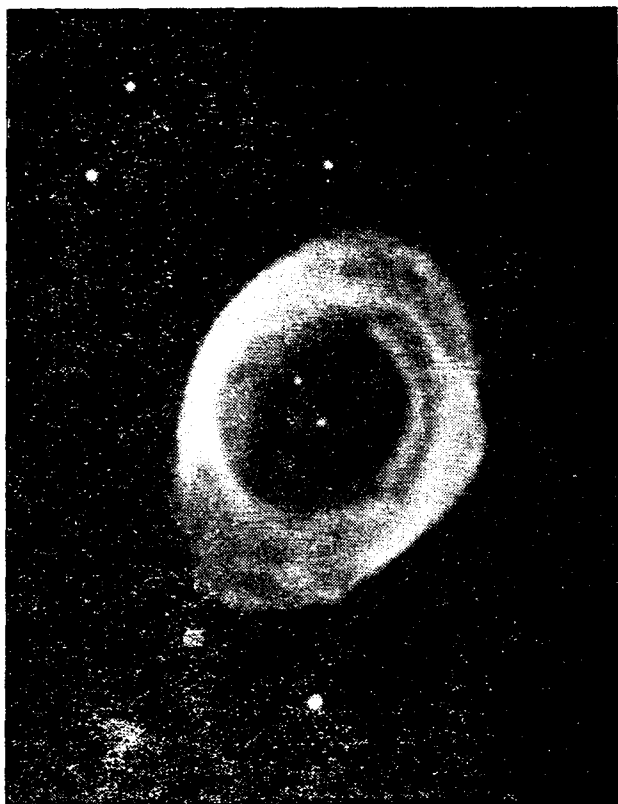


Рис. 2. Планетарная туманность в созвездии Лирь

квантовой механике). И тут оказалось, что наиболее удобной «космической лабораторией», где можно проверить в условиях, недостижимых на земле, удивительные результаты и предсказания атомной физики, являются планетарные туманности. Это объясняется сравнительной простотой строения этих объектов, вследствие чего их

можно было исследовать количественно при помощи несложных моделей.

Уже давно, еще в прошлом веке, было обращено внимание на то, что ядра планетарных туманностей представляют собой голубые объекты. Это означает, что поверхностная температура этих звездочек очень высока.



Рис. 3. Планетарная туманность NGC 7293

Вместе с тем, их светимость невелика, что должно указывать на малые линейные размеры. Все это означает, что ядра планетарных туманностей — очень горячие карлики. Из-за высокой поверхностной температуры мощность их ультрафиолетового излучения должна быть очень велика, существенно превосходя мощность излучения в видимой части спектра. Ультрафиолетовое излучение ядра либо полностью, либо частично поглощается окружа-

ющей его планетарной туманностью. При этом образующие туманность газы ионизируются. Процессы ионизации дают начало ряду других элементарных процессов, по существу сводящихся к разного рода неупругим столкновениям электронов и ионов. Довольно быстро (скажем, за тысячу лет) в туманности устанавливается ионизационное равновесие, при котором число элементарных процессов, приводящих к ионизации (преимущественно — фотоионизации наиболее обильных в туманности атомов водорода ультрафиолетовым излучением ядра), равно числу процессов, приводящих к нейтрализации (преимущественно — это рекомбинации электронов и протонов, сопровождающиеся излучением квантов). В процессе фотоионизации оторванные от атомов электроны приобретают довольно значительную (порядка нескольких электрон-вольт) энергию; сталкиваясь с атомами и ионами туманности, они передают часть своей кинетической энергии этим частицам. Одновременно, путем неупругих столкновений, электроны возбуждают атомы и ионы, после чего последние излучают кванты преимущественно в видимой части спектра. Именно это излучение и является причиной наблюдаемого свечения планетарных туманностей. Это означает, что, образно выражаясь, планетарные туманности являются машинами, перерабатывающими ультрафиолетовые кванты, излученные их горячими ядрами, в кванты видимого света. Такой процесс преобразования уже давно известен в физике и называется флуоресценцией. Однако масштаб этого явления в естественных условиях планетарных туманностей невообразимо превосходит то, что происходит в лабораторных условиях. Описанные выше процессы взаимодействия атомов и квантов приводят к тому, что ультрафиолетовое излучение ядра нагревает газ планетарных туманностей до некоторой равновесной температуры, близкой к 7—8 тыс. кельвинов. Хотя мощность и «жесткость» ультрафиолетового излучения ядер меняется в довольно широких пределах, температура газа в планетарных туманностях меняется мало. Это объясняется наличием там мощного «термостата», каким являются возбуждаемые электронным ударом ионы кислорода, азота, серы и других элементов. Как только температура газа немного подымется, резко увеличивается количество неупругих электронных ударов, приводящих к возбуждению, и электроны быстро теряют свою энергию, возвращаясь тем самым к своей первоначальной температуре, и наоборот.

Особое значение имело исследование так называемых «запрещенных», линий, наблюдаемых в спектрах планетарных туманностей. Еще в прошлом веке, на заре астрономической спектроскопии, было обращено внимание на две самые яркие линии в спектрах планетарных туманностей, получивших название N_1 и N_2 . Эти линии в течение ряда десятилетий никак не удавалось отождествить с какими-либо известными линиями химических элементов, в избытке наблюдаемых; например, в спектре Солнца. Только на основе достижений лабораторной спектроскопии в 1927 г. удалось отождествить их с «запрещенными» линиями дважды ионизованного кислорода. Вскоре ряд других, тоже довольно ярких линий, удалось отождествить с запрещенными линиями ионизованных азота, серы и других элементов.

Как известно, запрещенные линии возникают при переходах между энергетическими уровнями атомов, нарушающих установленные в спектроскопии правила отбора. Эти правила отнюдь не носят абсолютного характера, так как относятся только к так называемому «дипольному» излучению. Всегда имеется отличная от нуля вероятность совершить запрещенный переход. Однако в лабораторных условиях такой переход не реализуется, так как из-за столкновений с другими частицами атомы переходят в «нижнее» состояние без излучения (так называемые «удары второго рода»). В то время как продолжительность пребывания атома в возбужденном состоянии, исходном при излучении «нормальных» спектральных линий, исчисляется стоимиллионными долями секунды, время жизни на «метастабильных» уровнях, при переходе с которых излучаются запрещенные линии, может превосходить несколько секунд и даже часов! И если за это время возбужденный атом не успеет столкнуться с какой-нибудь частицей (прежде всего — электроном), то он «успевает» перейти в «нижнее» состояние, излучив запрещенную линию. Следовательно, необходимым условием излучения таких линий является достаточно низкая плотность вещества туманности. Обычная концентрация частиц там 10^4 см⁻³, т. е. в миллион миллиардов раз меньше концентрации молекул в земной атмосфере — величина достаточно низкая, чтобы не «помешать» излучению запрещенных линий.

Многолетние исследования привели к обнаружению в планетарных туманностях ряда интересных процессов, характерных для разреженной плазмы, находящейся в

поле жесткого ультрафиолетового излучения, плотность энергии которого на 14—15 порядков меньше равновесного (т. е. описываемого формулой Планка) при той же температуре. Например, было обнаружено излучение с непрерывным спектром, возникающее при «дроблении» фотонов на 2 части, суммарная энергия которых равна энергии «резонансного» кванта водорода «Лайман — альфа». Наблюдались также удивительные «резонансные» явления, приводящие к аномально сильному возбуждению некоторых атомных уровней.

Большое значение имеет тщательный химический анализ плазмы планетарных туманностей. Ниже приводятся логарифмы относительных обилий различных химических элементов для некоторой «усредненной» планетарной туманности. В нижней строке приведены соответствующие обилия для плазмы солнечной атмосферы. При этом логарифм обилия водорода равен 12.

Объект	He	C	O	Ne	N	S	A
Планетарная туманность	11,01	9,33	8,69	8,10	8,00	7,35	6,4
Солнце	10,8	8,62	8,84	7,57	7,94	7,2	6,0

Обращает на себя внимание сравнительно высокое относительное обилие углерода (в 5 раз больше, чем на Солнце). Возможно, что это связано с условиями образования планетарных туманностей (см. ниже). Тщательные спектрофотометрические исследования позволили выявить характерные закономерные различия в химическом составе различных планетарных туманностей. Например, имеются указания на плавное возрастание относительного обилия He, O по мере приближения к центру Галактики. Есть также намеки на различия в химическом составе планетарных туманностей, находящихся на разных расстояниях от галактической плоскости.

Не будет преувеличением сказать, что на планетарных туманностях теоретическая астрофизика 20-х и 30-х годов нашего столетия «оттачивала» свою методику и постепенно становилась «количественной» наукой. Однако для понимания природы планетарных туманностей, их происхождения, эволюции и связи с другими космическими объектами одного лишь знания механизма излучения, конечно, совершенно недостаточно. Необходи-

мо привлечь другие представления, прежде всего — статистические. Последние должны ответить на вопрос: как много планетарных туманностей в Галактике? Ответ на этот вопрос можно будет дать только тогда, когда мы будем уметь определять *расстояния* до планетарных туманностей. Очевидно, что чем больше расстояния до ближайших планетарных туманностей, тем меньше этих объектов в Галактике. Для оценки полного количества планетарных туманностей в нашей звездной системе надо еще знать общий характер их распределения, определяемый степенью концентрации к галактическому центру и плоскости симметрии Галактики — ее экватору. Последние характеристики можно получить из разброса пространственных скоростей (например, по доплеровскому смещению их спектральных линий). Чем больше разброс пространственных скоростей, тем меньше концентрация объектов к галактической плоскости и тем больше их концентрация к галактическому центру. Это относится не только к планетарным туманностям, но и к любому типу населения Галактики, состоящему из разного рода звезд и туманностей. Из спектральных наблюдений следует, что относительное пространственное распределение планетарных туманностей является как бы «промежуточным» между чисто сферическим распределением таких объектов, как шаровые скопления и короткопериодические цефеиды и «плоским» распределением облаков диффузных туманностей, массивных звезд, долгопериодических цефеид и пр. Известно далее, что промежуточное распределение характерно для довольно старых сравнительно маломассивных звезд, образующих диск нашей Галактики.

Вернемся теперь к вопросу об абсолютном значении расстояний до планетарных туманностей. До середины 50-х годов этот вопрос оставался совершенно без ответа. Оценки расстояний до отдельных туманностей, полученные разными авторами, зачастую отличались почти в 10 раз, что означает только тривиальное утверждение, что эти объекты находятся где-то в Галактике. Обычные методы, применяемые в звездной астрономии (например, метод тригонометрических параллаксов, метод спектральных параллаксов и пр.) за единичными исключениями, не работали.

В 1956 г. автор этой статьи предложил простой метод определения расстояний до отдельных планетарных туманностей, оказавшийся весьма эффективным, и теперь,

спустя четверть столетия — общепринятым (Астрономический журнал.— 1956.— Т. 33.— С. 222). Этот метод пригоден для подавляющего большинства планетарных туманностей, которые «насквозь» прозрачны для ионизирующего ультрафиолетового излучения центральной звезды («оптически тонкие за границей серии Лаймана» туманности). Существенным является то обстоятельство, что туманность расширяется со сравнительно небольшой скоростью v порядка нескольких десятков км/с. В этой связи заметим, что оболочки взрывающихся звезд расширяются со скоростью нескольких тысяч километров в секунду. Сравнительно малая скорость расширения планетарных туманностей вполне может быть уподоблена распыливанию в комнате кольца табачного дыма.

По мере расширения («расплывания») планетарной туманности средняя плотность образующих ее частиц n будет меняться как R^{-3} , где $R = vt$ — размер туманности, t — продолжительность ее жизни. Так как светимость туманности L пропорциональна числу возбуждающих столкновений между ионами и электронами, то можно написать

$$L \propto R^3 Z \propto R^3 R^{-6} \propto R^{-3},$$

где $Z \propto n^2$ — число столкновений в единице объема. Отсюда следует вывод, что по мере расширения («прозрачной») туманности мощность ее излучения будет падать весьма быстро, как R^{-3} . С другой стороны, для поверхностной яркости T , не зависящей от расстояния до объекта, получаем

$$I \propto \frac{L}{R^2} \propto R^{-5}.$$

Далее имеем простое соотношение: $R = r\varphi$, где r — искомое расстояние до туманности, φ — угол, под которым виден наблюдателю ее радиус. Отсюда с учетом, что $R \propto I^{-1/5}$, легко получить основное соотношение

$$r \propto I^{-1/5} \varphi^{-1}. \quad (1)$$

Эту формулу легко обобщить на случай неизбежных различий в массах M различных туманностей: $r \propto M^{2/5} I^{-1/5} \varphi^{-1}$. Заметим, однако, что зависимость r от массы слабая, и в первом приближении ее можно не учитывать. Хотя зависимость r от I еще слабее, ее надо учитывать, так как поверхностная яркость планетарных туманностей меняется в весьма широких пределах. Существенно, что как φ , так и I определяются непосредственно из наблюдений. Впрочем, для нахождения поверхност-

ной яркости I надо еще знать межзвездное поглощение света, которое зачастую достигает больших значений.

Формула (1) дает систему относительных расстояний до планетарных туманностей. Если известны абсолютные расстояния хотя бы для очень немногих (даже до одного) из этих объектов, можно определить расстояния до всех прозрачных туманностей, которых, как мы говорим выше, подавляющее большинство. Таким методом к настоящему времени определено расстояние до многих планетарных туманностей. Все же следует сказать, что расстояния до отдельных планетарных туманностей известны с точностью до множителя ~ 2 . Это, конечно, гораздо лучше, чем четверть века тому назад, но все же хотелось бы большей точности.

Зная (с указанной выше точностью) расстояния до планетарных туманностей, можно при известном пространственном распределении пайти их полное количество в Галактике. Соответствующие вычисления дают значение $\sim 40\,000$, из которых непосредственно наблюдались и занесены в каталоги ~ 1300 . Существенно, что планетарные туманности представляют собой довольно эфемерные, короткоживущие космические объекты.

Планетарная туманность «средней» яркости имеет радиус $R \sim 0,1 \text{ пк} = 3 \cdot 10^{17} \text{ см}$. Полагая ее скорость расширения $v \sim 30 \text{ км/с}$, получим время удвоения радиуса $\sim 10^{11} \text{ с} \sim 3 \cdot 10^3 \text{ лет}$. При таком удвоении поверхностная яркость уменьшится довольно значительно, почти в 30 раз. А за время $\sim 30\,000$ лет поверхностная яркость туманности уменьшится в 10^5 раз и она перестанет быть видимой. Таким образом, «время жизни» планетарной туманности (точнее — время, в течение которого она может быть наблюдаема), всего лишь порядка нескольких десятков тысяч лет. Так как полное количество таких туманностей в Галактике, как мы упомянули выше, порядка нескольких десятков тысяч, то это означает, что для поддержания их «динамического равновесия» в Галактике, в ней ежегодно, в среднем, должна возникать одна планетарная туманность. За 6—7 последних миллиардов лет, в течение которых Галактика была примерно такой же, как мы наблюдаем сейчас, в ней возникло 6—7 миллиардов планетарных туманностей, вещество которых рассеялось в межзвездной среде.

Существенно, что согласно современным данным, в настоящую эпоху ежегодно в Галактике из межзвездной среды конденсируется (т. е. рождается), приблизительно,

одна звезда. Это означает, что *существенная часть* звезд после длительной эволюции сбрасывает газовую оболочку — планетарную туманность — и превращается в компактную, плотную, очень горячую звезду — ядро планетарной туманности. Другими словами: образование планетарных туманностей и превращение в такое ядро есть *закономерный этап* эволюции большинства (по-видимому, подавляющего) всех звезд. Не подлежит сомнению, что такая же судьба постигнет спустя 7—8 миллиардов лет и наше Солнце.

Величайшее значение планетарных туманностей для астрономической науки состоит в том, что их образование знаменует качественный скачок в эволюции *подавляющего большинства* звезд. Какая же стадия эволюции звезды умеренной массы ($\sim 1 - 5 M_{\odot}$) непосредственно предшествует образованию планетарных туманностей? Что происходит со звездой, «породившей» планетарную туманность? В каком направлении и как быстро будет происходить дальнейшая эволюция этой звезды?

На эти основные для всей проблемы планетарных туманностей вопросы мы попытались дать ответы в 1956 г. (см. Астрономический журнал 1956.— Т. 33.— С. 315). Дальнейшее развитие астрономии показало, что эти ответы были правильными.

Мы исходили из того не подлежащего сомнению факта, что планетарные туманности — это прежде всего неограниченно расширяющиеся газовые облака, потерявшие гравитационную связь с породившей их звездой. Зная размеры и скорость расширения этих облаков, легко найти их возраст, т. е. промежуток времени, протекший после их возникновения, когда их размеры были в сотни раз меньше современных, а плотность — в десятки миллионов раз больше. Мы приходим, таким образом, к представлению, что на самых ранних фазах своей эволюции планетарная туманность должна быть весьма компактным объектом, размеры которого всего лишь в десятки раз превосходят расстояние от Земли до Солнца («астрономическую единицу»), а средняя плотность соответствует концентрации атомов $\sim 10^{14}$ см $^{-3}$, т. е. приблизительно такая же, как в наружных слоях солнечной атмосферы — хромосфере.

Существенно, что такой компактный объект с поверхностной плотностью ~ 100 г/см 2 непрозрачен для излучения находящегося внутри него горячего ядра. Только малая часть оболочки, непосредственно примыкающая к яд-

ру, будет полностью понижена. В наружных же частях оболочки, содержащих большую часть ее массы, водород должен быть нейтрален, причем заметная часть его должна быть в форме молекул. Можно ожидать, однако, что мощность излучения ядра по-прежнему будет значительной, в тысячи раз превосходя мощность солнечного излучения. Излучение ядра будет «просачиваться» через непрозрачную оболочку и выходить из нее с сильно измененным спектральным составом. Так как это излучение должно быть близко к равновесному, иметь ту же мощность, что и излучение ядра и выходить из сферической поверхности, радиус которой в сотни раз превышает радиус Солнца, его температура должна быть сравнительно низкой, порядка 2—3 тысяч градусов.

На что похож такой объект? Ответ может быть только один: это звезда — красный гигант, вернее, сверхгигант. Мы пришли, таким образом, к представлению, что непосредственными «родителями» планетарных туманностей должны быть красные гигантские звезды.

Первые десять лет после публикации нашей работы этот вывод решительно не привлекал к себе внимания, между тем как последние десять лет он стал общепринятым и как бы само собою разумеющимся. История науки знает немало таких ситуаций... В последние годы накопились новые факты, убедительно говорящие в пользу представления о происхождении планетарных туманностей из красных гигантов. Эти факты были, в основном, получены методами инфракрасной и молекулярной радиоастрономии. Дело в том, что в «протопланетарных» туманностях (или, что то же, объектах промежуточных между красными гигантами и «сверхкомпактными» планетарными туманностями) имеется довольно много твердых пылевых частиц. Эти частицы ответственны за мощное инфракрасное излучение протопланетарных туманностей. В нескольких случаях у таких объектов обнаружена также радиолиния излучения СО с длиной волны 2,64 мм. Число известных протопланетарных туманностей пока не превосходит 10, что естественно, объясняется краткостью срока эволюции этих «переходных» объектов.

До сих пор речь шла о туманностях, образовавшихся каким-то образом путем отделения наружной оболочки красного гиганта. Что же можно сказать о ядрах планетарных туманностей? Какова их природа и в каком направлении они эволюционируют? Как уже говорилось вы-

ше, наблюдаемые ядра представляют собой весьма горячие карликовые звезды. Еще в двадцатых годах теоретическая астрофизика разработала несколько изящных методов определения температуры ядер по свойствам окружающих их планетарных туманностей. Идея этих методов состоит в том, что зная мощность излучения туманности, мы тем самым знаем мощность ионизирующего ее ультрафиолетового излучения ядра. Сравнение этого излучения с блеском ядра в видимой части спектра открывает возможность оценки температуры поверхности ядра. Полученные таким образом температуры очень высоки, порядка многих десятков тысяч градусов, а в отдельных случаях доходят до сотни тысяч градусов.

Большинство ядер имеет строго непрерывный спектр без всяких линий излучения или поглощения. Однако часть ядер содержит в своем спектре линии излучения и поглощения. Выделяются также ядра с широкими эмиссионными полосами в спектре, подобные видимым в спектрах звезд типа Вольф—Райе, светимость которых обычно на несколько порядков превышает светимость ядер планетарных туманностей. Наконец, немногие ядра имеют спектры, близкие к солнечному, т. е. относятся к довольно холодным звездам. Впрочем, скорее всего в этих случаях наблюдается сравнительно холодный спутник невидимого горячего ядра.

Вопрос о возможной двойственности ядер планетарных туманностей имеет большое значение для всей проблемы. Дело в том, что двойственность чрезвычайно распространена в мире звезд. По крайней мере 30% всех звезд входят в состав двойных или кратных систем. Скорее всего, их доля превышает даже 50%. Тем более удивляет чрезвычайная редкость двойных ядер у планетарных туманностей. Из 1300 известных (т. е. наблюдаемых) планетарных туманностей только у 8 обнаружены двойные ядра. Хотя здесь несомненно имеются наблюдательные трудности, осложняющие обнаружение двойных ядер, скорее всего мы сталкиваемся с реальным, весьма любопытным феноменом: по каким-то причинам планетарные туманности «предпочитают» образовываться вокруг одиночных, сильно проэволюционировавших звезд, явно избегая кратных систем. Ниже мы еще вернемся к этому важному вопросу.

Значительное разнообразие в спектрах ядер планетарных туманностей, очевидные указания на то, что в отдельных случаях наблюдается мощное выбрасывание ве-

щества с их поверхности и ряд других наблюдательных данных, говорят о *быстрой эволюции* ядер. Временная шкала такой эволюции должна быть сравнима со шкалой эволюции самих туманностей, т. е. порядка нескольких десятков тысяч лет. Во что же должны превратиться быстро эволюционирующие ядра планетарных туманностей? Не приходится сомневаться, что очень горячие ядра планетарных туманностей — это не что иное, как «обнажившиеся» недра красного гиганта. Такое «обнажение» происходит после того, как наружные слои красного гиганта по каким-либо причинам потеряли с ним связь и, медленно расширяясь, «расплылись» по достаточно большому объему. Так как средняя масса планетарной туманности $\sim 0,2$ солнечной массы, то можно представить себе, как бы выглядел красный гигант, если каким-то воображаемым скальпелем «срезать» с его наружных слоев такую массу. Существуют вполне надежные модельные расчеты структуры красных гигантов, дающие зависимость температуры и плотности его внутренних слоев от расстояния до центра, где находится небольшое, очень горячее и плотное ядро, состоящее из так называемого «вырожденного» газа. Из этих расчетов следует, что после описанной выше «операции» над красным гигантом получился бы довольно маленький, размерами немного больше Солнца объект, с температурой поверхности $\sim 100\,000\text{ K}$ и с плотностью наружных слоев, в сотни раз превышающей плотность солнечной фотосферы. Эти наружные слои должны находиться в состоянии очень бурной конвекции. Следует иметь в виду, что одновременно с отделением наружной оболочки красного гиганта должно происходить довольно быстрое, хотя и не катастрофическое, сжатие его внутренних областей до размеров, всего лишь в несколько раз превышающих размеры земного шара.

Здесь важно подчеркнуть, что вещество ядра красного гиганта, представляющее собой вырожденный газ, тождественно веществу белых карликов — разновидности звезд, тщательно исследовавшихся астрономами на протяжении последних десятилетий. Мы с полным основанием можем сказать, что такое совпадение не является случайным. Подобно яйцу в курице, белый карлик постепенно «вызревает» в центре звезды, с тем, чтобы в подходящий момент «вылупиться». Этот «момент» мы связываем с образованием планетарной туманности. Новорожденный «цыпленок» (т. е. белый карлик) сначала окутан оскол-

ками «скорлупы» (т. е. нестационарной атмосферы). Это — ядро планетарной туманности. Пройдет, однако, несколько десятков или сотен тысяч лет, все «нормализуется» — ядро планетарной туманности превратится в «нормального» белого карлика, который, постепенно остывая, превратится через миллиарды лет в довольно холодного «черного» карлика. Между тем, сопутствовавшая его «появлению на свет» планетарная туманность давным-давно уже рассеялась в межзвездном пространстве.

В пользу справедливости набросанного нами еще в 1956 г. «сценария» образования белых карликов из красных гигантов путем отделения от них наружных оболочек — будущих планетарных туманностей — говорят, прежде всего, данные звездной статистики. Если каждый год в Галактике образуется примерно одна планетарная туманность, то по нашему сценарию столько же должно образовываться новых белых карликов. Отсюда следует, что полное количество белых карликов в нашей звездной системе, возраст которой около десяти миллиардов лет, должно быть $\sim 10^{10}$. Но это как раз та оценка, которая следует из наблюдательной астрономии! С другой стороны, количество красных гигантов в Галактике — порядка нескольких миллионов, в то время как длительность этой фазы звездной эволюции исчисляется миллионами лет. Отсюда следует, что каждый год должен прекращать свое существование в Галактике один красный гигант.

В последние годы были выполнены важные теоретические расчеты эволюции объектов, по своим свойствам сходных с ядрами планетарных туманностей. Из этих расчетов следует вывод о быстром сжатии ядер в процессе эволюции при отсутствии ядерных источников энергии. При этом важное значение имеет химический состав эволюционирующего ядра планетарной туманности. Так как массы ядер не могут быть слишком малы (вспомним, что средние массы планетарных туманностей $\sim 0,2 M_{\odot}$, а массы красных гигантов «нормального» химического состава во всяком случае больше массы Солнца), то температуры в их недрах должны быть сравнительно велики, и для того, чтобы не выделялась ядерная энергия, водород и гелий должны там практически отсутствовать. Однако, в самых поверхностных слоях ядер можно ожидать тонкой «короны», в которой происходит «горение» гелия и, возможно, водорода. Таким образом,

современная теория внутреннего строения звезд приводит к выводу, что лишённые ядерных источников энергии звезды (какими являются ядра планетарных туманностей) должны эволюционировать в «обыкновенные» белые карлики.

Остается только понять, как же образуются в недрах звезд вырожденные, состоящие преимущественно из тяжелых элементов ядра? На рис. 4 схематически приводится структура красного гиганта накануне отделения от него наружных слоев, которые станут планетарной туманностью.

Как видно из этого схематического рисунка, ядерные реакции происходят в двух слоях. В более глубоком идет «тройная» реакция (три альфа-частицы превращаются в ядро углерода). В области, лежащей внутри этого слоя, водород и гелий уже «выгорели» — там только ядра кислорода, углерода и других тяжелых элементов. В наружном слое идут ядерные реакции на водороде. Светимость такого «двухслойного» гиганта очень велика — в тысячи раз больше солнечной.

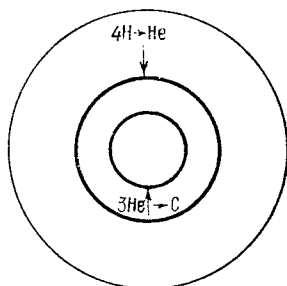


Рис. 4. Схема красного гиганта с «двухслойным» источником ядерной энергии

Нужно еще выяснить, по каким причинам наружная, богатая водородом, оболочка такого гиганта отделяется от ядра. Из того факта, что скорость отделения этой оболочки низка (~ 30 км/с), можно сделать вывод, что на уровне отделения параболическая скорость должна быть такого же порядка величины. Если масса внутренних областей звезды близка к солнечной, расстояние отделившейся оболочки от центра должно быть порядка астрономической единицы, как это и следует ожидать для красного гиганта. Причиной отделения наружных слоев оболочки может быть особого рода неустойчивость, вызывающая в ней колебательные движения нарастающей амплитуды. Период таких колебаний должен быть порядка нескольких тысяч лет. Большую роль в отрыве наружных слоев оболочки красного гиганта может играть световое давление, так как поток излучения через поверхность таких звезд очень велик.

Мы можем теперь проследить эволюцию звезды, в конечном итоге превращающуюся в планетарную туман-

ность (которая довольно быстро рассеивается в окружающей межзвездной среде) и белый карлик, превращающийся по мере остывания в «черный карлик».

1. Звезда главной последовательности с массой, примерно равной $(1-5) M_{\odot}$.

2. Красный гигант высокой светимости типа Миры Кита с избыточным содержанием углерода.

3. Компактный инфракрасный источник (красный гигант с расширяющейся оболочкой, излучающей преимущественно в инфракрасной части спектра).

4. Протяженная инфракрасная оболочка, излучающая также молекулярные линии H_2 , CO и OH (представитель — IRC + 10216).

5. Появление в спектре эмиссионных линий. «Инфракрасная» и «молекулярная» оболочка продолжают расширяться (представитель — НМ Стрелы).

6. Компактная яркая область ионизованного водорода, некоторые инфракрасные и молекулярные линии продолжают наблюдаться (представители: CRL 618, V 1016 Лебеда).

7. Молодая яркая компактная планетарная туманность. Наблюдаются инфракрасные и молекулярные линии (представители — давно уже известные объекты IC 418 и NGC 7027).

8. Нормальная планетарная туманность.

9. Горячая «ультрафиолетовая» звезда.

10. Белый карлик.

Таким образом, современная астрономия, работающая во всех спектральных диапазонах, смогла проследить весь процесс эволюции «нормальной» звезды, первоначально находившейся на главной последовательности, вплоть до превращения ее в белый карлик. Существенно, что речь идет о звездах сравнительно небольшой массы $(1-5 M_{\odot})$ к которым принадлежит львиная доля всех эволюционирующих в Галактике звезд. Звезды с массой $< 0,85 M_{\odot}$ за время жизни Галактики (~ 20 миллиардов лет) еще не сошли с главной последовательности, т. е. не стали сравнительно быстро эволюционирующими красными гигантами. У них еще «все впереди». Что касается сравнительно малочисленных массивных звезд $M > 5 M_{\odot}$, то характер их эволюции (значительно более быстрой, чем у их маломассивных коллег) будет принципиально отличаться от описанного выше. Большинство из них окончат свое существование грандиозным взрывом, который изредка наблюдается астрономами как явление

вспышки сверхновой звезды. В результате такого взрыва образуются нейтронные звезды и, реже — черные дыры. Эти увлекательные проблемы здесь рассматриваться не будут.

Итак, образование планетарных туманностей есть закономерный (хотя и краткий) этап в эволюции большинства звезд. Выше был набросан только весьма краткий сценарий этого важнейшего для космогонии процесса. При более детальном изучении круга вопросов, связанных с планетарными туманностями, возникает целый ряд проблем, еще очень далеких от решения. Стоит остановиться на нескольких из них.

Большой интерес представляет изучение структуры туманностей, их морфологии. Такие исследования помогают уточнить детали происхождения этих объектов. Например, в отдельных случаях наблюдаются двойные и даже тройные оболочки. Таких туманностей в настоящее время известно около двух десятков. Сюда относится, в частности, и одна из ближайших к нам туманностей NGC7293, изображение которой приведено на рис. 3. По-видимому, «кратные» оболочки — довольно распространенное явление: наружные оболочки далеко не всегда можно наблюдать из-за их малой поверхностной яркости. В отдельных случаях (например, у туманности NGC2440) скорость расширения внутренней более яркой оболочки вдвое превышает скорость наружной, — обстоятельство наглядно демонстрирующее, что оболочки отделялись в разное время. Можно представить, что это связано с колебаниями атмосфер красных гигантов, о которых речь шла выше. Отделение происходит при определенной фазе таких колебаний, период которых исчисляется многими тысячами лет. За пару десятков тысяч лет может произойти несколько таких сбросов, пока не останется только горячее, компактное ядро. Излучение этого ядра начнет ионизовать и прогревать сперва внутреннюю, менее протяженную и более плотную оболочку, а потом и внешние, к этому времени успевшие значительно расшириться и уменьшить свою плотность оболочки. По этой причине яркость наружной оболочки всегда значительно меньше, чем внутренней.

Особое значение имеет вопрос о кратности ядер планетарных туманностей. Выше мы уже обратили внимание на чрезвычайную редкость этого явления. Какова же возможная причина отсутствия среди ядер компонент двойных или тройных систем? Ответ на этот вопрос мож-

но попытаться найти, рассматривая эволюцию звезд в «тесных» двойных системах. В этом случае более массивная (и, следовательно, быстрее эволюционирующая) звезда, сойдя с главной последовательности, не может «раздуться» до размеров красного гиганта. Как только она достигнет некоторого критического размера, начнется быстрое перетекание ее вещества на менее массивный компонент, в результате чего эволюционирующая звезда может потерять до 80% массы и практически весь водород,

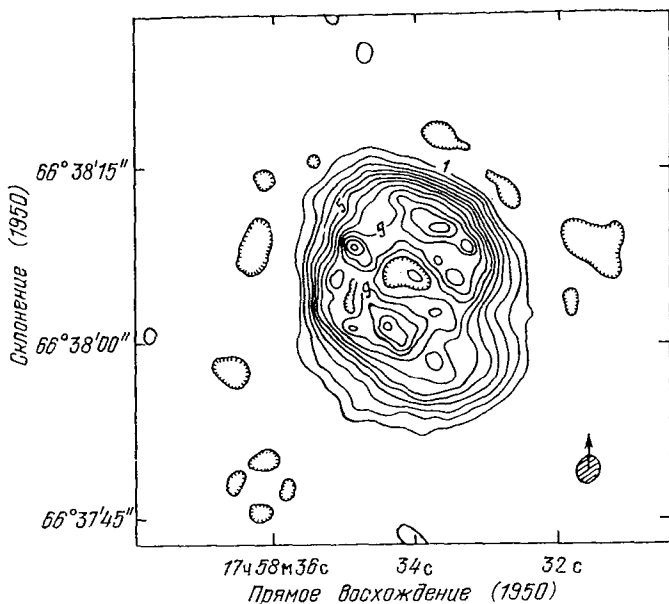


Рис. 5. Радиои изображение планетарной туманности 6543 на волне 3,7 см

заклученный в ее наружной оболочке. В результате образуется компактная горячая гелиевая звезда, которая скорее всего проэволюционирует в белый карлик. Изредка, впрочем, такие гелиевые звезды могут взрываться как сверхновые звезды. Это будет в том случае, когда их массы превышают некоторый определенный предел. Может быть и такая ситуация, что пока первый компонент эволюционирует в белый карлик, начнет эволюционировать и «разбухать» второй компонент, на который в свое время перетекала значительная часть массы перво-

го. Со временем и этот компонент превратится в белого карлика. Во всех этих случаях образование белых карликов не сопровождается формированием планетарных туманностей. Как же понять то обстоятельство, что в отдельных редких случаях двойные ядра все же образуются? Возможно, что этому способствовала образовавшаяся в процессе эволюции двойной системы плотная общая оболочка, благодаря которой система потеряла существенную часть вещества и вращательного момента. При этом компоненты двойной системы могли сильно сблизиться. Один из таких компонентов может быть горячей гелиевой звездой, похожей на ядро планетарной туманности. Заметим, однако, что все эти явления еще мало исследованы. В частности, общие плотные оболочки в двойных системах пока еще не наблюдались, хотя их существование вряд ли подлежит сомнению.

Очень много проблем, связанных с эволюцией планетарных туманностей и их ядер, еще ждет своего решения. Астрономы много ожидают от исследований в инфракрасном и, особенно, радиодиапазоне. Уже сейчас имеются довольно высококачественные радиоизображения планетарных туманностей (рис. 5). Но это только начало. Главное, однако, то, что значение планетарных туманностей для эволюции вещества во Вселенной, их связь с красными гигантами и белыми карликами, стали понятными. И это есть одно из величайших достижений астрономии второй половины XX в.

ВЗРЫВАЮЩИЕСЯ ЗВЕЗДЫ И ИХ ОСТАТКИ

Звезды, более или менее сходные с нашим Солнцем, длительно и устойчиво излучают практически на постоянном уровне. Геологические и палеонтологические данные доказывают, что на протяжении нескольких миллиардов лет мощность солнечного излучения не могла отличаться от современной больше, чем на 50%. Можно сказать (и это доказывается теоретической астрофизикой — см. нашу книгу «Звезды: их рождение, жизнь и смерть», Наука, 1977), что такие звезды представляют собой великолепно «отлаженные» машины, обеспечивающие их совершенную устойчивость. Малейшее повышение температуры звезды приводит почти мгновенно к ее расширению, сопровождающемуся падением температуры до прежнего значения. Поэтому говорят, что нормальная звезда представляет собой «систему с отрицательной теплоемкостью». Так продолжается до тех пор, пока звезда не исчерпает запасов своей ядерной энергии, т. е. до тех пор, пока находящийся в ее центральной области водород не превратится в гелий. У Солнца, которое уже «живет» около 5 миллиардов лет, это произойдет через 7—8 миллиардов лет. После «выгорания» водорода свойства звезды сильно изменятся: она «раздуется» до размеров орбиты Земли, а мощность ее излучения увеличится в сотни раз. Другими словами, из «звезды главной последовательности» она превратится в «красного гиганта», а через сравнительно короткое время, потеряв наружную оболочку, превратится в белого карлика, представляющего собой, как правило, весьма устойчивый объект (см. в этом сборнике статью «Планетарные туманности, белые карлики и красные гиганты», с. 64).

Многие звезды, может быть большая их часть, меняют мощность своего излучения либо периодически (как, например, цефеиды), либо более или менее беспорядочно. К числу последних относится наиболее многочисленная группа звезд, называемых «красными карликами»: это — звезды малой массы (раз в 10 меньше, чем у Солнца) и соответственно низкой светимости. По этой причине они эволюционируют очень медленно. Свое ядерное горючее (водород!) такие карлики исчерпают только через сотни миллиардов лет. Вселенная же существует около 20 миллиардов лет, следовательно, за время ее существования красные карлики еще не успели проэволюционировать. Вещество красных карликов находится в состоянии бур-

ных конвективных движений. На их поверхности происходят интенсивные вспышки, длительность которых порядка минут и часов. Во время таких вспышек мощность излучения красного карлика может увеличиться во много десятков раз.

Значительно более грандиозные изменения светимости наблюдаются во время вспышек «новых» и «новоподобных» звезд. При таких вспышках светимость звезды увеличивается в отдельных случаях в десятки миллионов раз.

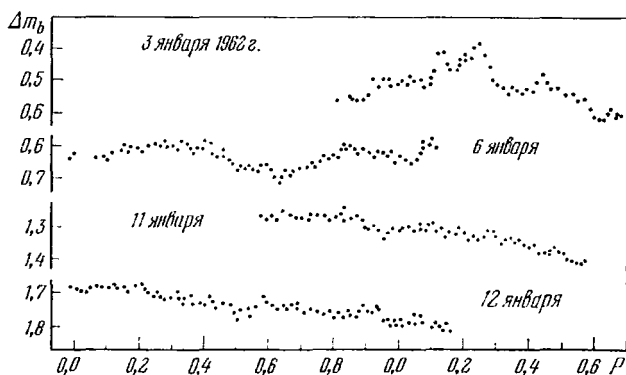


Рис. 1. Кривая блеска звезды SS Лебедя (типа U Близнецов)

Длительность такой вспышки исчисляется днями и неделями. Сейчас доказано, что все эти звезды входят в состав тесных двойных систем, где «активным» (т. е. вспыхивающим) компонентом является белый карлик. На его поверхность все время «натекает» богатое водородом вещество от второго компонента системы и когда его накопится достаточное количество, происходит термоядерный взрыв. Взрывы повторяются почти периодически через промежутки времени от нескольких дней (звезды типа U Близнецов) до многих тысяч лет (классические новые).

Отличительной особенностью описанных выше изменений мощности излучения звезд является то обстоятельство, что такие изменения не затрагивают их внутренней структуры. Речь идет о «поверхностных» явлениях, происходящих в наружных слоях звезд. Даже в случае новых звезд термоядерная вспышка на их поверхности практически не отражается на недрах. Тем больший интерес представляют такие катастрофические изменения мощности излучения звезды, которые сопровождаются

радикальной перестройкой ее внутренней структуры. Речь идет о грандиозном явлении взрыва звезд, исторически получившего на наш взгляд крайне неудачное название «вспышки сверхновой звезды».

Из старинных хроник известно, что изредка на небе внезапно появлялись звезды исключительно большой яркости. После достижения максимума блеска такая звезда медленно угасала, пока через несколько месяцев не переставала быть видимой. Вблизи максимума блеска эти звезды (в древних китайских хрониках они образно назывались «звезды-гости») могли наблюдаться даже днем, что сразу же указывает на то, что их видимый блеск превосходил блеск Венеры — ярчайшего после Солнца и Луны светила. В новое время такая звезда вспыхнула в 1572 г. в созвездии Кассиопеи и наблюдалась выдающимся астрономом Тихо Браге. В последний раз в нашей Галактике сверхновая звезда вспыхнула в 1604 г. в южном созвездии Змееносца. Ее видел великий Кеплер, который через пять лет после этого ввел в практику астрономических наблюдений телескоп. Появление таких звезд на небе (так же, как и комет) привлекало к себе пристальное внимание ученых и философов, так как нарушало аристотелево представление об «идеальности», «совершенстве» и неизменности небес.

После 1604 г. в нашей Галактике вспышки сверхновых звезд не наблюдались. Это, конечно, не означает, что таких вспышек за последние без малого четыре столетия «телескопической» эры в истории астрономии в нашей звездной системе не было. Доподлинно известно, например, что вспышка сверхновой была около 1668 г. в созвездии Кассиопеи, но почему-то не наблюдалась. Следует иметь в виду, что межзвездное пространство вблизи плоскости симметрии Галактики наполнено поглощающими свет пылевыми частицами. Так как большинство звезд в Галактике концентрируется к этой плоскости, то лучи света будут проходить большие отрезки в межзвездном пылевом слое и испытывать очень сильное поглощение. Поэтому удаленные вспышки не будут наблюдаться.

Казалось бы, при такой редкости явления вспышек сверхновых мы мало что можем знать об их природе. Но это не так. Астрономы уже давно наблюдают вспышки сверхновых в других звездных системах — галактиках. В первый раз это случилось в 1885 г., когда на отечественной обсерватории в Тарту наблюдалась вспышка звезды в туманности Андромеды. Сама туманность Ан-

дромеды имеет видимую величину около 4,5 и видна невооруженным глазом. Вспыхнувшая звездочка имела 6-ю величину, т. е. поток излучения от нее был всего в 4 раза меньше, чем от всей туманности Андромеды. В те времена этот результат астрономов не удивил: ведь они же не имели ни малейшего представления о природе туманности Андромеды, равно как и других спиральных туманностей! Только на рубеже 20-х годов XX в. была понята внегалактическая природа М 31 (так обычно астрономы называют туманность Андромеды — № 31 по известному каталогу туманностей, составленному французским астрономом Шарлем Мессье в конце XVIII в.), а также других спиралей. Оказалось, что это — гигантские агрегаты, состоящие из сотен миллиардов звезд, межзвездной среды и огромного количества туманностей. Каждый такой «звездный остров» вполне подобен нашей Галактике.

И тут невольно поразило воображение астрономов то обстоятельство, что мощность излучения вспыхнувшей в 1885 г. в М 31 звезды была вполне сравнима с суммарной мощностью миллиардов звезд, создающих светимость этой галактики! Ничего подобного астрономы до этого не наблюдали! Мощность излучения вспыхнувшей звезды в десятки тысяч раз превосходила мощность излучения обычных новых звезд. Любопытно, что это обстоятельство известный американский астроном Шепли использовал как аргумент против метagalактической природы М 31. Вскоре, однако, в туманности Андромеды были обнаружены обычные новые звезды, которые с такого расстояния наблюдались как объекты 16—17-й величины. Таких звезд в М 31 вспыхивает по нескольку десятков в год. Звезды, подобные вспыхнувшей в 1885 г. в Андромеде, астрономы стали называть «сверхновыми».

Вспышки сверхновых в других галактиках наблюдались не только в сравнительно близкой к нам туманности Андромеды (удаленной на расстояние «всего лишь» около миллиона парсек). В 1895 г. в карликовой галактике NGC 5253 вспыхнула очень яркая сверхновая, имевшая в максимуме блеска 7,5 звездную величину, в то время как «материнская» галактика была на 4,5 величины слабее. Интересно, что в 1972 г. в этой же галактике вспыхнула еще одна сверхновая, которая была со всей тщательностью исследована астрономами при помощи весьма совершенной техники. Может возникнуть естественный вопрос: почему большинство вспышек сверхновых в нашей

Галактике ускользает от наблюдений, а вспышки в далёких галактиках наблюдаются? Дело в том, что в последнем случае свет от вспыхнувшей сверхновой идет обычно к земному наблюдателю под большим углом к плоскости симметрии удаленной галактики, к которой концентрируются поглощающие излучение пылевые облака. Поэтому он будет значительно меньше ослаблен, чем свет сверхновой, вспыхнувшей в центральной части диска нашей «собственной» Галактики (см. выше).

Вспышки сверхновых звезд — явление чрезвычайно редкое. В гигантской галактике типа нашей одна вспышка случается приблизительно один раз в несколько десятков лет, а всего за последние десятилетия наблюдалось около 500 вспышек.

В случае вспышки сверхновой астрономы столкнулись с ситуацией, когда в течение короткого времени одна звезда излучает столько же энергии, сколько миллиарды звезд той галактики, в которой это явление случилось. Полное количество энергии, излученное звездой за время вспышки, порядка 10^{50} эрг, что близко к солнечному излучению за миллиард лет! Заметим, что запас тепловой энергии солнечных недр, нагретых до температуры в несколько миллионов градусов, $\sim 10^{48}$ эрг, т. е. в сотню раз меньше энергии, излученной сверхновой за время вспышки. Гравитационная энергия связи звезды, похожей на Солнце, также порядка 10^{48} эрг. Отсюда видно, что освободившейся при вспышке сверхновой энергии более чем достаточно, чтобы полностью рассеять в окружающее пространство вещество звезды, похожей на Солнце. Следовательно, можно сделать вывод, что взрыв звезды должен сопровождаться коренным изменением ее структуры.

За последние полвека проблема сверхновых звезд стала одной из центральных в астрономии. Постепенно становилось ясным, что ряд фундаментальных проблем естествознания (например, происхождение элементов, происхождение космических лучей, даже происхождение жизни) в большей или меньшей степени связан с различными аспектами проблемы вспышек сверхновых звезд.

Еще перед войной выяснилось, что сверхновые звезды отнюдь не являются группой однородных объектов. Наблюдаются по крайней мере два типа сверхновых: сверхновые I типа и сверхновые II типа. Они отличаются, прежде всего, своими спектрами и так называемыми «кривыми блеска», т. е. зависимостью мощности излучения

звезды от времени. Существует также важная зависимость типа сверхновой от морфологических характеристик галактик, в которых происходят вспышки. Сверхновые I типа наблюдаются во всех галактиках как спиральных, так и эллиптических, а также неправильных. Между тем, сверхновые II типа вспыхивают только в спиральных галактиках. Эта связь между типом сверхновых и типом галактик, в которых происходят вспышки, как увидим ниже, очень важна для понимания природы взрывающихся звезд.

Как уже говорилось выше, спектры сверхновых обоих типов сильно отличаются. Следует также иметь в виду, что эти спектры значительно меняются со временем. Сравнительно легко удалось разобраться в спектрах сверхновых II типа. После максимума блеска в этих спектрах наблюдаются широкие линии излучения и поглощения, принадлежащие водороду, кальцию, железу и другим элементам. Анализ этих спектров позволяет сделать вывод, что они образуются в весьма протяженной оболочке, расширяющейся с огромной скоростью, обычно превышающей 5000 км/с. Существенно, что химический состав разлетающихся оболочек сверхновых примерно такой же, как у солнечной атмосферы. Преобладающим элементом является водород, на втором месте — гелий.

Совершенно иначе выглядят спектры сверхновых I типа. Начать с того, что в течение трех десятилетий совершенно не удавалось отождествить широкие полосы, характерные для этих спектров. Только после того, как выяснилось, что эти полосы суть не что иное, как участки непрерывного спектра между широкими и довольно глубокими линиями поглощения, отождествление спектров сверхновых I типа сдвинулось с мертвой точки. Был отождествлен ряд линий поглощения и прежде всего линии ионизированных кальция и кремния. Длины волн этих линий сдвинуты в фиолетовую сторону спектра из-за эффекта Доплера в расширяющейся со скоростью 10—15 тыс. км непрозрачной оболочке — фотосфере. В спектрах сверхновых I типа очень много линий и они накладываются друг на друга, так что пока значительная их часть еще не имеет однозначного отождествления. Тем не менее анализ этих спектров позволяет сделать очень важный вывод: в оболочках, выброшенных во время вспышки сверхновых I типа, почти нет водорода. Температура фотосферы сверхновых обоих типов, определяющая их непрерывный спектр около максимума, очень высока, 10—

20 тыс. градусов. После максимума она падает, достигая через 1—2 месяца значения 5—6 тыс. градусов.

Кривые блеска сверхновых I типа, очень сходны (см. рис. 2). Вслед за крутым подъемом блеска наблюдается максимум длительностью в 1—2 дня, после чего блеск довольно быстро убывает. После того, как он упадет примерно на $2\frac{1}{2}$ величины (т. е. приблизительно в

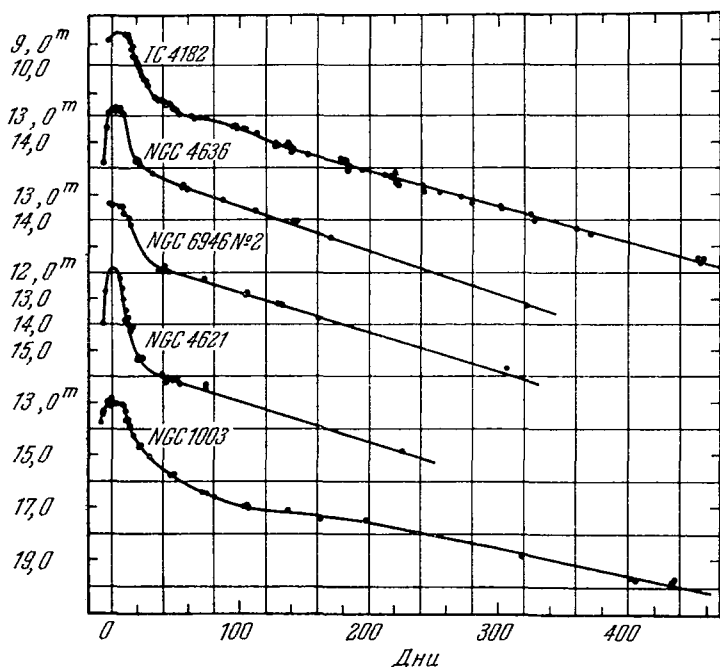


Рис. 2. Фотографические кривые блеска сверхновых I типа

10 раз) характер кривой блеска меняется. Звездная величина сверхновой с удивительным постоянством слабеет на 0,013 величины в сутки. Это означает, что на поздней фазе развития (обычно ~ 50 дней после максимума) светимость убывает со временем по экспоненциальному закону $L \propto e^{-t/\tau}$, где t — время, а $\tau = 85$ дней. Этот закон изменения блеска выполняется вплоть до $t \sim 700$ дней — наиболее долгий срок наблюдений сверхновой, вспыхнувшей в NGC 5253 в 1972 г.

Кривые блеска сверхновых II типа обнаруживают значительное разнообразие. Иногда они близки к кривым блеска сверхновых I типа; чаще всего после максимума

блеска у них наблюдается пологое «плато» длительностью в 50—70 дней, после чего блеск обычно быстро падает (см. рис. 3).

Анализ спектров и кривых блеска сверхновых, выполненный различными исследователями в последние годы, позволяет сделать важные выводы о природе звезд, которые вспыхивают, как сверхновые. Из того факта, что

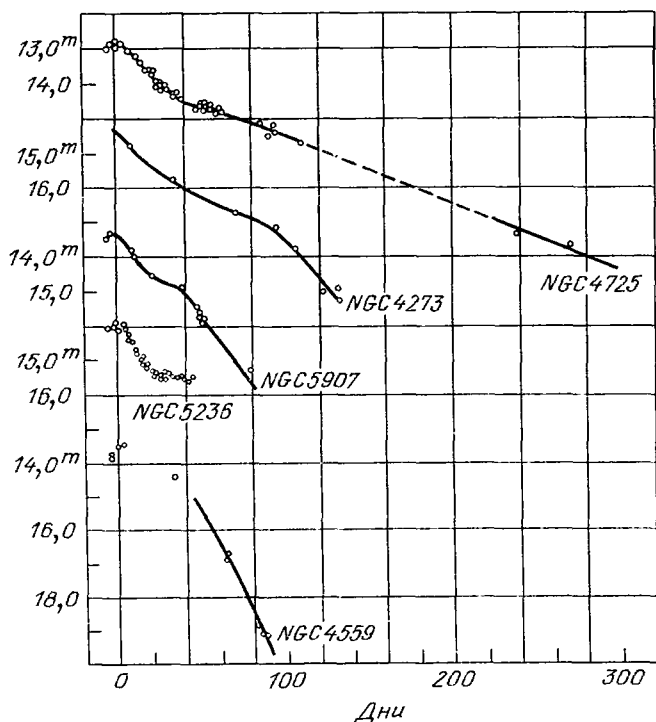


Рис. 3. Фотографические кривые блеска сверхновых II типа

оболочки сверхновых I типа практически лишены водорода, можно сделать вывод, что перед вспышкой эти звезды прошли долгий эволюционный путь, в итоге которого они потеряли богатые водородом наружные слои, превратившись в компактные объекты, более или менее сходные с белыми карликами. Между тем звезды, вспыхивающие как сверхновые II типа, — это красные гиганты и сверхгиганты, раздувшиеся до размеров, превышающих расстояние от Земли до Солнца, масса которых довольно велика, — в несколько раз больше массы Солнца. С этим

выводом хорошо согласуются оценки масс выброшенных при взрывах звезд оболочек. У сверхновых I типа массы оболочек сравнительно невелики, $\sim 0,3$ солнечной массы, в то время как у сверхновых II типа массы оболочек составляют 1—2 массы Солнца.

Становится понятной зависимость между типом сверхновой и морфологическими характеристиками галактик, в которых происходят вспышки. Очевидно, звезды, вспыхивающие как сверхновые II типа, будучи сравнительно массивными, должны быть «молодыми». Это непосредственно видно из сосредоточения таких вспышек в «рукавах» спиральной структуры — верный признак молодости, ибо «новорожденные» звезды возникают из облаков газопылевой межзвездной среды, которые сосредоточены преимущественно в таких рукавах. Между тем, в эллиптических галактиках очень мало газопылевой межзвездной среды и процесс звездообразования там почти прекратился много миллиардов лет назад. Но это означает, что звезд с массой, превосходящей солнечную, в этих галактиках нет — они давным-давно там проэволюционировали. А раз так, то не может там быть и сверхновых II типа, которые ассоциируются с довольно массивными звездами. Что касается сверхновых I типа, то они связаны с проэволюционировавшими звездами и поэтому могут наблюдаться во всех галактиках — спиральных, эллиптических и неправильных.

Каковы же причины взрыва звезд, наблюдаемых как грандиозное явление вспышек сверхновых? Сразу же оговоримся, что полной теории, описывающей все стороны явления взрыва звезд, пока нет — проблема эта слишком сложна и фактических наблюдательных данных, которые бы позволили эту проблему решить эмпирически, пока все еще недостаточно. Однако «суть дела», по-видимому, состоит в следующем. После того, как в центральных областях сильно проэволюционировавшей звезды ядерное горючее «выгорело», может наступить критическая ситуация. Лишенное источников энергии ядро при некоторых условиях (например, достаточно большой массе) начинает катастрофически сжиматься, так как внутреннее давление уже не в состоянии противодействовать стремящейся сблизить все образующие ядро частицы силе гравитации. Это явление называется «гравитационный коллапс». Лишенные поддержки наружные слои звезды-гиганта как бы «рухнут» на продолжающее сжиматься ядро звезды. После того, как ядро перестанет сжиматься,

образуя сверхплотную конфигурацию нейтронной звезды, падающие наружные слои ударятся о него, причем произойдет мгновенный разогрев вещества. По этой причине изнутри наружу пойдет сильная ударная волна. Выходя наружу, она будет разогревать холодную внешнюю оболочку красного гиганта и «сорвет» ее самые внешние слои.

В случае сверхновых I типа также имеет место катастрофическое сжатие звезды. Такое сжатие может начаться при массе звезды — разновидности белого карлика, — превышающей некоторое критическое значение (так называемый «чандрасекаровский предел», который близок к 1,4 солнечной массы). Как же можно представить образование белого карлика с массой, превышающей критическую? Здесь имеются по крайней мере две возможности.

Анализируя проблему вспышек сверхновых в эллиптических галактиках, исследователи уже давно столкнулись с одной трудностью. Дело в том, что за более чем 10 миллиардов лет эволюции звезд в таких галактиках там успели проэволюционировать все звезды с массой, превышающей одну солнечную, в то время, как процесс звездообразования в этих галактиках из-за практического отсутствия межзвездной среды давно прекратился. Между тем взрываться как сверхновая I типа может только объект с массой, превышающей 1,4 солнечную. Эта трудность снимается остроумным предположением, что звезды, вспыхивающие в эллиптических галактиках как сверхновые, всегда находятся в *двойных системах*. Предполагается, что в таких системах более массивный компонент давно уже проэволюционировал, превратившись в белого карлика. Между тем, второй, менее массивный компонент стал «сходить» с главной последовательности, превращаясь в красного гиганта уже в современную эпоху. Когда он в процессе такого «разбухания» достигает некоторого критического радиуса, начнется перетекание его паружных слоев на давно уже проэволюционировавший первый компонент — белый карлик. При этом масса последнего превысит критическое значение, после чего наступит гравитационный коллапс и сопутствующая ему вспышка сверхновой I типа. Хотя эта гипотеза сталкивается с известными трудностями, вряд ли можно представить себе другой какой-нибудь механизм, способный объяснить вспышку сверхновых в эллиптических галактиках. Очевидно, этот механизм действует и в спиральных

галактиках, но является ли он там единственно возможным?

Другой механизм образования белого карлика с массой, превышающей критическую, по нашему мнению связан с обстоятельствами «рождения» белых карликов путем отделения наружной оболочки красного гиганта, превращающейся в планетарную туманность (см. статью на с. 62). Образующийся при этом «промежуточный» компактный горячий объект — ядро планетарной туманности — будет эволюционировать в белый карлик. Вполне возможна такая ситуация, когда ядро планетарной туманности (это еще не белый карлик!) будет иметь массу, превышающую чандрасекаровский предел. В процессе сжатия и уплотнения, «на пути» к превращению в белый карлик такой объект может сколлапсировать.

То, что механизм «двойной звезды» далеко не всегда действует в спиральных галактиках (в частности, в нашей Галактике), видно хотя бы из того, что на месте вспышек исторических сверхновых 1572 и 1604 гг., принадлежащих, как это следует из их кривых блеска, к I типу, нет звезд-субгигантов — компонент двойных систем, в которые входили взорвавшиеся звезды. Автор этой статьи, таким образом, приходит к выводу, что 1—2% ядер планетарных туманностей после сравнительно короткой эволюции вспыхивает как сверхновые I типа.

Серьезную проблему представляет объяснение заключительной, «экспоненциальной» части кривых блеска сверхновых I типа. Еще в 1956 г. группа американских астрономов высказала гипотезу, что основным источником энергии на поздней стадии вспышки сверхновых I типа может быть радиоактивное деление сверхтяжелых трансурановых ядер калифорния-256. Этот элемент был выбран просто потому, что его период полураспада близок к показателю экспоненты кривых блеска τ . Непреодолимой трудностью, ставшей на пути этой гипотезы, является недопустимо большое количество экзотического калифорния, образование которого нужно допустить при взрыве сверхновых I типа.

В последние годы появились более реалистические модификации гипотезы «калифорния-256». Наиболее перспективной представляется гипотеза об образовании во время вспышки сверхновых I типа большого количества (~массы Солнца) радиоактивного изотопа никель-56. Последний, распадаясь с периодом около 6 дней, дает радиоактивный изотоп кобальт-56, который, в свою оче-

редь распадаясь с периодом 88 дней, переходит в стабильный изотоп железо-56, причем при каждом акте распада возникают γ -кванты с энергией ~ 1 мегавольт. Здесь мы сталкиваемся с трудностью: спустя несколько месяцев после вспышки, расширявшаяся и, следовательно, ставшая менее плотной оболочка будет прозрачна для жестких γ -квантов и, следовательно, перестанет при поглощении «усваивать» их. Возможно, однако, что эту трудность удастся преодолеть, если принять во внимание, что при радиоактивном распаде кобальта-56 образуются наряду с γ -квантами позитроны, которые вполне могут поглощаться оболочкой. Значительно более серьезной трудностью является отсутствие сильных линий ионизованного кобальта в спектрах сверхновых I типа сразу же после максимума. Ведь если «радиоактивная» гипотеза справедлива, кобальта в оболочках должно быть очень много, в тысячи раз больше, чем кальция, который дает весьма заметные линии поглощения во всех спектрах сверхновых I типа.

Однако, несколько лет тому назад неожиданно появился довольно сильный аргумент в пользу «никелевой» модификации радиоактивной гипотезы. Выяснилось, что спектр сверхновой 1972 г., вспыхнувший в NGC 5253 (который исследован лучше других), на заключительной стадии своего развития состоит только из широких полос излучения. Эти полосы удалось отождествить с линиями ионизованного железа. Из анализа интенсивности указанных полос можно сделать вывод, что железо — наиболее обильный химический элемент в оболочке: его масса составляет несколько десятых солнечной. Все же окончательное торжество «радиоактивной» гипотезы еще не наступило. С ней конкурирует другая гипотеза, согласно которой источником «накачки» энергии в оболочку сверхновой I типа является быстро вращающаяся, сильно намагниченная звезда — конечный продукт гравитационного коллапса (см. ниже).

Таким образом, ряд важных вопросов, связанных с причинами и характером взрывов звезд, все еще остается без ответа. Прогресс в этой важной области астрономии определяется существующими наблюдательными данными, касающимися различных аспектов явления вспышки сверхновой.

До сих пор мы ограничивались информацией, полученной из наблюдений спектров и блеска вспыхивающих в других галактиках сверхновых звезд. Однако, уже до-

вообще давно выяснилось, что сверхновые, после того как они «погасли», т. е. перестали быть наблюдаемыми, надолго оставляют на небе следы своей краткой, но очень «бурной» жизни. Выброшенные при взрывах довольно массивные оболочки, движущиеся с огромной скоростью $\sim 10\,000$ км/с, взаимодействуют со средой, через которую они проходят, сильнее всего возмущая ее. Это приводит к возникновению ряда новых явлений, которые весьма успешно наблюдаются астрономами при помощи современных средств. Наряду с этим, в отдельных случаях можно наблюдать и сами движущиеся оболочки, пока они еще не «растворились» в окружающей межзвездной среде. Так в астрономии возникла новая, очень важная и перспективная область исследований остатков вспышек сверхновых звезд.

Исторически первым космическим объектом, который астрономы отождествили с некогда вспыхнувшей сверхновой, была знаменитая Крабовидная туманность (рис. 4). Подозрения на этот счет возникли еще в 1919 г., когда было обращено внимание на близость координат этой туманности и известной из старинных китайских и японских хроник «звезды-гостя», вспыхнувшей в 1054 г. в созвездии Тельца, и в силу своей большой яркости наблюдавшейся среди бела дня. Однако, только в 1928 г. величайший астроном нашего века Хаббл определенно высказался в пользу этого отождествления, которое вскоре было полностью доказано. Помимо совпадения координат, решающее значение имеет анализ собственных движений волокон туманности. Если экстраполировать эти движения назад, получится, что примерно за 900 лет до наших дней туманность, угловые размеры которой сейчас превышают 5 минут дуги ($\sim 1/3$ солнечного радиуса), была «точкой», т. е. расширение ее началось в эпоху вспышки наблюдавшейся китайцами «звезды-гостя».

В истории астрономической науки Крабовидная туманность сыграла совершенно исключительную роль. Недаром среди астрономов бытует шутка, что современную астрофизику можно разделить на две части: физику Крабовидной туманности и... все остальное. Эта туманность, например, была первым отождествленным космическим радионисточником (не считая Солнца, конечно). Она же была первым отождествленным космическим рентгеновским источником. Внутри нее находится самый короткопериодический и во всех отношениях замечательный пульсар (см. ниже). Наконец, ее оптическое свечение

в непрерывном спектре (см. рис. 5) имеет совершенно особую, до того времени нигде в Космосе не встречавшуюся природу. Не подлежит сомнению, что Крабовидная туманность преподнесет астрономам еще не один сюрприз.

Кроме яркого непрерывного спектра, о котором сейчас упоминалась, Крабовидная туманность излучает еще

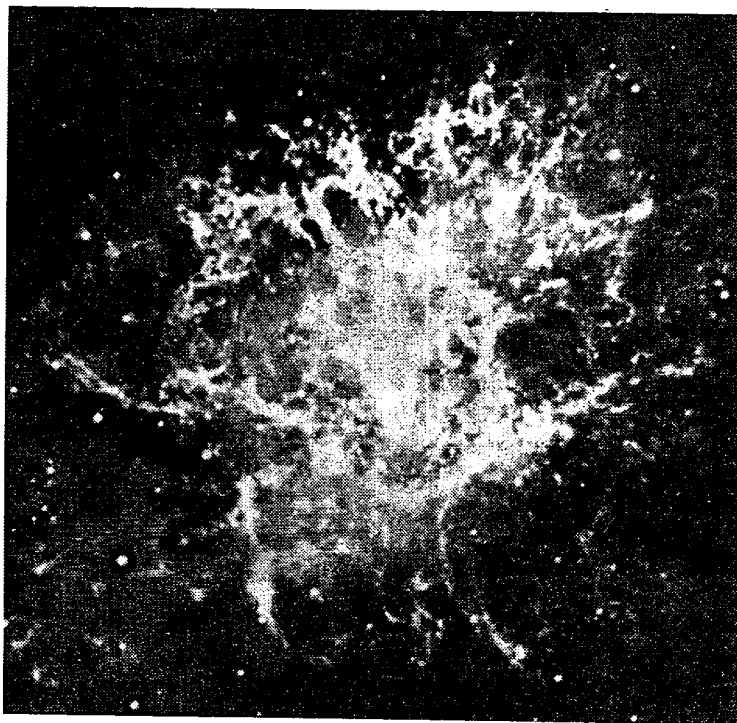


Рис. 4. Фотография Крабовидной туманности, полученная через фильтр, пропускающий линию Π_{α}

спектральные линии. Источником этого излучения является сеть волокон, охватывающая центр Крабовидной туманности и расширяющаяся со скоростью, превышающей 1000 км/с. Эти волокна и есть бывшая оболочка (см. рис. 4). Химический состав волокон сходен с химическим составом солнечной атмосферы с той существенной разницей, что в волокнах относительное количество гелия в несколько раз больше, чем на Солнце. Все же наиболее

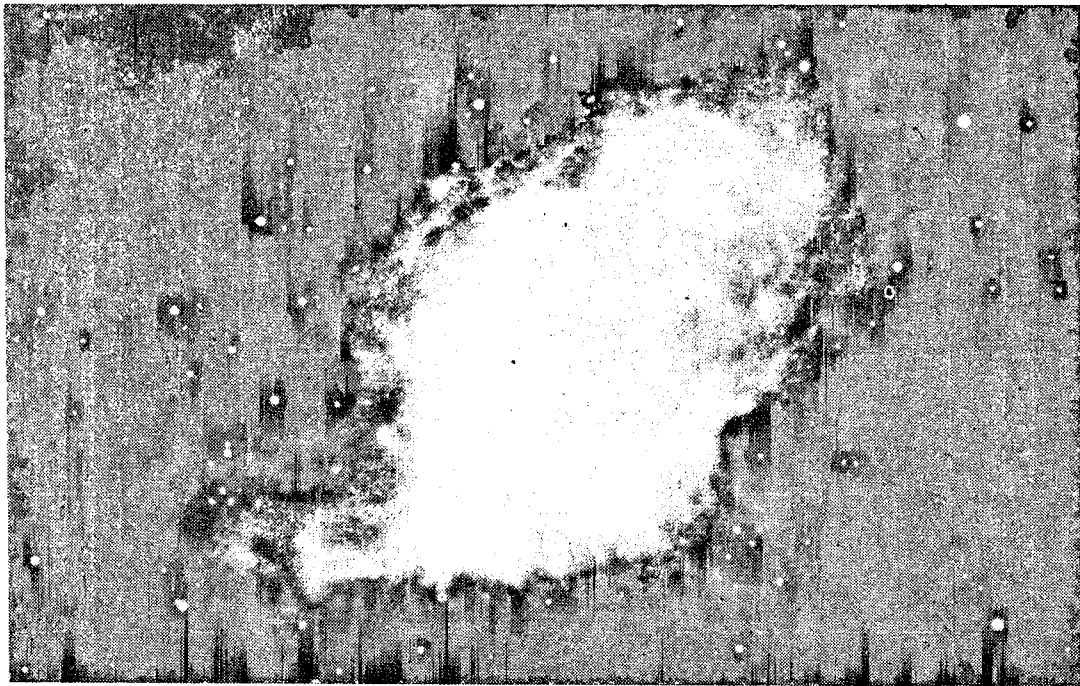


Рис. 5. Фотография Крабовидной туманности через фильтр $7200\text{--}8400\text{ \AA}$

обильным (по числу атомов) элементом является водород — обстоятельство, исключающее возможность отождествления сверхновой 1054 г. с I типом. Весьма вероятно, что эта сверхновая хотя и была не совсем типичной, принадлежала ко II типу. В настоящее время электромагнитное излучение с непрерывным спектром от Крабовидной туманности охватывает огромный диапазон от метровых радиоволн до сверхжестких квантов с энергией, превышающей 10^{12} электрон-вольт. Доказано, что всю эту радиацию излучают заключенные в Крабовидной туманности релятивистские электроны, движущиеся в магнитном поле, напряженность которого в тысячу раз меньше земного. Менее энергичные из этих электронов с энергией $\sim 10^8 - 10^9$ электрон-вольт излучают радиоволны, электроны с энергией $10^{11} - 10^{12}$ эВ — видимый свет, а еще более энергичные электроны — рентгеновские и гамма-кванты. Излучая кванты при своем движении в магнитном поле, релятивистские электроны теряют энергию. Особенно быстро теряют энергию «сверхэнергичные» электроны, вызывающие оптическое и, тем более, рентгеновское излучение Крабовидной туманности. У таких электронов время жизни ощутимо меньше возраста туманности. Поэтому совершенно необходим механизм, непрерывно возобновляющий эти электроны, которые, будучи «заперты» в ней магнитным полем, не могут «вытечь» в окружающее пространство. Что же это за механизм? Оказывается, что таким механизмом (вернее «машинной») является находящаяся в центре Крабовидной туманности нейтронная звезда, образовавшаяся после вспышки сверхновой 1054 г.

Уже давно в центральной части Крабовидной туманности астрономы наблюдали две близко расположенные друг к другу слабые звездочки 16-й величины (см. рис. 6). И вот оказалось, что южная из этих звезд — отнюдь не обычная звезда, а нечто совершенно особенное! Это стало ясно только в 1969 г., спустя год с небольшим после одного из величайших открытий в астрономии XX века — открытия *пульсаров*. Последние были обнаружены на Кембриджском радиотелескопе совершенно случайно и их природа была понята только спустя несколько месяцев. Наблюдались строго периодические радиоимпульсы, причем периоды были порядка секунды. Оказалось, что эти импульсы излучаются сильно намагниченными (напряженность поля $\sim 10^{12}$ эрстед!) объектами ничтожно малых размеров (~ 10 км). Так были открыты нейтронные звез-

ды, существование которых было предсказано астрономами еще в 1934 г., когда была высказана гипотеза, что в процессе вспышки сверхновой более или менее обычная звезда превращается в нейтронную. В последующие годы видными теоретиками были выполнены расчеты структуры нейтронных звезд. Становилось все более ясным, что нейтронные звезды наряду с белыми карликами имеют

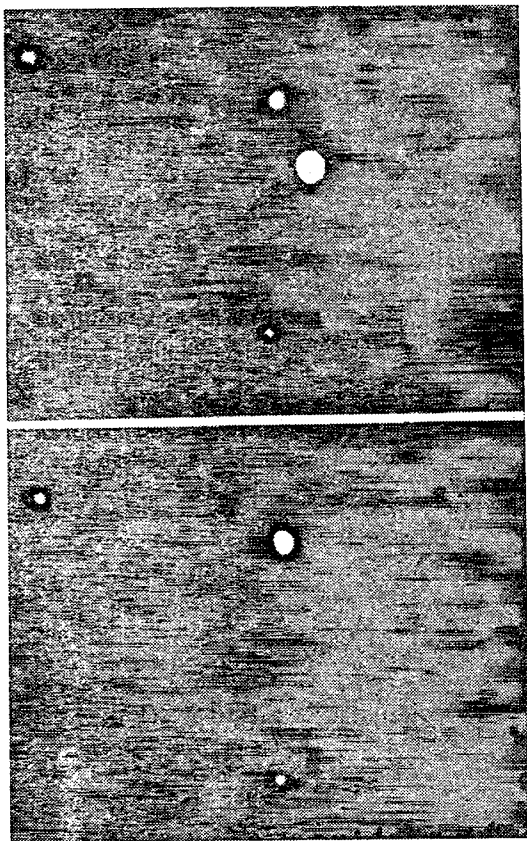


Рис. 6. «Стробоскопические» наблюдения оптического излучения пульсара NP 0532

фундаментальное значение для звездной эволюции, представляя собой ее конечные стадии. Тем более «обидно» было, что никаких шансов наблюдать реальные нейтронные звезды на горизонте астрономической науки не было. Например, из-за своих ничтожных размеров они никак

не могут быть источниками наблюдаемого оптического излучения. И вдруг их открыли и притом самым неожиданным образом! Ведь ниоткуда же не следовало, что нейтронные звезды могут быть источниками мощного радиоизлучения и притом — паправленного, подобно прожекторному лучу! Заметим, что и сейчас, спустя 15 лет после открытия пульсаров, природа их радиоизлучения не ясна. Так что открытие пульсаров для астрономов действительно явилось «подарком».

Вскоре после открытия первых четырех («кембриджских») пульсаров был открыт пульсар в Крабовидной туманности. До этого он, что называется, «стучался в двери» (то-бишь, в радиотелескопы) астрономов, которые еще в начале шестидесятих годов обнаружили в центральной части Крабовидной туманности переменный радионисточник малых угловых размеров, особенно интенсивный на низких частотах. Измеренный период пульсара в Крабовидной туманности (равный периоду вращения соответствующей нейтронной звезды), оказался рекордно малым — 0,033 секунды. Дальнейшие измерения показали, что этот период все время растет, т. е. вращение нейтронной звезды замедляется. Что же ее тормозит? Оказывается, собственное весьма длинноволновое излучение, вызванное тем, что нейтронная звезда сильно намагничена. Эта непрерывно теряемая нейтронной звездой кинетическая энергия вращения в конечном итоге, через посредство магнитного поля, переходит в энергию релятивистских электронов. Таким образом «инжектором» релятивистских электронов в Крабовидной туманности является находящийся внутри нее пульсар. Если бы пульсар «выключился» (например, остановилось бы его вращение), через несколько месяцев прекратилось бы жесткое рентгеновское излучение Крабовидной туманности, через сотню лет кончилось бы ее оптическое излучение и только радиоизлучение продолжалось бы до тех пор, пока туманность окончательно не рассеялась бы.

Пульсар в Крабовидной туманности замечателен еще тем, что он излучает не только радиоволны (как остальные пульсары), но и оптические, а также рентгеновские кванты. В частности, оптический объект в центре Крабовидной туманности (см. рис. 6) — это вовсе не звезда, а пульсар. Это доказывается наблюдаемой периодичностью его оптического излучения, причем период в точности равен периоду радиопульсара. На рис. 7 приведена кривая блеска этого пульсара в видимых лучах.

Теперь уже с полным правом можно сказать, что пульсары — звездные «остатки» вспышек сверхновых звезд. Другим видом остатков вспышек являются особые туманности, образующиеся при взаимодействии выброшенных при взрывах звезд оболочек с межзвездной средой. Что касается пульсаров, то их в настоящее время известно около 350. Во всех случаях периоды пульсаров

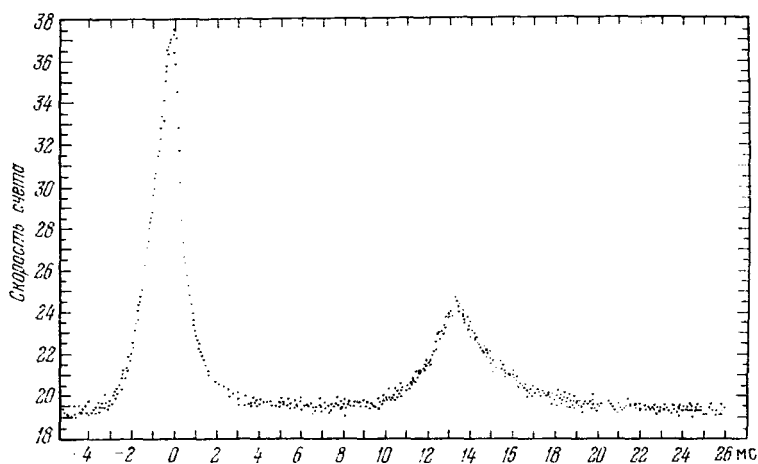


Рис. 7. «Кривая блеска» оптического излучения пульсара в Крабовидной туманности

растут, следовательно, их вращение тормозится. Зная период и скорость изменения периода, легко определить возраст пульсара.

Так, возраст пульсара в Крабовидной туманности получается около 1000 лет, что хорошо согласуется с результатом, получаемым при отождествлении этой туманности со «звездой-гостьей» 1054 г. Средний возраст пульсаров порядка нескольких миллионов лет. Это намного больше, чем возраст связанных с ними туманностей, образовавшихся при вспышках. Последний исчисляется десятками тысяч лет. В тех немногих случаях, когда «молодой» пульсар удачно ориентирован по отношению к земному наблюдателю (т. е. ось его диаграммы излучения проходит через Землю), можно наблюдать пульсар в туманности. Такой редкий случай наблюдается в Крабовидной туманности, а также в туманности в созвездии Парусов. Там находится один из самых короткопериодических пульсаров с периодом 0,089 секунды, возраст ко-

торого (определяемый по его торможению) — около 10 000 лет. Он, подобно пульсару в Крабовидной туманности, является источником очень слабого оптического и γ -излучения.

Существует несколько методов определения расстояний до пульсаров, на которых мы здесь останавливаться не будем. Зная расстояния и характер диаграммы радиоизлучения пульсаров, можно найти полное количество пульсаров в Галактике, которое порядка сотни тысяч. При известном среднем возрасте пульсаров (см. выше) мы получаем среднюю скорость рождения новых пульсаров в Галактике — один пульсар каждые 20—30 лет. Очевидно, это есть частота вспышек сверхновых звезд в Галактике. Заметим, что другие методы, а также статистический анализ вспышек в галактиках разных морфологических классов, дают для частоты вспышек сверхновых то же значение. Эта частота в 20—30 раз меньше частоты образования белых карликов — наиболее часто встречающегося «конечного» продукта звездной эволюции.

Взросшая точность радиоастрономических наблюдений позволила в отдельных случаях, для наиболее близких к нам пульсаров, измерять их собственные движения по небесной сфере, исчисляемые долями секунды дуги в год. Зная расстояния до пульсаров, можно в этих случаях определить составляющую их скорости, перпендикулярную лучу зрения. Таким образом выяснилось, что большинство пульсаров движется в пространстве со скоростью, превышающей 100 км/с, причем некоторые имеют скорости 200—400 км/с. При таких скоростях пульсары должны были образовывать вокруг Галактики сферическую «корону», чего не наблюдается. Причина, по-видимому, кроется в сравнительной краткости радиоизлучающей фазы нейтронных звезд. Грубо говоря, последние не успели «пройти» Галактику, как перестают излучать радиоволны. Причина этого пока не известна, но несколько гипотез на этот счет уже имеется. Почему же у пульсаров такие высокие скорости? Скорее всего они приобретают их в момент образования, т. е. при вспышке сверхновой звезды. Так как масса сброшенной оболочки составляет заметную долю ($\sim 30\%$) массы взорвавшейся звезды, а скорость выброса достигает 10 000 км/с, то даже при небольшой асимметрии в выброшенной оболочке ядро звезды, сжимающейся в нейтронную звезду, по закону сохранения импульса приобретает «скорость отдачи», превосходящую сотни километров в секунду.

Не представляет труда понять причину сильной намагниченности нейтронных звезд. Ведь при катастрофическом сжатии электропроводной среды должен сохраняться магнитный поток, а это означает, что магнитное поле будет при таком сжатии расти обратно пропорционально квадрату радиуса ядра.

Замечательной особенностью пульсаров является то обстоятельство, что за редкими исключениями они не входят в состав двойных звездных систем. Из 350 известных пульсаров только 3 входят в состав таких систем. Между тем, двойственность системы, куда входит пульсар, легко была бы обнаружена по периодическим изменениям периода, обусловленным эффектом Доплера. Заметим, что по крайней мере 30% всех звезд Галактики входят в состав кратных (прежде всего — двойных) систем.

Отсутствие кратности, по-видимому, частично объясняется большими скоростями, которые приобретают пульсары в момент своего образования. Это может привести к разрыву звездной пары, если скорости пульсаров превышают параболическую. Все же, тесные пары таким способом разорвать нельзя. По-видимому, отсутствие двойственности у пульсаров отражает тот факт, что большинство сверхновых, вспыхивающих в нашей Галактике, до вспышки были одиночными звездами (см. выше).

Перейдем теперь к другому виду остатков вспышек сверхновых — особому типу туманностей, образующихся при взаимодействии выброшенных при взрыве оболочек с межзвездной средой. Прежде всего, все такие туманности являются довольно мощными источниками радионизлучения, а также мягкого рентгеновского излучения. Механизм радионизлучения — такой же как в Крабовидной туманности. Часто этот механизм называется «синхротронным», так как он наблюдается в ускорителях и в настоящее время широко используется в экспериментальной физике. Различают два типа «радиотуманностей» — остатков вспышек сверхновых. Первый тип радиотуманностей, к которому принадлежит подавляющее их большинство, имеет явно выраженную оболочечную структуру (см. рис. 8). Оболочечную же структуру имеют и рентгеновские источники, связанные с такими остатками, а также часто встречающиеся в таких объектах наблюдаемые в оптические телескопы волокна (иногда даже нити), излучающие различные линии. В центре такой оболочки следует представить себе вспыхнувшую звезду. Радиусы обо-

лочек обычно порядка нескольких десятков световых лет, скорости расширения их исчисляются десятками и сотнями километров в секунду.

То обстоятельство, что оболочечные остатки вспышек являются источниками мягкого рентгеновского излучения, означает, что там имеется весьма горячая плазма, нагретая до температуры в десятки миллионов градусов. Прямым доказательством справедливости этого предположения является наличие в рентгеновских спектрах таких



Рис. 8. Радиоизображение IC 443

объектов линий высокоионизованных элементов, например, двадцатипятикратно пониженного железа Fe XXV.

Горячая плазма в окрестностях вспыхнувшей звезды образуется в результате распространения сильной ударной волны в межзвездной среде, вызванной быстро движущейся оболочкой сверхновой. Первое время, пока такая оболочка, действующая на окружающую межзвездную среду, как поршень, еще не «нагребла» достаточное количество массы, она движется без торможения, сохра-

няя свою «индивидуальность». Однако, спустя сотни лет, когда масса «нагретого» газа уже значительно превзойдет массу оболочки, оболочка теряет свою «индивидуальность», полностью растворяется в окружающей среде и мы наблюдаем только распространение более или менее сферической сильной ударной волны. Процесс носит адiabатический характер. Это означает, что первичная кинетическая энергия оболочки $E = \frac{Mv^2}{2}$ распределяется в виде тепловой энергии частиц, находящихся за фронтом ударной волны, причем количество излученной энергии пренебрежимо мало. По мере распространения такой волны в среде, растет количество частиц за ее фронтом. Следовательно, уменьшается кинетическая энергия, приходящаяся на одну частицу, т. е. температура. Математически процесс описывается формулами Л. П. Седова

$$R_2 = \left(\frac{2,2E}{\rho_1} \right)^{1/5} \cdot t^{2/5}; \quad T_2 = \frac{3}{25} \left(\frac{2,2E}{kn_1} \right) R_2^{-3}; \quad \rho_2 = 4\rho_1,$$

где R_2 — радиус ударной волны, ρ_2 — плотность среды за границей фронта, ρ_1 — плотность в невозмущенной среде, k — постоянная Больцмана. Автор этой статьи около 20 лет тому назад применил эту теорию к проблеме сверхновых и на ее основе впервые предсказал необходимость рентгеновского излучения от горячей плазмы, образующейся за фронтом волны. По нашим оценкам величина энергии оболочек $E \sim 3 \cdot 10^{50}$ эрг, откуда следует, что при скорости $\sim 10\,000$ км/с ее масса $M \sim 0,3$ солнечной. В настоящее время эта теория получила значительное развитие и служит основой при анализе данных о рентгеновском излучении остатков вспышек сверхновых. На рис. 9 приведено рентгеновское изображение остатка сверхновой в созвездии Лебедя.

Наряду с «оболочечными» остатками вспышек наблюдаются также остатки с концентрацией яркости к центру. Типичным представителем этого класса объектов является Крабовидная туманность (см. рис. 5). В настоящее время известно около 10 таких остатков вспышек сверхновых, получивших название «плерионов». Встречаются и остатки, представляющие собой плерионы, окруженные оболочкой. Плерионы отличаются от оболочечных источников своим радиоспектром, а также значительной степенью поляризации их синхротронного радиоизлучения, что указывает на сравнительную однородность магнитного поля.

Основным источником энергии плерионов является расположенный внутри них пульсар. Хорошим тому примером является рассмотренная выше Крабовидная туманность. Заметим в этой связи, что магнитное поле в последней, так же как и в других плерионах, обусловлено активностью пульсаров.

Автор этой статьи считает, что плерионы — это остатки вспышек сверхновых II типа, между тем как вспышки

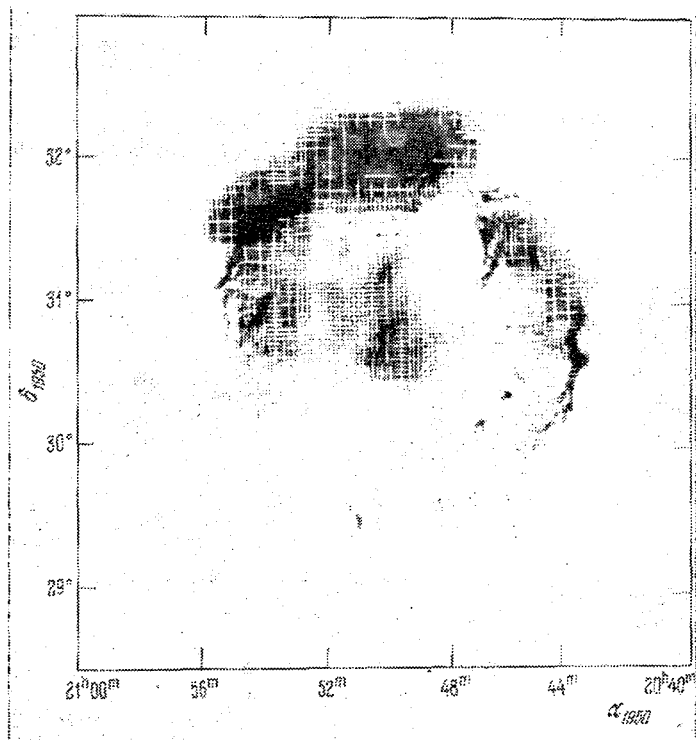


Рис. 9. Рентгеновское изображение «Петли Лебеда»

сверхновых I типа порождают только оболочечные остатки. Следует, однако, иметь в виду, что остатки сверхновых II типа также наряду с центральным плерионом могут иметь оболочку. С течением времени плерион может «погаснуть» (т. е. сильно уменьшить мощность своего радиоизлучения), между тем оболочка останется. Такие старые остатки вспышек сверхновых II типа не будут отличаться от остатков вспышек сверхновых I типа.

Можно сейчас считать доказанным, что после вспышек сверхновых II типа образуются нейтронные звезды — пульсары. Образуются ли после вспышек сверхновых I типа нейтронные звезды? На этот простой вопрос однозначного ответа пока нет. Некоторые теоретики считают, что при взрыве сверхновых I типа белый карлик полностью разрушается, а его вещество рассеивается в окружающем пространстве. В пользу этого вывода говорит тот простой факт, что в центре остатков молодых сверхновых I типа, вспыхнувших в 1572 и 1604 гг., не наблюдаются нейтронные звезды, хотя методами рентгеновской астрономии они могли бы быть обнаружены по их жесткому тепловому излучению. Однако, эти нейтронные звезды могли сильно охладиться за несколько сот лет и не излучать достаточного для наблюдений количества жесткой радиации. Все же, по мнению ряда специалистов, после вспышек сверхновых I типа также образуются нейтронные звезды. Активность этих нейтронных звезд может объяснить «экспоненциальную» часть кривой блеска сверхновых I типа. В некоторых отношениях эта гипотеза имеет преимущества перед «радиоактивной» гипотезой. Одним из аргументов в пользу образования нейтронных звезд после вспышек сверхновых I типа является сравнительно малая масса их оболочек — всего лишь $\sim 0,3 M_{\odot}$, а масса взорвавшегося белого карлика должна превышать критическое значение $1,4 M_{\odot}$.

Мы не затронули большое количество проблем, связанных с вспышками сверхновых звезд. Например, весьма интересен круг вопросов, относящихся к вспышкам сверхновых звезд в двойных системах. В результате таких вспышек в кратных системах образуются нейтронные звезды, на которые с огромной скоростью падают струи газа. По этой причине вокруг нейтронной звезды образуется очень горячий плотный газовый диск, чрезвычайно мощно излучающий в рентгеновском диапазоне. Это — «рентгеновские пульсары», исследование излучения которых является одним из основных направлений рентгеновской астрономии.

Большой интерес представляет анализ вспышек сверхновых как главного источника космических лучей в Галактике. На основе развитой в нашей стране теории синхротронного излучения можно вычислить содержание релятивистских частиц в остатках. Зная, с другой стороны, частоту вспышек сверхновых, можно найти среднюю мощность «впрыскиваемых» в Галактику релятивистских ча-

стиц, т. е. «свежих» космических лучей. Оказывается, что это количество вполне компенсирует количество «гибнущих» при столкновениях с ядрами межзвездных атомов галактических космических лучей. Тем самым обеспечивается динамическое равновесие космических лучей в Галактике.

Так же интересен вопрос о связи вспышек сверхновых с процессом звездообразования. По-видимому, процесс, разрушающий звезды, одновременно может стимулировать их образование. Дело в том, что на периферии остатков вспышек могут уплотняться облака холодного межзвездного газа, что повлечет за собой их последующую конденсацию под влиянием сил всемирного тяготения.

В заключение этой статьи остановимся еще на одном интересном вопросе. Легко показать, что при сжатии ядра звезды до размеров нейтронной звезды (т. е. до ~ 10 км) освобождается гравитационная энергия $\sim 3 \cdot 10^{52}$ эрг. Между тем, полная энергия, излученная сверхновой за все время вспышки $\sim 10^{50}$ эрг, а кинетическая энергия оболочки $\sim 3 \cdot 10^{50}$ эрг. Куда же девается 99% освободившейся гравитационной энергии? В какую форму она превращается? Оказывается, она превращается в нейтрино, которые свободно покидают недра взорвавшейся звезды. Расчеты показывают, что длительность такой «нейтринной вспышки», сопутствующей взрыву звезды и уносящей $\sim 99\%$ освободившейся энергии, всего лишь около секунды. Средства современной физики позволяют обнаружить такие нейтринные всплески, даже если они случаются при вспышках сверхновых далеко за пределами нашей Галактики. Остается надеяться, что эти всплески будут скоро обнаружены.

Земля и Вселенная.— 1981.— № 4 и 5.

ОТ РЕДАКТОРОВ

23 февраля 1987 г. произошло астрономическое событие чрезвычайной важности — вспыхнула Сверхновая в Большом Магеллановом Облаке. Эта сверхновая, получившая «имя» SN 1987a, заслуженно стала «объектом номер один» сегодняшней астрофизики. Впервые за последние три столетия наблюдалась столь близкая сверхновая, впервые она была видна невооруженным глазом, впервые известно, как именно звезда взорвалась! За несколько часов до оптической вспышки были зарегистрированы нейтринные события — взрыв SN 1987a явился вторым, кроме Солнца, известным источником нейтринного излучения. Большинство астрономов привыкло считать время тысячами — миллионами лет. При наблю-

дении Сверхновой SN 1987a единицами счета времени стали доли суток.

Близкую вспышку сверхновой ждали уже давно, последняя яркая сверхновая в нашей Галактике была зарегистрирована в 1604 г., и наука остро нуждалась в проверке данных путем прямых наблюдений близкой и яркой сверхновой звезды. Говорить о том, что дала в этом отношении SN 1987a, пока рано, но уже сегодня ясно, что феномен сверхновой гораздо богаче наших представлений о нем.

В спектре SN 1987a вблизи максимума наблюдались сильные линии водорода, т. е. вспышка относится к типу SNII, но кривая блеска на ранней стадии отличалась и от предсказаний теории, и от явлений других SNII. Вспыхнула звезда голубой сверхгигант класса В3 I, хотя до сих пор считалось, что звезды этого класса не являются непосредственными предшественниками сверхновых II типа. Спектр SN 1987a менялся быстрее, чем у обычных SNII. Радионизлучение SN 1987a было зарегистрировано неожиданно рано, оно было в сотни раз слабее, чем у других радио-сверхновых, и перестало наблюдаться через несколько дней после вспышки. Богатую информацию дают внеатмосферные наблюдения SN 1987a в ультрафиолетовой области спектра, в том числе с борта советской обсерватории «Астрон». В конце августа 1987 г. с советского и японского космических аппаратов было обнаружено неожиданно сильное жесткое рентгеновское излучение SN 1987a, и наблюдения в этом диапазоне раньше, чем в других, ответят на вопрос, сопровождалось ли явление Сверхновой образованием пульсара.

СОВРЕМЕННАЯ МЕТАГАЛАКТИЧЕСКАЯ АСТРОНОМИЯ И ПРОБЛЕМА АКТИВНОСТИ ЯДЕР ГАЛАКТИК

1. Общие сведения о Метагалактике

На протяжении долгих веков развития астрономии представления людей о размерах окружающего Землю мира претерпели радикальные изменения. Вплоть до первой половины XVI в. господствовало освященное авторитетом Аристотеля и поддерживавшееся христианской церковью представление об исключительном положении Земли — центра и средоточия мироздания. Правда, еще в античную эпоху отдельные мыслители усомнились в «среднем» положении Земли во Вселенной. Первая в истории культуры гелиоцентрическая система была выдвинута еще Аристархом Самосским. Однако идеи Аристарха практически не оказали влияния на развитие философии и науки в последующие века. Окончательное торжество гелиоцентрической системы мировоззрения связано с великим именем Коперника, положившего начало первой революции в астрономии. В ту эпоху, однако, Вселенная и ее масштабы ограничивались только Солнечной системой, точнее — ее самой внутренней частью, ибо Уран и Нептун еще не были открыты... Представления о звездах и их природе практически не отличались от Аристотелевых. Пожалуй, первый, кто понял чудовищную огромность расстояний до самых близких звезд по сравнению с размерами Солнечной системы, был Ньютон. Однако истинным пионером звездной астрономии справедливо считают Гершеля.

В течение последующих полутора столетий постепенно был накоплен огромный наблюдательный материал о «звездной» Вселенной. И хотя еще в XVIII в. отдельные мыслители высказывали очень смелые идеи об «островной Вселенной» (Ламберт), т. е. о Вселенной, состоящей из бесконечного количества гигантских звездных ансамблей («островов»), господствовало представление, что вся Вселенная состоит из звезд, причем более крупные структурные единицы в ней отсутствуют. Непонятной оставалась природа открытых еще Гершелем спиральных туманностей, хотя среди гипотез, объясняющих их природу, были и более или менее близкие к современным представлениям. Заметим, однако, что в те времена некоторые астрономы даже Крабовидную туманность считали состоящей из

звезд... Как и во всякой другой науке о природе, в астрономии следует отличать гипотезы от доказанных фактов.

Вплоть до начала двадцатых годов нашего века вопрос о природе спиральных туманностей и самое главное — о расстояниях до них, по существу оставался открытым. Решить этот вопрос путем умозрительных заключений, даже самых остроумных, было невозможно. Такое решение могли дать только астрономические наблюдения, для чего требовалось серьезное усовершенствование имевшихся тогда телескопов. Разрешение внешних рукавов спиральной туманности Андромеды (или, как чаще обозначают ее астрономы, М 31) на звезды наглядно продемонстрировало внегалактическую природу этого объекта. Среди звезд, наблюдавшихся в М 31, оказалось много «старых знакомых», например, цефеид, новых звезд и др. Вскоре были разрешены на звезды и другие сравнительно близкие к нам «острова Вселенной» — галактики. И в течение немногих лет перед астрономами открылся удивительный мир удаленных на колоссальные расстояния звездных агрегатов — галактик. Возникла метagalактическая астрономия, в огромной степени раздвинувшая границы наблюдаемой Вселенной. Одновременно вырисовывались контуры и того «Острова Вселенной», в котором находится и наша Солнечная система. Этот «Остров» давно уже получил название «Галактики» (с большой буквы), в то время как для всех остальных «островов» удержалось название «галактики» (с маленькой буквы). Исследование нашей Галактики оказалось далеко не простой задачей, в некоторых отношениях даже более трудной, чем исследование метagalактических объектов. И виной тому межзвездное поглощение света, обусловленное малыми пылинками, делающее почти ненаблюдаемыми более или менее удаленные от нас области Галактики. В частности, это поглощение скрывает от нас область галактического центра. Все же в предвоенные годы были получены правильные представления об основных свойствах Галактики — ее массе и размерах. Последние исчисляются многими десятками тысяч световых лет, в то время как масса, приблизительно, в сто миллиардов раз больше солнечной. Эта масса на 99% состоит из входящих в состав Галактики 10^{12} звезд, преимущественно слабых красных карликов.

Выдающаяся роль в открытии и исследовании Метagalактики принадлежит замечательному американскому астроному Э. Хабблу. Много лет он работал на величайшем

в те времена оптическом телескопе-рефлекторе с диаметром зеркала $2\frac{1}{2}$ метра, в основном ориентированном на метagalактические исследования. Хаббл принадлежит



Рис. 1. Эллиптическая галактика NGC 205 — спутник туманности Андромеды

до сих пор принятая классификация галактик на морфологические типы: эллиптические E, спиральные S и неправильные Ir (рис. 1—3). Эта классификация играет такую же важную роль для метagalктической астрономии, как знаменитая диаграмма Рассела — Герцшпрунга для звездной.

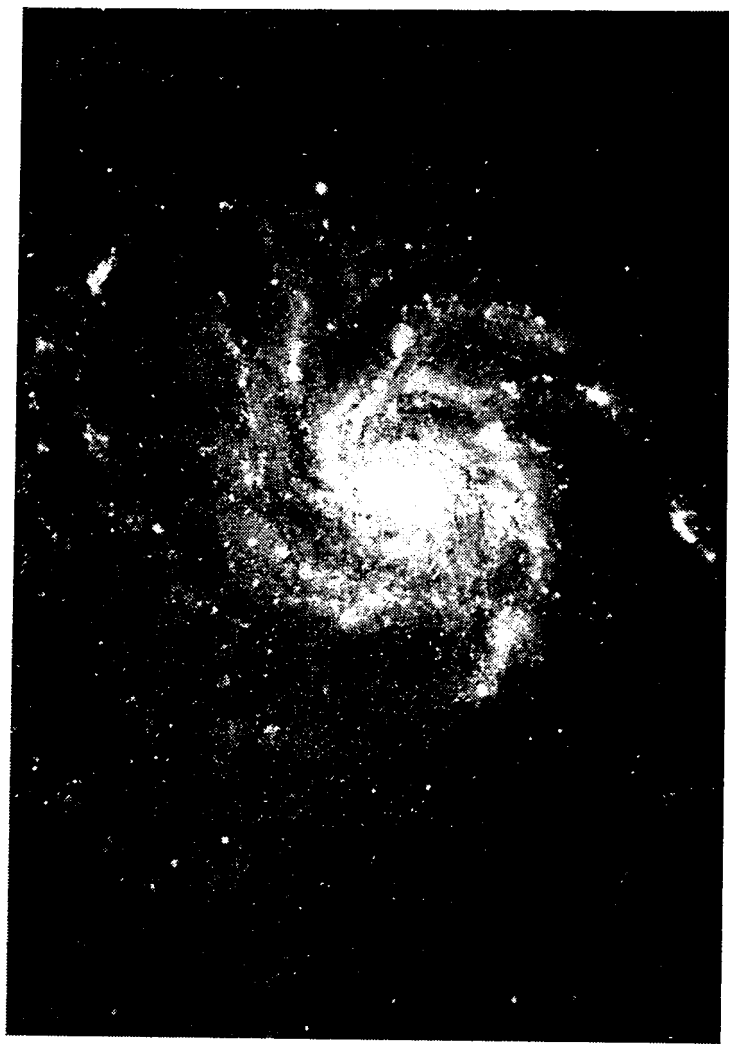


Рис. 2. Спиральная галактика М 101

Еще Слайфер до открытия Метагалактики обнаружил, что линии поглощения в спектрах спиральных туманностей систематически смещены в красную сторону по сравнению с лабораторными стандартами. Это удивительное явление со всей тщательностью на большом материале исследовал Хаббл, который обнаружил в этом смещении замечательную закономерность: оно тем больше, чем больше удалена от нас соответствующая туманность, а точнее

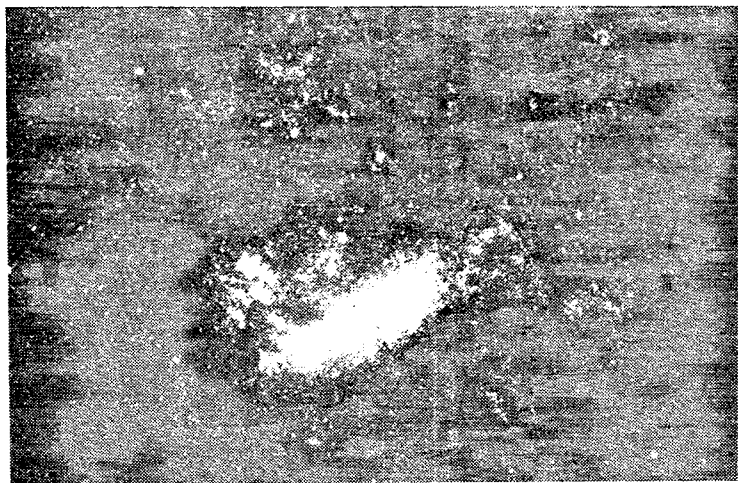


Рис. 3. Неправильная галактика Большое Магелланово Облако

говоря — галактика. Так впервые было обнаружено расширение Вселенной, выведенное теоретически советским математиком А. А. Фридманом за несколько лет до этого из анализа уравнений релятивистской космологии Эйнштейна. Открытие расширения Вселенной следует отнести к числу величайших открытий науки за все века ее существования.

Что означает такое расширение? Как его следует представлять? Проще всего расширение Вселенной надо понимать как разлет галактик (точнее, скоплений галактик), приводящий к непрерывному увеличению расстояния между ними. При этом размеры самих галактик практически не меняются, так как они представляют собой систему объектов (звезд, туманностей), гравитационно связанных. Таким образом, масштабы Вселенной непрерывно меняются. Важнейший смысл закона расширения Вселенной

Хаббла состоит в том, что он утверждает конечность времени существования Вселенной. Скорость расширения Вселенной определяется из астрономических наблюдений. Однако для ее определения нужно знать по возможности точное расстояние до галактик с измеренным красным смещением спектральных линий, а это далеко не простая задача. Поэтому величина этого расширения, определяемого так называемой «постоянной Хаббла» (измеряемой в единицах $\frac{\text{км/с}}{\text{мегапарсек}}$) известна с точностью в несколько десятков процентов. Ее значение близко к $\sim 70 \frac{\text{км/с}}{\text{мегапарсек}}$.

Это означает, что две галактики, удаленные одна от другой на расстояние в 1 миллион парсек (т. е. 3,2 миллиона световых лет — «чуть» подальше, чем близкая к нам М 31, до которой расстояние $\sim 0,7$ мегапарсека), только из-за красного смещения удаляются друг от друга со скоростью 70 км/с. Заметим, что на общее расширение Вселенной накладываются беспорядочные скорости отдельных галактик, достигающие сотен километров в секунду и даже больше. Поэтому близкие галактики, у которых относительная скорость удаления, обусловленная красным смещением, сравнительно мала, могут даже сближаться. Именно такой случай наблюдается у нашей «ближайшей соседки» М 31. Однако для галактик, удаленных на расстояние, превышающее ~ 10 мегапарсек, скорость разлета, обусловленная расширением Вселенной, всегда превышает беспорядочную (или, как говорят, «пекулярную») скорость их «случайных» движений. Из наблюдаемого красного смещения галактик было бы неверно делать вывод о каком-то «выделенном» центральном положении нашей Галактики, по отношению к которой все галактики удаляются. Легко понять, что такую же картину однородного расширения можно наблюдать из любой точки Вселенной (аналогия: расстояние между двумя любыми точками на раздувающейся резиновой камере всегда растет).

Зная постоянную Хаббла, определяющую скорость расширения Вселенной, можно при разных предположениях о средней плотности Вселенной, определить ее возраст. Этот возраст оказывается близким к 15—20 миллиардам лет. Много ли это или мало? Смотря, с чем сравнивать. Обычные, «человеческие сроки», конечно, на много порядков меньше возраста Вселенной. Но, с другой стороны,

возраст Солнца и Солнечной системы, который сейчас определяется довольно уверенно, близок к 5 миллиардам лет, что уже сравнимо с возрастом Вселенной.

Наконец, возраст Галактики заведомо превышает 10 миллиардов лет, а скорее всего отличается не больше, чем на 10% от возраста Вселенной. Поэтому мы с полным основанием можем сказать, что в астрономическом смысле Вселенная — молодой объект!

Совершенно очевидно, что если Вселенная 15—20 миллиардов лет тому назад занимала весьма малый объем, то ее физические свойства должны были резко отличаться от современных. Прежде всего, средняя плотность Вселенной должна была быть на много порядков больше, чем в современную эпоху. Если, например, сейчас «размазанная» по большому объему (например, внутри сферы радиусом в несколько сот мегапарсек) плотность близка к 10^{-31} г/см³ (что соответствует одному атому водорода на несколько кубометров объема), то при возрасте в десятки тысяч лет, когда размеры Вселенной были в ~ 1000 раз меньше современных, ее средняя плотность была в миллиард раз больше и соответствовала нескольким сотням атомов на кубический сантиметр. Если по меньшей мере 90% вещества в современной Вселенной находится в недрах звезд, из которых, в основном, состоит сотня миллиардов образующих ее галактик, то в ту отдаленную эпоху, как оказывается, никаких звезд и галактик, равно как и химических элементов более тяжелых, чем водород и гелий, не было. Была только простейшая водородно-гелиевая плазма, нагретая до температуры ~ 5000 К. Ее тепловое излучение, сильнейшим образом «деформированное» красным смещением, наблюдается сейчас как «реликтовое» излучение в радиочастотном диапазоне. Открытие этого излучения в 1965 г. было принципиально важным этапом в космологии, так как этим, в частности, была доказана эволюция вещества во Вселенной от простого к сложному. После этого уже никак нельзя было рассматривать Вселенную как нечто вечно неизменное.

Современная космология имеет возможность путем анализа наблюдательных данных изучать и более ранние стадии эволюции Вселенной, когда ее возраст исчислялся минутами и даже секундами. Что касается теоретической космологии, то ее «не пугают» возрасты Вселенной порядка микросекунд и даже 10^{-43} с. Пока, однако, для ее зачатую весьма смелых построений наблюдательных данных еще нет.

В этой статье мы будем преимущественно говорить об эпохах развития Вселенной, хотя и весьма удаленных от нашей, по качественно от нее не отличающихся. Это означает, что, как и сейчас, тогда основная часть вещества Вселенной была сосредоточена в звездах, образующих разного типа галактики. Метагалактическая астрономия накопила огромный наблюдательный материал, позволяющий сделать вывод, что большая часть галактик входит в состав структурных единиц более высокого порядка — скоплений галактик. Другими словами, галактики во Вселенной распределены не равномерно, а в виде более или менее значительных групп, скорее всего связанных силой всемирного тяготения. Именно поэтому характерный объем, в пределах которого можно говорить о средней («размазанной») плотности, должен включать достаточное количество скоплений галактик, средние размеры которых исчисляются мегапарсеками.

В каждом скоплении галактик насчитывается несколько сот (реже — несколько тысяч) членов. В этом отношении скопления галактик резко отличаются от более «низких» структурных единиц Вселенной — галактик, в каждой из которых насчитывается 10^9 — 10^{14} звезд. Изучению скоплений галактик метагалактическая астрономия в последние годы уделяет особое внимание. Об этом речь будет идти ниже.

2. Радиогалактики

Послевоенные годы ознаменовались стремительным развитием новой ветви астрономии — радиоастрономии. Это развитие носило поистине взрывной характер. В течение каких-нибудь 7—8 лет (1946—1954), по существу, была открыта новая Вселенная. Во многом этот бурный период развития астрономии напоминал эпоху великих географических открытий. Более близкой аналогией будет сравнение с возникновением и бурным развитием квантовой механики во второй половине двадцатых годов нашего столетия. Вчера еще никому не известные отставные офицеры радиолокационной службы королевских военно-воздушных сил Англии делали с помощью весьма несовершенных экспериментальных средств удивительные открытия, значение которых становилось ясным далеко не сразу.

Тот факт, что некоторые космические объекты могут быть источниками мощного радиоизлучения, совершенно

не следовал из всей системы довоенной астрофизики, базирующейся исключительно на оптических методах исследования. Можно было, конечно, ожидать теплового излучения от звезд и туманностей в радиодиапазоне. И действительно, спустя несколько лет после начала развития радиоастрономии, тепловое излучение от ионизованных газовых туманностей было обнаружено. Что касается теплового излучения от ближайших звезд, то даже в наши дни, несмотря на огромное повышение чувствительности современной радиоастрономической аппаратуры, его обнаружение находится на пределе возможностей. Тот факт, что радиоизлучение от ряда космических объектов было обнаружено на самой заре развития радиоастрономии, означает, что механизм радиоизлучения никоим образом не является тепловым. На этих удаленных объектах с огромной эффективностью должны работать природные, естественные «антенны». Выяснение природы этих «антенн» было одним из крупнейших достижений послевоенной теоретической астрофизики. Здесь особенно велики заслуги советских физиков и астрономов (см. ниже).

Датой открытия космических радиоисточников следует считать 1946 г., когда английские исследователи Хей, Филиппс и Парсон совершенно неожиданно на метровых волнах обнаружили в созвездии Лебедя ярчайший источник, получивший название «Лебедь-А». Поток радиоизлучения от него на метровом диапазоне всего лишь в два раза меньше, чем от «спокойного» Солнца, радиоизлучение которого в то время было предметом интенсивных исследований. Через два года после этого никому тогда неизвестные австралийские астрономы Болтон и его коллеги открыли при помощи новой интерференционной техники несколько радиоисточников, из которых три сразу же удалось отождествить с оптическими объектами. Среди них — знаменитая Крабовидная туманность и две яркие, сравнительно близкие к ним галактики NGC 4486 и NGC 5128. Уже эти первые отождествления выявили два класса космических объектов, являющихся мощными источниками радиоизлучения. Во-первых, это галактические (т. е. сравнительно близкие к нам) объекты, аналогичные Крабовидной туманности, являющиеся остатками вспышек сверхновых (т. е. взрывающихся) звезд. Во-вторых, — это отдельные галактики, причем далеко не все. Например, поток радиоизлучения от близкой к нам туманности Андромеды, как показали наблюдения, выпол-

ненные через несколько лет в Англии, приблизительно в десять раз меньше, чем от NGC 4486 (иначе обозначаемой как M 87), в то время как поток оптического излучения от последней почти в сто раз меньше, чем от туманности Андромеды. Тем самым, сразу же стало ясно, что отношение мощностей радио и оптического излучений меняется для разных галактик в огромных пределах. Галактики с аномально мощным радиоизлучением сразу же «стихийно» стали называться «радиогалактиками». Это название удержалось и в наши дни.

Возросшая точность радиоастрономических наблюдений, повышавшаяся благодаря широкому применению интерференционной методики, позволила определить координаты упомянутого выше ярчайшего радионисточника Лебедь-А. Это дало возможность выдающимся американским астрономам (выходцам из Германии) Бааде и Минковскому отождествить указанный источник с очень слабым оптическим объектом 17-й величины. Длины волн спектральных линий этого источника оказались значительно смещенными. Соответствующая (согласно эффекту Доплера) скорость по лучу зрения составляла 16 000 км/с, что явно указывало на внегалактическую его природу. Но тогда из закона Хаббла следует, что этот внегалактический источник удален от нас на неподдающееся воображению расстояние около 250 мегапарсек или примерно в 300 раз дальше, чем туманность Андромеды (M 31)! Между тем, поток радиоизлучения от Лебедя-А в сотню раз больше, чем от M 31! Это означает, что мощность радиоизлучения Лебедя-А приблизительно в 10 миллионов раз больше, чем мощность радиоизлучения M 31 и раза в 4 превосходит мощность его собственного оптического излучения, которое, в свою очередь, превосходит мощность оптического излучения нашей Галактики, принадлежащей к числу галактик-гигантов. С таким грандиозным явлением во Вселенной астрономы до этого времени еще не сталкивались.

Еще более наглядно мощность радиоизлучения галактики Лебедь-А можно проиллюстрировать следующим образом. Расстояние до этой галактики около 750 миллионов световых лет, а до Солнца — около 8 световых минут. Между тем, как уже упоминалось выше, наблюдаемые на Земле потоки радиоизлучения от обоих этих объектов на метровых волнах почти одинаковы, а ведь поток излучения пропорционален его мощности и обратно пропорционален квадрату расстояния! Простой расчет

показывает, что мощность радиоизлучения источника Лебедь-А в 10^{28} раз превосходит мощность солнечного радиоизлучения!

После открытия первых радиогалактик прошло уже свыше 35 лет. За это время чувствительность радиотелескопов (среди которых имеются гиганты с диаметром зеркала 100 м и больше — см. рис. 4 и 5) возросла в огромной степени. На пределе возможностей на сантиметровых волнах эти телескопы могут обнаружить радиогалактики, поток от которых в миллион раз меньше, чем от Лебедя-А. Соответственно, число известных радиогалактик возросло в огромной степени, достигая многих миллионов. Это, конечно, не означает, что все они исследованы — их слишком много.

Развитие радиоинтерференционной техники в огромной степени повысило разрешающую способность радиотелескопов. Первое время низкая разрешающая способность была основным их недостатком. Это обстоятельство, казалось бы, являлось неизбежным следствием больших длин волн и невозможности строить приемные антенны сколь угодно большого размера. Следствием этого недостатка была невозможность изучения структуры даже очень протяженных (например, с угловыми размерами в несколько градусов) космических радиоисточников. Но уже в 1953 г. разрешающая способность радиоинтерферометров достигла нескольких секунд дуги! Это открыло возможность изучения структуры самых ярких источников. Результаты были совершенно неожиданными: Лебедь-А оказался состоящим из двух компонент, симметрично расположенных по обе стороны от оптической галактики, с которой он был отождествлен (см. рис. 6). Угловое расстояние между центрами компонент радиоисточника около 90 секунд, что при расстоянии 750 миллионов световых лет соответствует линейному расстоянию между ними 300 000 световых лет. Линейные размеры каждого из компонент Лебедя-А $\sim 100\,000$ световых лет.

В последующие годы с помощью более совершенных радиотелескопов и интерферометров были выполнены многочисленные исследования структуры других радиоисточников, в частности, радиогалактик. Оказалось, что двойная структура для последних является типичной. Так, например, из 500 исследованных в 1969 г. с достаточно высоким угловым разрешением радиогалактик 75% дают четкие указания на наличие двойной структуры,

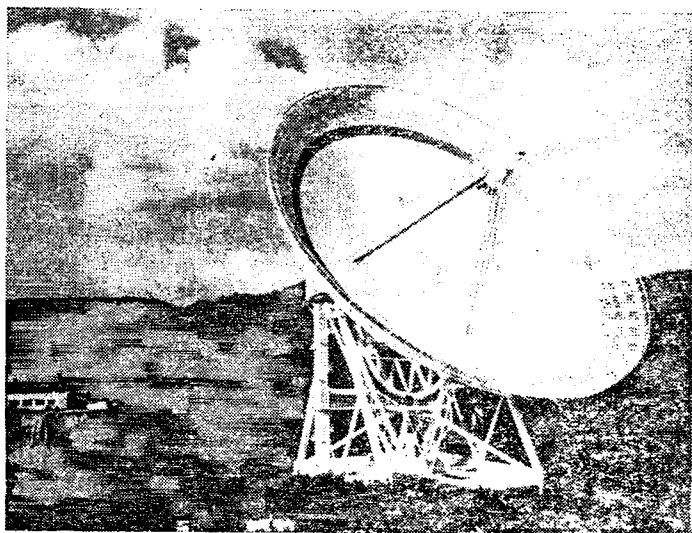


Рис. 4. 100-метровый радиотелескоп в Эффельсберге (ФРГ)

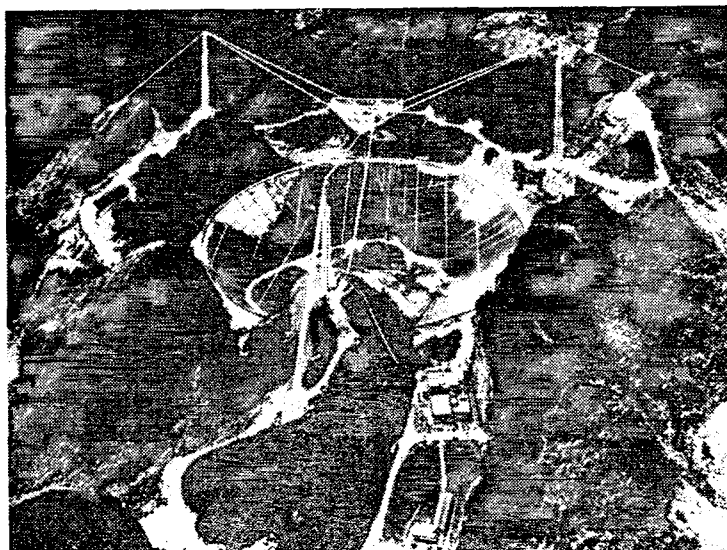


Рис. 5. Радиотелескоп в Аресибо (Пуэрто-Рико)

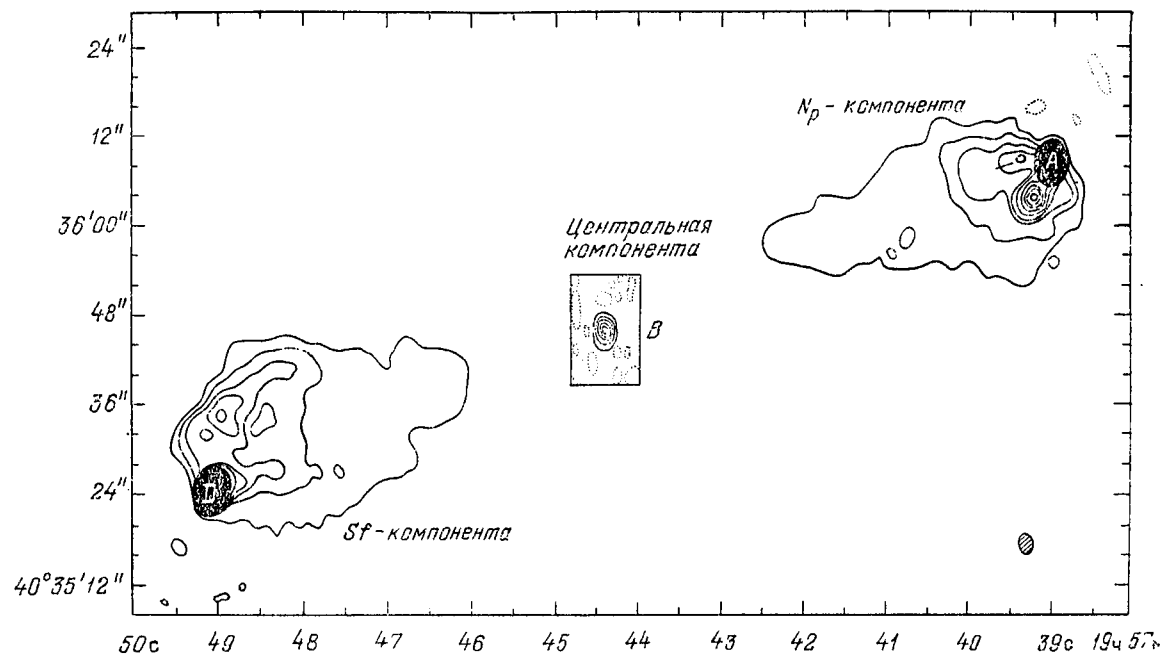


Рис. 6. Радиопозфоты галактики Лебедь А

между тем как оставшиеся 25% показывают малую яркую конденсацию (ядро), окруженную довольно протяженной «короной» или «гало». Заметим, однако, что значительная часть источников, наблюдаемых как одиночные, могут быть двойными, но только ориентированными по отношению к наблюдателю своими «торцами». Итак,

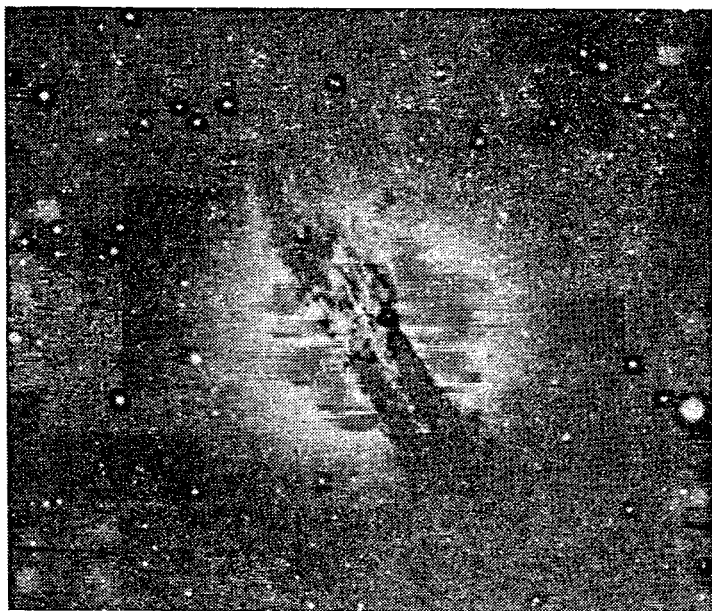


Рис. 7. Радиогалактика NGC 5128

двойственность метagalактических источников, сочетающаяся с более или менее симметричным положением компонент по отношению к оптической галактике, с которой они отождествляются, является характерной особенностью радиогалактик.

Ближайшая к нам радиогалактика NGC 5128, находящаяся в южном созвездии Центавра, удалена от нас на расстояние около 5 мегапарсек (т. е. 15 миллионов световых лет). Она изображена на рис. 7. У этой сферической галактики обращает на себя внимание широкая экваториальная полоса поглощающей свет темной пылевой материи, что у сферических галактик наблюдается довольно редко. На рис. 8 приведены «радионизотопы» источника, связанного с NGC 5128, дающие представление

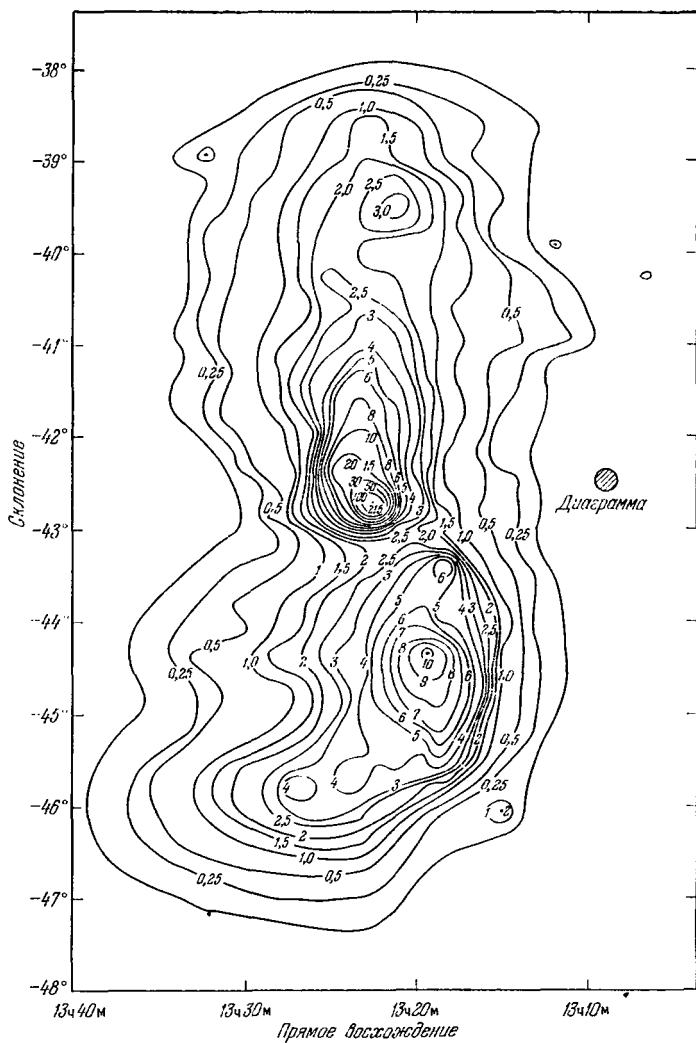


Рис. 8. Радионизотопы источника, связанного с NGC 5128

о его структуре. Сразу видно, что этот источник состоит подобно Лебедю-А из двух компонент, центры которых находятся далеко за пределами оптической галактики. Этот источник имеет огромную протяженность — около $10''$, следовательно, его линейные размеры близки к одному мегапарсеку (~ 3 миллиона световых лет). В пределах оптической галактики NGC 5128 находится более компактный и значительно более яркий радионисточник, который также является двойным. Расстояние между компонентами этого источника $\sim 5''$, а угловые размеры каждого компонента $\sim 3''$. Весьма характерно, что линия, соединяющая центры компонент компактного источника, приблизительно совпадает с осью вытянутости протяженного источника. Наконец, в самом центре NGC 5128 находится «точечный» источник радионизлучения, о котором речь будет идти в конце этой статьи.

Следующие по близости к нам радиогалактики NGC 4486 и NGC 1316 также являются двойными. Особый интерес представляет гигантская эллиптическая галактика NGC 4486, которая в истории исследования метagalактических объектов сыграла, примерно, такую же важную роль, как Крабовидная туманность — для исследования галактических объектов. Дальше мы о ней будем говорить более подробно, а пока обратим внимание на следующее важное обстоятельство. Как показали исследования, выполненные в течение последних примерно 10 лет, в самом центре оптически наблюдаемых галактик (обычно — гигантских сферических звездных систем), одновременно являющихся радиогалактиками, как правило, наблюдается весьма компактный («точечный») радионисточник, иногда обнаруживающий переменность. Особенно хорошо этот эффект переменности наблюдается у ближайшей радиогалактики NGC 5128. Часто «точечный» источник связан «мостом» с удаленными от центра галактики радиокомпонентами. Такая картина отчетливо видна у Лебедя-А (см. рис. 6). Наличие «активных» сверхкомпактных источников в области ядер радиогалактик и упомянутых выше «мостов» эмпирически указывает на то, что протяженные облака двойного радионисточника либо каким-то образом «выброшены» из ядра, либо «питаются» его активностью. Ниже, на примере NGC 4486, мы рассмотрим этот вывод более подробно.

Никакого прогресса в радиоастрономии (в частности, метagalактической) не было бы, если бы не был понят механизм радионизлучения космических источников. Тру-

дами ряда теоретиков, прежде всего — советских, было доказано, что причиной «петеппового» радиоизлучения этих источников являются космические лучи (точнее — электроны сверхвысоких энергий, входящие в состав космических лучей). Такие электроны («релятивистские»), двигаясь в слабых магнитных полях, генерируют радиоволны различных частот. Как следует из теории, это излучение (называемое «синхротронным») сильно поляризовано. Были получены формулы, позволяющие по измеренной интенсивности радиоизлучения найти плотность энергии релятивистских частиц и напряженность магнитного поля в источниках. Таким образом, стало постепенно выясняться, что протяженные компоненты радиоизлучения источников, связанных с радиогалактиками, суть намагниченные облака чрезвычайно разреженного газа, «набитые» космическими лучами. Обычное значение напряженности магнитных полей в таких источниках находится в пределах $10^{-4} — 10^{-6}$ эрстед. При расчетах, как правило, принимается, что в источниках плотность магнитной энергии равна плотности энергии релятивистских частиц (т. е. космических лучей). Это естественное условие, конечно, не является обязательным, но оно дает минимальную полную энергию частиц и полей, заключенных в источнике. Тем более интересно, что эта минимальная энергия зачастую исключительно велика. Например, в таких источниках, как Лебедь-А, полная энергия $E \sim 10^{60}$ эрг — величина исключительно большая. Она может в несколько раз превышать гравитационную энергию связи всех звезд в гигантской радиогалактике! Перед астрономией вот уже свыше 20 лет стоит основной вопрос: откуда эта энергия берется? Все говорит о том, что энергия генерируется в ничтожной по своим размерам (в десятки раз меньше светового года!) области ядер радиогалактики, о чем разговор будет ниже.

В большей или меньшей степени радиоизлучательной способностью обладают все галактики. Например, при взрывах звезд, наблюдаемых как вспышки сверхновых, образуется довольно много релятивистских частиц. В «нормальных» спиральных и неправильных галактиках основной причиной радиоизлучения являются релятивистские электроны, образующиеся при таких вспышках. Между тем, причиной радиоизлучения радиогалактик является мощная генерация релятивистских частиц в области ядер этих галактик. Это — весьма специфический механизм, который никак нельзя свести к большому коли-

честву вспышек сверхновых (хотя такие попытки в прошлом предпринимались отдельными теоретиками).

Среди спиральных галактик вот уже почти сорок лет выделяется довольно многочисленная ($\sim 1\%$ от общего количества) группа так называемых «сейфертовских» галактик. Эти галактики характеризуются очень сильно развитыми ядрами, в которых наблюдаются яркие эмиссионные линии водорода, гелия и распространенных тяжелых элементов, а также яркий непрерывный спектр. Мощность излучения ядер сейфертовских галактик меняется со временем, что указывает на происходящие там какие-то грандиозные процессы. Другими словами, ядра сейфертовских галактик показывают, в отличие от ядер обычных спиралей, высокую активность. Эти ядра являются источниками довольно мощного радиоизлучения. Однако протяженных двойных радионисточников, связанных с сейфертовскими галактиками, никогда не наблюдается. Эмпирически можно сделать вывод, что такие радионисточники, симметрично расположенные по обе стороны от галактики, образуются в эллиптических галактиках, в то время как у спиральных (к которым принадлежат сейфертовские) вокруг активных ядер образуется источник типа «ядрогало». Это обстоятельство, вероятно, имеет глубокий смысл.

3. Квазары

В 1963 г. американский астроном голландского происхождения М. Шмидт сделал одно из величайших открытий в астрономии XX в. Это открытие, однако имеет свою предысторию. Около 1960 г. небольшое количество радионисточников было очень надежно отождествлено со звездами, что было полной неожиданностью. Ведь до этих пор космические радионисточники отождествлялись либо с галактиками, либо с туманностями (например, образовавшимися при вспышках сверхновых звезд). Ожидаемые потоки радиоизлучения даже от самых близких звезд должны быть крайне незначительны (см. выше). А между тем отождествленные со звездами радионисточники были довольно интенсивны. Вполне естественно, что астрономы-оптики сразу же заинтересовались этими звездами. М. Шмидт получил и исследовал спектр такой довольно яркой звезды 13-й величины, отождествленной с интенсивным радионисточником 3C 273. Этот спектр содержал линии излучения, которые поначалу ни с каки-

ми лабораторными линиями отождествить не удавалось. Велико же было изумление астрономов, когда Шмидт с полной достоверностью отождествил эти линии с основными линиями водорода серии Бальмера, длины волн которых смещены в красную сторону на неслыханную в те времена величину, соответствующую скорости удаления источника 42 000 км/с! Такая скорость удаления с большой вероятностью означает, что объект ЗС 273 находится в Метагалактике, а наблюдаемое красное смещение спектральных линий обусловлено расширением Вселенной. Применяя закон Хаббла (см. выше), получим расстояние до этого источника около 600 мегапарсек или около двух миллиардов световых лет. С такими расстояниями астрономы еще тогда не встречались. Тем более удивительно, что несмотря на громадность расстояния, объект ЗС 273 довольно ярок. Отсюда следует, что светимость ЗС 273 приблизительно в сто раз превышает светимость нашей Галактики, считающейся гигаптической звездной системой. С объектами такой высокой светимости астрономы тогда еще не встречались. Следует заметить, что удивительные свойства объекта ЗС 273 были открыты только благодаря тому, что он оказался радиоисточником. На небе имеется много тысяч звездочек 13-й величины, и среди них объект ЗС 273, многократно попадавший в поле зрения оптических телескопов и долгие годы решительно ничем не привлекавший к себе внимания. Это был далеко не последний случай, когда радиоастрономия играла роль «гида», обращающего внимание на необычность того или иного оптического космического объекта.

Сразу же после выяснения метагалактической природы ЗС 273 автор этой статьи пришел к парадоксальному выводу, что блеск ЗС 273 может меняться со временем. Советские астрономы А. С. Шаров и Ю. Н. Ефремов по нашему предложению тщательно исследовали старые фотографии неба, на которые случайно попадал этот объект. Эти фотографии хранились в «стеклянной библиотеке» Государственного Астрономического института им. Штернберга. Результаты превзошли самые смелые ожидания: ЗС 273 менял свой блеск за несколько лет почти на целую звездную величину, т. е. примерно в $2\frac{1}{2}$ раза! Вскоре это открытие советских ученых было подтверждено на более богатом наблюдательном материале в США.

Открытие переменности ЗС 273 действительно было парадоксальным. До этого времени переменность астроно-

мы обнаруживали и изучали у звезд разных типов. Но ведь, казалось, ЗС 273 — это *галактика*, состоящая из триллионов звезд, каждая из которых, конечно, должна излучать независимо. Так что о переменности «сглаженного» и усредненного по времени излучения такого огромного количества звезд не могло быть и речи! И все же переменность, и притом значительная, была налицо! Из того простого факта, что характерное время изменения потока (а, следовательно, светимости) было около 1 года, с очевидностью следовало, что линейные размеры излучающей области не превышают 1 световой год — величина, ничтожно малая для галактик. Отсюда следовал вывод, что излучают не звезды, а что-то другое. В отношении этого «другого» можно было только сказать, что это объект, в известной степени близкий по своей природе ядрам сейфертовских галактик, но только в тысячи раз мощнее и активнее. Кстати, заметим, что исторически переменность блеска ядер сейфертовских галактик была открыта позднее, а само исследование этих галактик в значительной степени стимулировалось исследованием объектов, родственных по своей природе ЗС 273 и получивших название «квазаров» («квази-звездные» объекты).

Квазары представляют собой совершенно новый тип космических объектов наряду со звездами, галактиками и туманностями. Поэтому открытие квазаров в астрономии было вполне аналогично открытию нового типа животных в зоологии. Сразу же после выяснения «квазарной» природы ЗС 273 в астрономии начался «квазарный бум». За несколько лет границы наблюдаемой Вселенной раздвинулись в огромной степени. Оказалось, что ЗС 273 — один из самых близких к нам квазаров. Очень скоро были обнаружены такие объекты, у которых из-за красного смещения линии в довольно далекой ультрафиолетовой части спектра «съехали» в видимую область. Следует заметить, что и в спектре ЗС 273 наблюдались ультрафиолетовые линии ионизованного магния с «лабораторной» длиной волны 0,28 микрона, которые при отсутствии красного смещения поглощались бы слоем озона в земной атмосфере. Но это — «почти видимые» линии. А вот когда астрономы сперва в синей, а потом и в желтой части наблюдаемого спектра нашли «королеву астрофизики» — резонансную линию водорода «лайман альфа», лабораторная длина волны которой 0,12 микрон, — можно было только глубоко вздохнуть! Ведь это

означало, что в результате красного смещения длина волны излучения увеличилась... больше, чем в четыре раза! В ту эпоху, когда квазаром были излучены кванты, которые сейчас улавливаются земными телескопами, размеры Вселенной были в 4—4,5 раза меньше, чем сейчас, а ее возраст, приблизительно, в 10 раз меньше нынешних 15—20 миллиардов лет. Тогда заведомо не было еще Солнца и Солнечной системы. Вполне возможно, что не было даже нашей Галактики, а если она и была, то она сильнее всего отличалась от той, которую астрономы наблюдают сейчас. Когда представишь себе, что слабое пятнышко образовано на фотографической пластинке квантами, до этого путешествовавшими по Вселенной 10—15 миллиардов лет, пропадает желание заниматься астрономией, так что лучше об этом не думать.

Нужно заметить, что вскоре после открытия квазаров были обнаружены такой же природы оптические объекты без признаков радиоизлучения. Они получили название «радиоспокойные» квазары. Оказалось, что таких квазаров во много десятков раз больше, чем радиоизлучающих. О возможной причине «радиомолчания» квазаров речь будет идти в следующем параграфе.

Особый интерес представляют линии поглощения, обнаруженные в спектрах самых удаленных квазаров, обычно таких, у которых линия «лайман-альфа» из-за красного смещения «переползает» в видимую область. Очень часто величина красного смещения, определяемая по линиям поглощения, значительно меньше, чем по линиям излучения. Кроме того, в ряде случаев наблюдается в спектре одного квазара несколько систем линий поглощения, отличающихся красным смещением. Скорее всего эти линии образуются «по пути», при прохождении света через наружные газовые слои более близких к нам галактик. Однако окончательно решенным этот вопрос пока считать нельзя.

Радиоструктура квазаров во многом напоминает радиогалактики, так что обычно по одной лишь этой структуре отличить квазары невозможно. Так же, как и у радиогалактик, очень часто наблюдаются двойные радиисточники, между которыми находится компактный, иногда переменный, радиисточник, совпадающий по своим координатам со звездообразным оптическим объектом — квазаром. В очень редких случаях у самых близких квазаров около звездообразного объекта наблюдаются очень слабые протяженные образования. На рис. 9 приведена фотогра-

фия квазара 3С 273, от которого исходит слабая струя — выброс протяженностью около $20''$. На таком огромном расстоянии этим угловым размерам соответствует линейная протяженность около 100 тысяч световых лет. Эта струя, помимо оптического излучения, излучает также радиоволны, так что квазар 3С 273 можно рассматривать

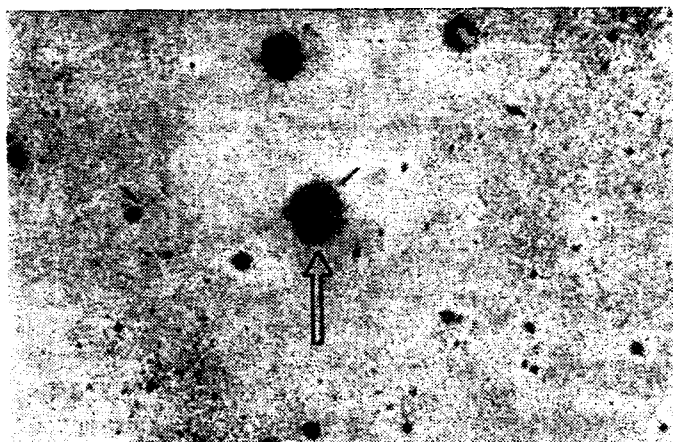


Рис. 9. Квазар 3С 273. Справа вверху — «выброс»

как двойной радиоисточник. Следует заметить, что аналогичные выбросы наблюдаются также и у некоторых радиогалактик. Особенно интересен выброс у одной из ближайших к нам радиогалактик, о котором речь будет идти дальше.

Важным вопросом является принадлежность квазаров к скоплениям галактик. Долгое время нельзя было решить вопрос в положительном смысле. Это и понятно, ведь квазары излучают в сотни раз интенсивнее «нормальных» галактик, поэтому последние, находящиеся в том же скоплении, будут слишком слабы, чтобы изучаться спектроскопически. Ведь критерием принадлежности к одному скоплению является одинаковое красное смещение у галактик и квазаров. Только для немногих, сравнительно близких квазаров, удалось обнаружить скопления галактик, в которых они находятся.

В настоящее время известно и занесено в каталоги свыше тысячи квазаров, что и позволяет выполнить их статистический анализ. Прежде всего, удалось построить

«функцию светимости» квазаров, т. е. их распределение по мощности излучения. Из нее следует, что относительное количество квазаров убывает по мере роста мощности их излучения. Важнейшим результатом таких статистических исследований является вывод о том, что на более ранних этапах эволюции Вселенной, когда ее размеры были в 3—5 раз меньше нынешних, квазаров было гораздо больше, чем сейчас. В ту отдаленную эпоху квазаров было почти столько же, сколько и «нормальных» галактик. Нельзя исключить гипотезу, что тогда все галактики были квазарами! Этот важный вывод, однако, нуждается для своего подтверждения в новых наблюдениях.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что количество квазаров, начиная со значения красного смещения, превосходящего некоторый предел (соответствующий увеличению длины волны в 4,5—5 раз), резко падает. Конечно, нельзя исключить чисто инструментальную причину этого явления, однако вполне возможно, что квазары с большими красными смещениями просто отсутствуют. Такое отсутствие естественнее всего объяснить тем, что как раз в эту эпоху развития Вселенной образовывались путем конденсации газа галактики. До этого (т. е. при большом красном смещении) ни галактик, ни квазаров просто не было. Такой вывод, конечно, имел бы очень большое значение для проблемы эволюции Вселенной, так как позволил бы уточнить эпоху формирования галактик, а следовательно, и звезд. Нужны, однако, еще новые высококачественные наблюдения, чтобы его подтвердить.

Выше мы уже говорили о переменности оптического излучения квазаров. Как крайнее проявление такой переменности следует упомянуть о «вспышке» квазара 3С 279. В настоящее время он наблюдается как слегка переменная слабая звездочка 18-й величины. Однако, на старых астрономических фотографиях довоенного времени (т. е. задолго до открытия квазаров) этот объект оказался существенно более ярким — почти 13 величины! Это означает, что он был ярче чем теперь в сотню раз! Зная по красному смещению расстояние 3С 279, можно найти, что во время «вспышки» его светимость была почти в сотню раз больше, чем у 3С 273 и в десять тысяч раз больше, чем у нашей Галактики! И при этом размеры излучающей области ничтожно малы, меньше светового года. В настоящее время квазар 3С 279 считается самым

мощным «маяком» Вселенной. Мы видим, что разброс значений светимостей метagalактических объектов чрезвычайно велик — почти такой же, как у звезд!

Большое значение для понимания природы квазаров имеют исследования переменности их радиоизлучения, особенно на сантиметровом диапазоне. Сама переменность была представлена автором этой статьи еще в 1965 г., за несколько месяцев до ее открытия. При этом было показано, что моменты максимума потока излучения должны

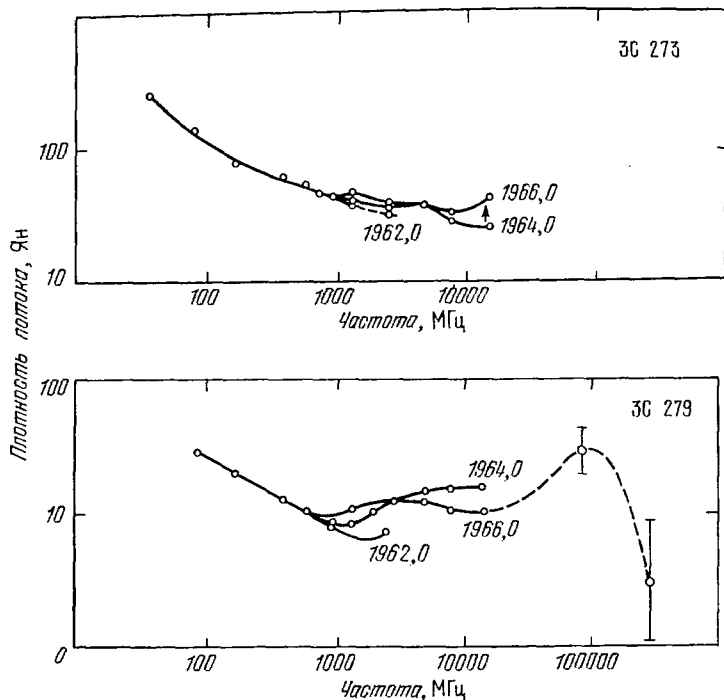


Рис. 10. Радиоспектры квазаров 3C 279 и 3C 273 в разные эпохи наблюдений

меняться закономерным образом с изменением длины волны. Так же должен меняться и сам характер радиоспектра (см. рис. 10, где приведены результаты наблюдений спектров квазаров в разные моменты времени). На основании теории синхротронного излучения можно по известной частоте, соответствующей максимуму радиоизлучения, и величине максимального потока определить

угловые размеры источников радиоизлучения, которые оказываются порядка тысячных долей секунды дуги. Зная (по величине красного смещения) расстояния до квазаров, можно теперь найти линейные размеры связанных с ними компактных радиоисточников. Установлено, что их размеры меньше одного светового года, в согласии с оценками, полученными на основе анализа переменности потока.

До сих пор мы говорили только о радио- и оптическом излучении квазаров и радиогалактик. Между тем, в последнее десятилетие все большее значение приобретает исследование рентгеновского излучения этих метagalактических объектов. Впервые рентгеновское излучение от внегалактического объекта было обнаружено еще в 1971 г. на первом специализированном рентгеновском спутнике «Ухуру», заложившем основы современной рентгеновской астрономии. Этим объектом оказалась одна из ближайших радиогалактик NGC 4486. Другим метagalактическим рентгеновским источником оказалась яркая сейфертовская галактика NGC 4151. Не подлежит сомнению, что излучает активное ядро этой галактики. Вскоре был обнаружен слабый поток рентгеновского излучения и от первого открытого квазара 3C 273, а также от радиогалактики Лебедь-А. Новый этап в изучении внегалактических рентгеновских источников наступил в 1979 г., после запуска космической лаборатории имени Эйнштейна. На этой обсерватории чувствительность приемной рентгеновской аппаратуры была в 1000 раз выше, чем на «Ухуру» при очень хорошей угловой разрешающей способности. В результате оказалось возможным осуществить массовое определение рентгеновского излучения большого количества квазаров, а также сейфертовских галактик. Кроме того, был получен большой наблюдательный материал по рентгеновскому излучению скоплений галактик, представляющий особый интерес (см. дальше).

Всего было исследовано рентгеновское излучение более чем 100 квазаров и большого количества сейфертовских галактик и скоплений. Практически все квазары являются источниками рентгеновского излучения, мощность которого меняется в широких пределах, от сотых долей полного излучения нашей Галактики ($\sim 10^{44}$ эрг/с) до значений, в тысячу раз превосходящих полную мощность Галактики. Как правило, рентгеновское излучение квазаров переменное; это указывает (как в случае радиоизлучения), что оно возникает в малой области. Наличие

мощного рентгеновского излучения квазаров и активных ядер галактик свидетельствует о происходящих там грандиозных процессах, связанных с нагревом газа до температуры порядка сотни миллионов градусов. По-видимому, часть рентгеновского излучения не связана с горячей плазмой, а создается релятивистскими электронами, взаимодействующими с полем излучения большой плотности (явление Комптона). В настоящее время, комбинируя только рентгеновские и оптические наблюдения, удалось открыть ряд новых квазаров. Это наглядно демонстрирует, что «проникающая» способность рентгеновской астрономии может быть даже выше, чем у радиоастрономии.

Наконец, в последнее время получены первые данные о гамма-излучении некоторых внегалактических объектов (например, 3C 273, NGC 5128, NGC 4151). Исследования в этой важной области только начинаются (см. стр. 155 этого сборника).

4. Активность галактических ядер и квазаров

Открытие переменности оптического и радиоизлучения квазаров и галактических ядер имело принципиальное значение в развитии наших представлений о Вселенной. Если до этого галактики рассматривались только как коллектив звезд, связанных сплош всемирного тяготения, то теперь стало очевидным, что природа устроена значительно сложнее и богаче. Постепенно астрономы и физики освоились с мыслью, что в центральных областях галактик, точнее в окрестности их ядер, происходят связанные с огромным выделением энергии процессы, о существовании которых раньше и не подозревали. Точнее выражаясь, в ядрах большинства галактик имеются какие-то особенности, «сингулярности». Выяснение этих особенностей является сейчас одной из важнейших, пока еще окончательно не решенных, проблем астрономии. Как же происходило развитие наших представлений о природе этих «сингулярностей»?

В 1955 г. автор этой статьи дал объяснение известному еще с 1918 г. явлению, десятилетия не привлекавшему внимания. В знаменитой эллиптической галактике NGC 4486, о которой неоднократно шла речь выше, наблюдается удивительное образование — яркий «выброс», состоящий из нескольких вытянутых в одну линию конденсаций — «узлов» (см. рис. 11). Протяженность выброса — 20", что соответствует проекции его длины на плос-

кость, перпендикулярную лучу зрения около 5000 световых лет. Мною было высказано предположение, что яркое оптическое излучение «выброса» обусловлено не звездами или туманностями (как молчаливо принималось тогда всеми специалистами), а релятивистскими электронами, движущимися в магнитных полях. Другими словами, «выброс» излучает в оптических лучах синхротронным механизмом. В этом отношении он вполне аналогичен Крабовидной

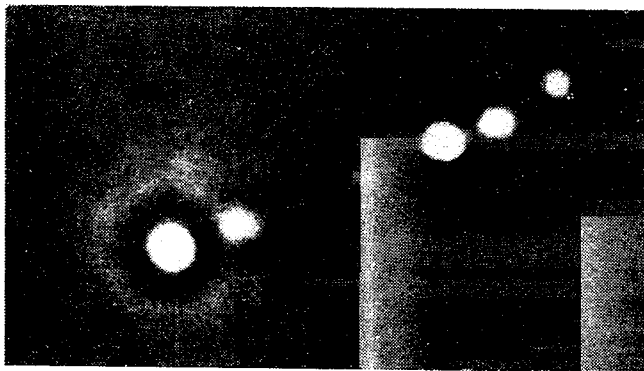


Рис. 11. Выброс из ядра радиогалактики Дева А

туманности, природа излучения которой за два года до этого была объяснена аналогичным образом. Но если предложенный механизм оптического излучения «выброса» справедлив, оно должно быть линейно поляризовано, что и было предсказано нами. Через год это предсказание теории было полностью подтверждено наблюдениями, выполненными в США на самом большом (тогда) 5-метровом рефлекторе Маунт Паломар. Тем самым справедливость предложенной гипотезы была доказана. Но это означает, что из ядра NGC 4486 выбрасывается некоторая субстанция, в конечном итоге являющаяся причиной наблюдаемого синхротронного излучения. Следовательно, там происходят какие-то процессы, сопровождающиеся большим выделением энергии.

Через 3 года В. А. Амбарцумян на очередном Сольвеевском конгрессе сформулировал общее положение об активности галактических ядер, не конкретизируя механизма этой активности. Открытие переменности оптического и радиоизлучения квазаров и ядер галактик (см.

выше) подвело прочную основу под явление их активности.

Квazarы почти наверняка представляют собой «гипертрофированно-активные» ядра массивных эллиптических галактик. Справедливость этого важнейшего для всей проблемы утверждения основывается, прежде всего, на недавнем открытии у нескольких ближайших квазаров звездной компоненты галактик, в которые они «погружены». Для более удаленных квазаров (даже для 3C 273) очень трудно выделить соответствующую галактику, так как свет от квазара (мощность излучения которого в сотню раз превосходит мощность излучения всех звезд галактики) «забивает» излучение звезд. «Ядерно-галактическая» природа квазаров подтверждается также большим сходством крупномасштабной структуры радиогалактик и квазаров (см. выше).

Для исследования тонкой пространственной структуры ядер радиогалактик и квазаров решающее значение имеет метод радиопитерферометрии на несвязанных кабелем антеннах, разнесенных на огромные зачастую межконтинентальные расстояния. Этот метод был предложен еще в 1963 г. советскими радиоастрономами и спустя несколько лет реализован американцами. Разрешающая способность радиопитерферометра определяется в этом случае отношением длины волны принимаемого излучения к расстоянию между антеннами. Она может достигать одной тысячной секунды — в сотни раз превосходя разрешающую способность оптических телескопов. Однако интерпретация данных наблюдений не всегда бывает однозначной.

С помощью этой методики была обнаружена переменность радиоструктуры самых внутренних областей квазаров и радиогалактик. Сама структура, как правило, содержит вытянутые вдоль некоторой линии детали, причем направление вытянутости обычно почти совпадает с осью значительно более крупномасштабных структурных деталей (например, прямой, соединяющей протяженные компоненты двойного источника).

Такое совпадение невольно поражает воображение. На рис. 12 приведена крупномасштабная структура двойного радиоисточника 3C 236. Расстояние между краями протяженных компонент равно почти 1° , что соответствует линейному расстоянию 2,3 мегапарсек. У этого источника наблюдается и мелкомасштабная структура порядка долей парсека с тем же направлением вытянутости.

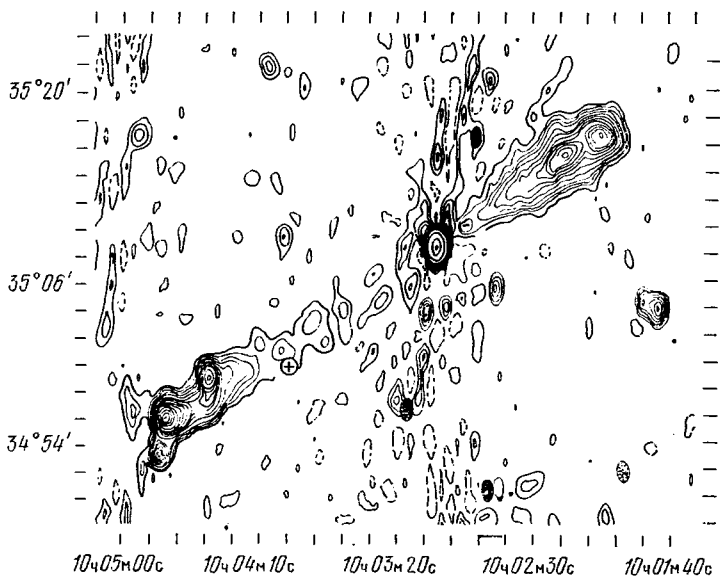


Рис. 12. Двойной радионисточник 3С 236

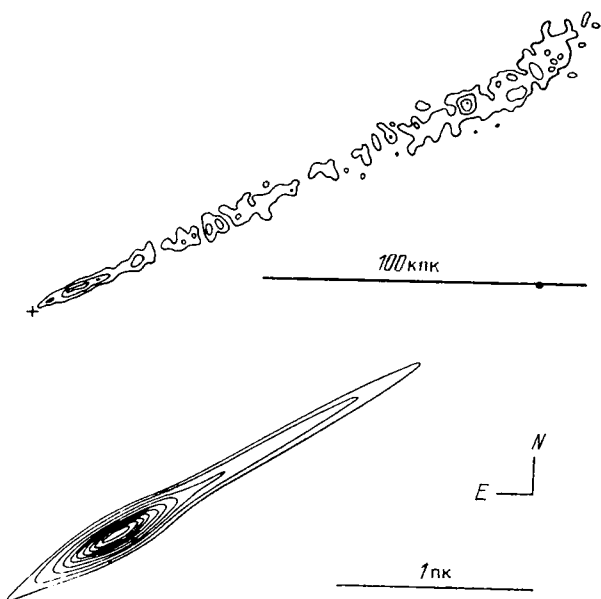


Рис. 13. Радновыброс в галактике NGC 6251. Приведены два масштаба. Крестиком обозначено положение центра оптической галактики

Наглядно это видно на рис. 13, где приведено радиоизображение источника NGC 6251 в двух масштабах. Отношение размеров структур, показывающих практически одинаковую вытянутость, $\sim 10^6:1$! Проще всего это можно понять, полагая, что выброс радиоизлучающей субстанции из малого ядра происходит в двух диаметрально противоположных направлениях вдоль некоторой фиксированной в пространстве оси, которую естественно связать с осью вращения ядра.

Особый интерес представляют узкие очень длинные «выбросы», более или менее аналогичные изображенному на рис. 11. В отдельных случаях эти выбросы обладают гигантской протяженностью, превышающей мегапарсек (см. рис. 13). Как можно представить себе, что вещество в таком образовании в течение многих миллионов лет почти не «расползается»? Что его сдерживает? Для понимания природы «выбросов» нужно обратить внимание на межгалактическую среду, через которую они проходят. Надо представить, что через эту среду движутся со сверхзвуковой скоростью сгустки намагниченной плазмы, выброшенные каким-то образом из области ядра галактики в направлении его оси вращения. Сперва эти сгустки под влиянием внутреннего давления расширяются до тех пор, пока внешнее «динамическое» давление (равное половине произведения плотности окружающей сгусток среды на квадрат его скорости) не уравнивается внутреннее давление, после чего сгусток уже не будет расширяться. Внутреннее давление состоит из трех частей: обыкновенного газового давления, пропорционального температуре и плотности сгустка, давления магнитного поля и космических лучей. Последние две составляющие могут играть основную роль. Когда сгустки затормозятся внешней средой, они начнут расширяться, постепенно растворяясь в этой среде. Набросанная сейчас картина, конечно, очень груба и может служить только «сценарием» сложных физических процессов, связанных с распространением в метагалактической среде радиоизлучающего агента, по каким-то причинам, каким-то образом выбрасываемого из активного ядра.

Что же можно в настоящее время сказать о межгалактической среде? Еще недавно это была «terra incognita». Однако в последние годы положение коренным образом изменилось. Мы уже упоминали выше об открытии рентгеновского излучения от скоплений галактик. Сейчас представляется доказанным, что причиной этого излучения

является межгалактический газ в скоплении, нагретый до температуры 100 миллионов градусов. Об этом убедительно свидетельствует хотя бы обнаружение в рентгеновском спектре скоплений галактик линий двадцатипятикратно пониженного железа — единственного распространенного элемента, который неполностью ионизируется при такой высокой температуре. Анализ интенсивности рентгеновского излучения от скопления галактик приводит к выводу, что концентрация межгалактической плазмы там $\sim 10^{-3}$ — 10^{-4} ионов на кубический сантиметр. Как показывают расчеты, такая концентрация вполне достаточна, чтобы удерживать выброшенные радиогалактиками «сгустки» от полного рапылывания. Следует, однако, заметить, что астрономы только начинают изучение межгалактического газа и предстоит еще очень много сделать в этой области. В частности, желательно было бы иметь большую информацию о межгалактических магнитных полях и о взаимодействии «сгустков» с невозмущенной межгалактической средой.

Обращает на себя внимание следующее обстоятельство. В то время, как протяженные радиооблака у радиогалактик и квазаров наблюдаются по обе стороны от «материнского» оптического объекта, выбросы очень часто наблюдаются с одной стороны от ядра. Классическим примером является знаменитый выброс NGC 4486, о котором речь шла выше (см. рис. 11). В 1974 г. мы предложили гипотезу, объясняющую односторонность этого выброса. Предполагается, что из ядра радиогалактики выбрасываются намагниченные сгустки плазмы со скоростью, довольно близкой к скорости света c . Выбрасывание происходит в двух диаметрально противоположных направлениях под сравнительно небольшим углом к лучу зрения, скажем, 15 — 20° . Тогда, на основании релятивистского эффекта Доплера, поток излучения от сгустка, идущего в направлении на наблюдателя, будет в сотни раз больше потока от удаляющегося сгустка. При такой ситуации удаляющийся сгусток нельзя будет наблюдать. Таким образом, по этой гипотезе, односторонность «сгустков» объясняется очень высокими скоростями их выброса из ядра.

Приложение этой идеи к исследованию вариаций «микроструктуры» квазаров и радиогалактик открыло возможность для объяснения уже довольно давно известного удивительного явления, привлекавшего к себе внимание радиоастрономов. Было замечено, что в ряде случаев (например, у квазаров 3C 345, 3C 279, радиогалактики 3C 120

и некоторых других объектов) расстояние между компонентами увеличивается. Из измеренной на межконтинентальных радиointерферометрах угловой скорости расширения компонент (порядка нескольких миллисекунд дуги в год!) получался неожиданный вывод, что линейная скорость разлета компонент в несколько раз превышает скорость света! Попытка «ревизовать» расстояния до источников в смысле их существенного уменьшения, что пропорционально уменьшило бы линейные скорости разлета, оказались явно несостоятельными. Вместе с тем, нет никаких оснований сомневаться в справедливости специального принципа относительности. Английские радиоастрономы Шойер и Ридхид в 1978 г. применили к этой задаче модель выбрасывания радионизлучающих сгустков под малым углом к наблюдателю и убедительно показали, что последний будет видеть кажущуюся скорость разлета, превышающую с тем больше, чем больше скорость сгустков и меньше угол между вектором их скорости и лучом зрения. Это даже не эффект специальной теории относительности, а только следствие конечности скорости распространения света. Согласно этой картине большинство квазаров не наблюдаются, как источники радионизлучения, потому что они выбрасывают сгустки под довольно значительными углами к наблюдателю. Все же это объяснение требует подтверждения путем новых прецизионных интерференционных наблюдений.

Мы теперь подходим к основному вопросу: какова природа тех мощных машин, которые находятся в ядре галактики и квазаров и являются причиной активности последних? Надо прямо сказать, что эта основная проблема внегалактической астрономии пока еще далека от окончательного решения. Все же пути к такому решению уже намечены.

Первопричиной всех тех удивительных явлений, которые происходят в галактических ядрах и которые сопровождаются грандиозным выделением энергии, должно быть наличие весьма массивного ($\sim 10^8 - 10^{10}$ солнечных масс) компактного тела с размерами, не превышающими 0,1 светового года. Именно такова верхняя граница «точечного» радиоисточника, находящегося в ядре NGC 4486. На это сверхмассивное тело стекает из центральных областей галактики газ, образуя вокруг него сильно уплотненный вращающийся намагниченный массивный диск. Отдельные струи вещества падают на диск, что приводит к выделению огромного количества потенциальной энер-

гии, идущей на нагрев диска до очень высоких температур, выбрасыванию с большой скоростью сгустков плазмы за пределы ядра и генерации огромного количества релятивистских частиц. Таким образом, первичным источником энергии квазаров и активных ядер должна быть энергия гравитационного взаимодействия центрального, компактного тела и падающей на него плазмы. Вполне возможно, что хорошей моделью происходящих при этом явлений может служить недавно открытый галактический объект SS 433, оказавшийся «звездным» остатком вспышки сверхновой. В этом случае спектроскопически наблюдаются выбросы сгустков плазмы, движущихся с огромной скоростью ($0,27 c$) в диаметрально противоположных направлениях по обе стороны от уплотненного газового диска, образующегося вокруг компактного объекта, скорее всего, нейтронной звезды.

Какова же природа компактных объектов, возникающих в ядрах гигантских эллиптических галактик? Большинство исследователей считает, что такими объектами должны быть сверхмассивные черные дыры, образующиеся в центральных областях галактик в процессе эволюции последних. Впервые такую идею высказали еще в 1964 г. Я. Б. Зельдович и И. Д. Новиков. В настоящее время имеется очень большое количество работ, посвященных этой проблеме, к сожалению, как правило, — чисто теоретических. Черные дыры большой массы в ядрах галактик, где звездная плотность может в миллиарды раз превосходить звездную плотность в окрестностях Солнца, могут образовываться разными способами. Например, образующиеся в результате эволюции весьма массивных звезд черные дыры с массой в несколько десятков солнечных масс, могут путем непрерывного «заглатывания» окружающего вещества постепенно увеличивать свою массу до «нужных» значений. Можно также представить столкновения между черными дырами, ведущие к образованию черных дыр большей массы. При огромной звездной плотности такие столкновения должны быть достаточно часты.

Образовавшаяся сверхмассивная черная дыра сама по себе не может быть источником энергии. Для «выработки» энергии ее нужно «питать», а питаться черная дыра может только благодаря падению на нее вещества. Такой процесс в астрофизике называется «аккрецией». Откуда же берется «пища» для «кормления дракона», то-бишь черной дыры? Свыше 10 лет назад автор этой статьи выдвинул идею, что таким источником может быть только газ,

теряемый звездами в процессе их эволюции на стадии красных гигантов, главным образом путем образования планетарных туманностей. Особенно эффективным такой процесс должен быть у гигантских эллиптических галактик, которые обычно очень медленно вращаются вокруг своих осей, что благоприятствует притоку выброшенного из звезд газа в центральные области галактики.

На заре развития радиоастрономии американскими астрономами Бааде и Мипковским была выдвинута гипотеза «сталкивающихся галактик» как причины образования радиогалактик. В том виде, в котором она была предложена, эта гипотеза оказалась не в состоянии объяснить природу радиогалактик. В наши дни, спустя более чем четверть столетия, мы наблюдали своеобразный возврат к этой гипотезе. Оказалось, что феномен «столкновения» весьма распространен среди радиогалактик. Так, например, из трех ближайших к нам радиогалактик две (NGC 5128 и NGC 1316) следует рассматривать как находящиеся в процессе столкновения, вернее «слипания» двух компонент. В литературе сейчас оживленно обсуждается «каннибализм» в мире галактик, когда одна как бы «поглощает» другую. Этот процесс особенно ярко выражен у NGC 5128 (см. рис. 8), где такое слияние привело к «усиленному питанию» находящейся внутри сфероида компонента массивной черной дыры. По-видимому, по этой причине точечный источник внутри NGC 5128 отличается высокой активностью, особенно в диапазоне миллиметровых волн, а также в рентгеновском диапазоне. Третья из ближайших галактик — NGC 4486 — представляет собой исключительно массивный (в 100 раз более массивный, чем наша Галактика) одиночный объект. Но зато у нее недавние исследования обнаружили втекание межзвездного газа в область ядра, что наглядно демонстрирует «спокойное кормление» находящегося там «дракона» газом, выброшенным проэволюционировавшими звездами.

Мы видим, таким образом, что современная астрономия, используя весь диапазон электромагнитных волн — от радио- до гамма- — вплотную подошла к пониманию важнейшей увлекательнейшей проблемы активности галактических ядер. Однако многие детали этой весьма разветвленной области метагалактической астрономии еще долгие годы будут объектом кропотливых и трудоемких исследований.

Земля и Вселенная.— 1982.— № 4.— С. 190—195.

ФИЗИКА ПЛАЗМЫ И АСТРОНОМИЯ

Как известно, молюеровский герой даже не подозревал, что всю жизнь говорил прозой. Совершенно такая же ситуация сложилась и в астрономии. Теперь мы знаем, что приблизительно 99,7 % вещества в нашей Галактике находится в плазменном состоянии (звезды, ионизованные газовые туманности, межзвездный газ). Отличается от плазмы только вещество, из которого состоят нейтронные звезды — пульсары, межзвездная пыль, планеты, ядра комет. Имеются все основания считать, что и во всей Вселенной подавляющая часть вещества находится в форме водородно-гелиевой плазмы с небольшими «загрязнениями» в виде тяжелых элементов (мы имеем в виду прежде всего вещество звездных недр).

Несмотря на это, вплоть до 40-х годов нашего века астрономам было неизвестно понятие «плазма», они прекрасно обходились без специфических представлений плазменной физики. А. Эддингтон, например, развил важнейшую для всей системы астрономии теорию внутреннего строения звезд (т. е. плазменных тел), нигде не пользуясь методами плазменной физики. Как оказалось, вполне достаточно считать звезды газовыми шарами с некоторым средним молекулярным весом μ , находящимися в равновесии под действием сил гравитации и градиента газового давления. Привлекая к решению этой задачи законы термодинамики и теории излучения, Эддингтон построил весьма совершенную теорию, выдержавшую испытание временем. Пожалуй, единственным (и то неявным) элементом плазменной физики в теории внутреннего строения звезд является представление о среднем молекулярном весе μ , близком к 0,5, что означает признание эмпирического факта невозможности в смеси протонов ($\mu_p = 1$) и электронов ($\mu_e = 0$) разделить заряды разных знаков. Но, конечно, формальное введение $\mu \sim 0,5$ еще не означало вторжения плазменной физики в астрономию.

Другая классическая область астрономии, где плазменные тела изучались без методов плазменной физики, — это ионизованные газовые туманности и межзвездная среда. Для того, чтобы в согласии с результатами многочисленных наблюдений качественно и полуколичественно описать эти объекты, было вполне достаточно использовать теорию излучения и знать эффективные се-

чения ионизации, рекомбинации и неупругих столкновений электронов с атомами и понами.

Почему же применение представлений плазменной физики для упомянутых выше важнейших видов космической плазмы оказалось просто ненужным? Я полагаю, что причина заключается в статичности (или квазистатичности) задач, решавшихся довоенной теоретической астрофизикой. Кроме того, не рассматривалось влияние на плазму космических магнитных полей. Если в задаче о строении звезд роль магнитных полей, как правило, пренебрежимо мала, то ситуация для межзвездной среды совершенно другая. Там плотность энергии межзвездного магнитного поля ($H^2/8\pi \sim 10^{-12}$ эрг/см³) того же порядка, что и плотность других видов энергии, например, кинетической энергии ионизованных облаков межзвездного газа. Поэтому движение последних должно контролироваться магнитным полем.

Именно применительно к межзвездной среде впервые возникла концепция «приклеенности» магнитных силовых линий к ионизованному газу (эта концепция была разработана Х. Альвеном в 1940 г.). Она оказалась на редкость плодотворной для астрофизики (в частности, солнечной). Тесно связанная с этим представлением неустойчивость типа Рэлея — Тейлора, по-видимому, является необходимым атрибутом возникновения в межзвездной среде таких важнейших образований, как массивные (до $\sim 10^5$ солнечных масс), плотные ($n \sim 10^5$ см⁻³), холодные ($T \sim 20$ К) молекулярные газово-пылевые комплексы, из которых перманентно образуются звезды. Таким образом, представления плазменной физики оказались весьма плодотворными для звездной (а следовательно, и планетной) космогонии — этой классической проблемы естествознания. Но это стало возможным только тогда, когда в послевоенные десятилетия постепенно изменился взгляд на межзвездную среду. Если раньше астрономы изучали только один аспект этой среды — процессы ионизации, возбуждения, излучения, то в последние десятилетия их внимание все больше концентрировалось на газодинамическом аспекте проблемы. Стало ясно, что межзвездная среда представляет собой сжимаемый, намагнитченный континуум с огромным разнообразием физических свойств. При изучении макроскопического движения такого континуума уже нельзя было пройти мимо его плазменной природы, проявляющейся в таких явлениях, как «приклеенность» магнитных силовых линий к

веществу, разного рода неустойчивости, волны Альвена и пр.

Бурное развитие радиоастрономии в послевоенное время сделало вторжение представлений и методов плазменной физики в астрономию неизбежным. Прежде всего, невозможно было интерпретировать результаты радиоастрономических наблюдений без привлечения хорошо разработанной (применительно к земной ионосфере) теории распространения радиоволн в плазме. В качестве примера приведем важнейший наблюдательный факт, который был установлен сразу же после открытия пульсаров: импульсы радиоизлучения пульсаров на более низких частотах всегда запаздывают по отношению к более высокочастотным импульсам. Это сразу же было объяснено дисперсией радиосигналов при их распространении в плазме межзвездной среды. Так впервые появилась возможность оценить расстояния до пульсаров. С другой стороны, характерное рассеяние радиоволн на плазменных неоднородностях применительно к распространению импульсов радиоизлучения пульсаров через межзвездную среду открывает совершенно неожиданные возможности для изучения самих пульсаров. Укажем, например, что этим методом впервые были определены пространственные скорости пульсаров, оказавшиеся неожиданно большими, порядка сотен километров в секунду. Недавно эти результаты были подтверждены прямыми измерениями собственных движений некоторых наиболее близких к нам пульсаров.

Специфические закономерности распространения радиоволн в намагниченной плазме особенно ярко проявляют себя в случае радиоизлучения Солнца. Из-за сравнительно высоких значений плотности плазмы хромосферы и короны частоты солнечного радиоизлучения бывают довольно близки к критическим плазменным частотам. Как известно, принципиальное различие между обычным газом и плазмой заключается в характере изменения со временем флуктуаций плотности, неизбежно возникающих в достаточно малых объемах. В то время как в нейтральном газе такие флуктуации рассасываются по экспоненциальному закону, в плазме возникают характерные колебания избыточной плотности с частотой, зависящей только от значения плотности:

$$\nu_L = \sqrt{\frac{e^2 n_e}{\pi m}} \approx 10^4 \cdot n_e^{1/2} \text{ Гц.}$$

В этом смысле можно утверждать, что обычный нейтральный газ обладает релаксационными свойствами, в то время как плазма — вибрационными. Причина плазменных колебаний — в коллективном характере взаимодействия заряженных частиц в плазме, который обусловлен медленным убыванием кулоновских сил с расстоянием и невозможностью пространственно разделить заряды обоих знаков. В плазме солнечной короны из-за близости частот метрового диапазона к ν_L , траектории радиолучей сильно искривляются, что существенно отражается на характере распределения радиояркости по диску Солнца (в «спокойных» условиях).

Значительно более важный аспект солнечной радиоастрономии — это определяющее значение вибрационных свойств плазмы для всей проблемы нетеплового (спорадического) радиоизлучения активных областей нашего светила. Известно, что это излучение, особенно на метровых волнах, достигает огромной мощности (иногда в миллионы раз превосходящей мощность радиоизлучения «спокойного» Солнца в том же диапазоне) и всегда связано с тем или иным проявлением солнечной активности. Оказалось, что все типы спорадического радиоизлучения Солнца обусловлены плазменными колебаниями, возбуждаемыми определенными внешними агентами, которые порождаются активными областями. Например, так называемые «всплески третьего типа» с очень быстрым изменением частоты со временем (дрейфом частоты) возбуждаются потоками быстрых (но не релятивистских) электронов, тогда как всплески второго типа с медленным дрейфом частоты (иногда достигающие огромной мощности на метровых волнах) возбуждаются бесстолкновительными ударными волнами, возникающими во время больших солнечных вспышек.

Само образование и развитие активного процесса (например, вспышек) на Солнце есть прежде всего феномен плазменной физики. До сих пор не существует общепризнанной теории солнечных вспышек, и конкурировать между собой могут только гипотезы, основывающиеся на тех или иных аспектах плазменной физики (уничтожение, или аннигиляция, связанных с движущейся плазмой магнитных полей, ударные волны и пр.). Обращает на себя внимание грандиозность явления солнечной вспышки. В область вспышки (на границе короны и хромосферы, где концентрация частиц $\sim 10^{10}$ см $^{-3}$) основная часть плазмы нагревается до 10^8 К, в то вре-

мя как примерно 10^{-3} всех заряженных частиц ускоряется до релятивистских энергий. Последнее обстоятельство, весьма характерное для динамических процессов в плазме, имеет, как мы увидим дальше, фундаментальное значение для всей астрономии.

В послевоенное время, когда астрономия стала всеволновой (что связано с быстрым, даже «взрывным» развитием радио-, рентгеновской и инфракрасной астрономии), во Вселенной обнаружено огромное количество нестационарных процессов, наблюдаемых на разных уровнях (ранние стадии развития Вселенной, квазары, ядра галактик, взрывающиеся и вообще нестационарные звезды, в частности, рентгеновские звезды и пр.). Сама картина Вселенной подверглась качественному изменению. Если раньше астрономы представляли ее статической или квазистатической (что в ряде случаев допустимо), то теперь центр тяжести астрономических исследований сместился в сторону изучения нестационарных процессов. И оказалось, что эти процессы (в отличие от статических) можно понять, только если исходить из представлений плазменной физики. В свою очередь, плазменная физика получила в распоряжение грандиозную природную лабораторию, о которой в земных условиях не приходилось даже мечтать. Напомним, что в первой половине XX в. астрофизика оказала огромное влияние на развитие оптики и спектроскопии. В частности, в космических условиях были обнаружены «запрещенные» спектральные линии, регистрация которых в лабораторных условиях просто немыслима (см. статью «Планетарные туманности...» в этом сборнике, с. 64). Можно надеяться, что нечто сходное должно произойти (если не происходит уже сейчас) и с плазменной физикой. Следует, однако, заметить, что пока такого органического слияния плазменной физики и астрономии, как спектроскопии с астрофизикой, еще не произошло. Хотя нет недостатка в наблюдениях явно выраженных космических плазменных феноменов, пока отсутствуют адекватные теории, основывающиеся на представляющих плазменной физики. Вместо этого астрономам приходится ограничиваться более или менее кустарными построениями, хотя и это далеко не простое дело. Суть проблемы не только в недостаточной кооперации астрономов и специалистов-физиков, но и в больших теоретических «лакунах» современной плазменной физики. Поэтому в настоящее время астрономы должны ориентировать «плазменщиков» на

конкретные, важные астрономические проблемы, а физики — уделять должное внимание решению этих проблем и понять их важность для плазменной физики. Не претендуя на составление полного списка проблем, ожидающих своего решения, мы здесь рассмотрим только некоторые из них, имеющие фундаментальное значение как для астрономии, так и для плазменной физики.

Первая такая проблема — построение количественной теории генерации заряженных частиц сверхвысоких энергий при разнообразных процессах, связанных с движениями намагниченной плазмы. Современная астрофизика дает огромное количество примеров такой генерации на самых различных уровнях. Решение этой проблемы, в частности, позволило бы поднять на новую ступень наше понимание природы космических лучей *).

Уже давно стало ясно, что космические лучи представляют собой не какой-то экзотический феномен, а существенную, и, в какой-то мере, равноправную компоненту материи во Вселенной. Например, плотность энергии космических лучей, локализованных в Галактике, практически равна плотности кинетической и магнитной энергии межзвездной среды. Эмпирически мы знаем, что космические лучи инжектируются в межзвездную среду в основном при вспышках сверхновых звезд **). Следовательно, генерация релятивистских частиц осуществляется в движущихся с большой скоростью оболочках сверхновых.

Альтернативным было бы предположение, что релятивистские частицы каким-то образом возникают сразу же после взрыва звезды и, будучи «заперты» в расширяющуюся оболочку сверхновой, в конце концов после рассеяния этой оболочки поступают в межзвездную среду. Однако по ряду причин (например, из-за адиабатического охлаждения запертого в расширяющейся оболочке релятивистского газа) эта возможность не реализуется. Следовательно, генерация релятивистских частиц имеет место на довольно позднем этапе расширения (ска-

*) Гинзбург В. Л., Дорман Л. В. Природа и происхождение космических лучей: история и современность // Природа. — 1978. — № 4.

**) Другим инжектором космических лучей должны быть быстро вращающиеся сильно намагниченные нейтронные звездные пульсары. Относительная роль обоих типов инжекторов пока не ясна.

жем, спустя примерно 100 лет после взрыва), когда в окружающей межзвездной среде уже сформируется сильная ударная волна.

Была выдвинута вполне разумная гипотеза, что такая генерация должна иметь место на границе между оболочкой и возмущенной межзвездной плазмой за фронтом ударной волны. Как показывают расчеты, на этой границе из-за развития разного рода неустойчивостей возникает конвективная зона, причем энергия пульсаций достигает $\sim 1\%$ от первоначальной кинетической энергии оболочки. Однако как происходит в этой области генерация релятивистских частиц и одновременно рост на 1—2 порядка величины межзвездного магнитного поля, совершенно неизвестно. Пока эта проблема не получит надежного решения, нельзя, конечно, говорить о какой-то серьезной теории, объясняющей происхождение космических лучей. Такая теория, в частности, должна объяснить почти универсальный степенной энергетический спектр релятивистских частиц. Все эти вопросы, стоящие перед астрофизикой вот уже четверть века, пока еще весьма далеки от решения, хотя наблюдательный материал огромен и продолжает расти.

С аналогичной ситуацией мы сталкиваемся в несравненно большем масштабе при изучении квазаров и активных ядер галактик (по-видимому, между этими объектами нет принципиальной разницы, см. статью «Современная метагалактическая астрономия...» в этом сборнике, с. 111). Здесь наблюдаются резко нестационарные процессы, связанные с огромным выделением энергии (до 10^{61} эрг и даже больше, что в сотни раз превышает, например, гравитационную энергию связи звезд в нашей Галактике), существенная часть которой превращается в энергию релятивистских частиц. Замечательно, что эти процессы грандиозной мощности происходят в малых объемах, линейные размеры которых не превышают несколько сотых парсека! Наблюдательная астрономия пока еще не располагает достаточно большим количеством факторов, которые бы позволили различить детали этих процессов. Дело в том, что угловые размеры активных областей ничтожно малы, они не превышают 10^{-4} секунды дуги, что находится далеко за пределами разрешающей способности оптических телескопов и даже радиоинтерферометров. Все же имеются серьезные основания считать, что первопричина рекуррентной (повторяющейся) активности галактических ядер и квазаров в конеч-

ном итоге заключается в развитии некоторого типа неустойчивости в намагниченной плазме, находящейся в поле тяжести в состоянии быстрого вращения. Возможно, в центре ядер расположены черные дыры гигантской массы $\sim 10^8$ — 10^{10} солнечных масс. Никакой, однако, серьезной конкретизации эти идеи пока не получили, хотя речь идет о явлении, имеющем фундаментальное значение для астрономии.

Отсутствие достаточного количества наблюдательных данных реально затрудняет, а скорее всего отдалает решение важнейшей проблемы — первопричины активности галактических ядер, поэтому вопрос о механизме генерации релятивистских частиц в квазарах и радиогалактиках должен быть решен уже сейчас. Ибо, по нашему мнению, накопилось достаточно наблюдательных данных для количественного анализа. Здесь особенно полезны наблюдения ближайших к нам радиогалактик NGC 4486 (Дева-А) и NGC 5128 (Центавр-А). Особенно важны оптические радио- и рентгеновские наблюдения Девы-А. У этой гигантской сфероидальной галактики с массой, в сотню раз превышающей массу нашей звездной системы, уже полвека известно замечательное образование, называемое выбросом. Выброс представляет собой вытекающую из ядра галактики длинную (~ 2000 пс) узкую струю, в которой находятся очень яркие маленькие (диаметр меньше 30 пк, а скорее всего 1 пк) конденсации. Свыше 25 лет назад нами было показано, что механизм оптического излучения этих конденсаций — синхротронный (так же, как и так называемой аморфной части Крабовидной туманности). Вскоре была обнаружена сильнейшая линейная поляризация таких конденсаций — следствие синхротронной природы их излучения.

Этот удивительный феномен поставил перед астрономами ряд острых проблем, которые еще очень далеки от решения. Тем не менее один важнейший результат был получен с большой надежностью: нельзя представить, чтобы релятивистские электроны, ответственные за наблюдаемое синхротронное излучение выброса Девы-А, каким-то образом возникли в ядре и «транспортировались» оттуда на наблюдаемое расстояние. С достоверностью можно утверждать, что время жизни релятивистских электронов в выбросе на несколько порядков меньше времени, необходимого для такой транспортировки. Отсюда следует вывод, что генерация релятивистских

частиц в области узлов выброса происходит перманентно, на всем «пути следования» этих образований, которые, как можно показать, движутся с полурелятивистской скоростью.

Что же собой представляют эти загадочные узлы? Если это не компактные гравитационно связанные образования (что заведомо не так), то почему они не «расползаются» по дороге? На последний вопрос мы уже сейчас можем дать ответ: узлы не расползаются из-за динамического давления окружающей плазмы, которая их обтекает. Качественно явление выглядит так, как если бы время от времени (примерно один раз в несколько тысяч лет) из ядра со скоростью $0,6-0,8$ с выбрасывались сгустки намагниченной плазмы массой, близкой к одной массе Солнца, причем эти сгустки всегда выбрасывались в некотором фиксированном направлении, которое естественно отождествить с осью вращения ядра. После того как узлы расширятся до размеров $3-10$ пк, они стабилизируются динамическим давлением окружающей плазмы. При обтекании плазмой намагниченных сгустков происходит весьма интенсивный процесс генерации релятивистских частиц. Эффективность такого процесса исключительно велика: существенная, если не большая часть первоначальной кинетической энергии выброшенных из ядра галактики сгустков превращается в энергию сравнительно небольшого количества релятивистских частиц.

Каков же механизм такой трансформации энергии? Надо прямо сказать, что пока нет теории этого первостепенной важности явления. Существуют только более или менее правдоподобные идеи, между которыми нельзя пока даже сделать выбора. Между тем есть все основания полагать, что механизм генерации релятивистских частиц, действующий в галактике NGC 4486 (наблюдающейся со сравнительно «близкого» расстояния), имеет универсальный характер. Например, в ярчайшей, весьма удаленной от нас радиогалактике Лебедь-А также обнаружена генерация релятивистских частиц на огромном расстоянии от центра активности — ядра этой галактики. Скорее всего во всех случаях наблюдается универсальный процесс превращения кинетической энергии движущихся с большими скоростями намагниченных плазменных сгустков в энергию релятивистских частиц. Тем более важно получить, наконец, однозначное решение этой важнейшей для современного естествознания

проблемы. Мы подчеркиваем необходимость получить именно однозначное решение, так как опасаемся серьезных затруднений при построении правильной теории из-за представляющегося выбора между несколькими конкурирующими гипотезами. Интересно было бы также узнать, тождественны ли механизмы ускорения, действующие в расширяющихся оболочках сверхновых и в радиогалактиках (и квазарах)? Проявляет ли себя такой механизм в активных областях Солнца? Все эти вопросы пока остаются без ответа.

Другим важным кругом астрономических проблем, заведомо связанных с плазменной физикой, является обобщенная проблема магнитосфер различных космических тел. Хорошо известны те большие успехи, которые были достигнуты в области плазменной физики при исследовании магнитосферы Земли и ее взаимодействия с солнечным ветром. Важные результаты получены при изучении магнитосферы Юпитера и Меркурия. Решающую роль здесь сыграли выдающиеся достижения космической техники исследований, в которых широко применялись прямые методы измерений. Параллельно шло развитие рентгеновской астрономии, приведшее к открытию рентгеновских пульсаров в двойных звездных системах. При интерпретации наблюдательных данных оказалось необходимым развить теорию магнитосферы нейтронной звезды, взаимодействующей с обтекающим и проникающим в нее потоком довольно плотной плазмы, который исходил от второго «нормального» компонента. В отличие от магнитосфер планет, в рассматриваемом случае существенное значение имеет сила тяжести. При всех успехах теории рентгеновских источников остается еще очень много задач, ждущих своего решения. Сюда относятся, например, вопросы устойчивости тонких (диаметром в десятки метров) плазменных струй, падающих на поверхность нейтронной звезды в области ее магнитных полюсов, проблема «высыпания» плазмы в магнитосферу нейтронной звезды (тесно связанная с проблемой недавно открытых импульсных рентгеновских источников) и пр. Здесь можно встретить много неожиданного, что должно стимулировать дальнейшие теоретические исследования.

Вообще, рентгеновская астрономия теснейшим образом связана с плазменной физикой. Это и понятно — излучающим объектом, как правило, является весьма горячая ($\sim 10^7$ — 10^8 К) плазма, находящаяся в нестационарном состоянии.

нарном состоянии. Поясним это на конкретном примере. Остатки вспышек сверхновых представляют собой распространяющиеся в межзвездной среде сильные ударные волны. За фронтом таких волн плазма нагрета до весьма высокой температуры и представляет собой источник рентгеновского излучения. Однако в случае «молодых», т. е. почти не затормозившихся межзвездной средой остатков (например, Кассиопея-А, возраст которой 300 лет) плазма за фронтом ударной волны резко неизотермична. Температура ионов там $\sim 10^9$ К, в то же время из-за слабого теплового контакта и сравнительно малого времени существования туманности температура электронов (как это следует из спектра рентгеновского излучения) порядка нескольких десятков миллионов градусов. Пока, однако, отсутствует строгое количественное рассмотрение этой интересной задачи, основывающееся на положениях плазменной физики.

Физика радиопульсаров (вернее, их магнитосфер) открывает широкие возможности для применения методов плазменной физики. Сюда относятся тонкие вопросы со сверхдлинноволновым магнитодиольным излучением, распространение радиоволн в сверхспильных магнитных полях, особенности ускорения заряженных частиц и другие проблемы, еще ждущие своего решения. Особый круг проблем возникает при изучении знаменитого пульсара NP 0532, генетически связанного с Крабовидной туманностью. Этот во многих отношениях уникальный объект излучает во всем диапазоне электромагнитных волн от дециметровых до сверхжестких гамма-лучей, причем вряд ли механизм излучения универсален для всех частот.

Мы перечислили только малое количество проблем современной астрономии, которые связаны с физикой плазмы. Еще раз подчеркнем, однако, что важнейшая из них — выяснение во всех деталях механизма генерации релятивистских частиц при взаимодействии быстро движущихся сгустков намагниченной плазмы и окружающей более разреженной, также ионизованной среды. Решение этой фундаментальной проблемы даст ключ к пониманию основных нестационарных процессов в Галактике и Метагалактике.

Нужно помнить, что специфика разнообразных космических плазм заключается в отсутствии стенок, которые зачастую так сильно искажают лабораторные плазменные эксперименты. Однако плазменная физика уже

накопила достаточно большой опыт работ с «бесстеночными» плазмами в случае магнитосфер Земли и планет, взаимодействующих с солнечным ветром. Этот опыт будет весьма полезен при исследовании плазм, находящихся в «дальнем космосе». В заключение мы хотели бы выразить надежду, что, возможно, некоторые космические плазменные феномены удастся промоделировать в лабораторных условиях. Особенно важно было бы промоделировать космические генераторы заряженных частиц — движущиеся через разреженную ионизованную среду ступки намагниченной плазмы. Кто знает, возможно, это будет небесполезно и для конструкторов земных ускорителей, хотя огромное количественное различие масштабов явлений в космосе и лаборатории может привести к качественным различиям.

Природа.— 1978.— № 5.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ГАММА-АСТРОНОМИИ

Первые идеи о возможности регистрации космического гамма-излучения были высказаны довольно давно, еще в 1952 г. За год до этого Альвен и Герлофсон (и независимо от них Кипенхойер) высказали блестящую идею о возможности объяснения к тому времени давно уже известного петлевого космического радиоизлучения «синхротронным» механизмом. Суть этого механизма сводится к специфическому излучению электронов сверхвысоких энергий (так называемых «релятивистских» электронов, у которых энергия $E \gg mc^2$) в космических магнитных полях. Начиная с 1953 г., советские авторы с помощью этого механизма объяснили основные наблюдаемые факты, касающиеся петлевого радиоизлучения как галактического фона, так и дискретных галактических и метagalактических источников. Возникла и получила большое развитие радиоастрономическая теория происхождения космических лучей. Ведь радиоастрономия впервые открыла уникальную возможность изучать космические лучи на «космических» расстояниях от Земли, в межзвездном пространстве, где они блуждают миллионы лет и, что особенно важно, в источниках, где они генерируются (остатки вспышек сверхновых звезд). Между тем, до этого космические лучи могли исследоваться методами экспериментальной физики только в непосредственной близости к поверхности Земли, главным образом, в ее атмосфере. Здесь необходимо подчеркнуть, что радиоастрономия открыла возможность изучать только электронную компоненту космических лучей, ответственную за синхротронное излучение. Интересно заметить, что во времена первоначального развития теории синхротронного космического радиоизлучения (1951—1953 гг.) электронная компонента космических лучей у Земли еще не была обнаружена. Ее обнаружение и дальнейшие исследования в немалой степени стимулировались успехами радиоастрономии. Оказалось, что энергия потока электронов компоненты космических лучей у Земли составляет 1% от потока первичных протонов. Это обстоятельство как раз и объясняется наличием дополнительных энергетических потерь у космических электронов на синхротронное излучение. Таким образом, «основная», т. е. ядерная компонента первичных космических лучей не могла исследоваться радиоастрономическими методами.

Впервые Хайякава в 1952 г. обратил внимание на принципиальную возможность изучения ядерной компоненты космических лучей методами еще не существовавшей гамма-астрономии. При неупругом взаимодействии «космических» ядер с ядрами атомов межзвездного газа возникают нейтральные π^0 -мезоны, которые, распадаясь, дают гамма-кванты с энергией, превышающей несколько десятков МэВ. Эти гамма-кванты, в принципе, могут наблюдаться в стратосфере с помощью специальных детекторов, установленных на баллонах (тогда искусственных спутников еще не было). В том же 1952 г. Хатчинсон обратил внимание на то, что в межзвездной среде гамма-кванты могут генерироваться и при столкновениях релятивистских электронов (т. е. электронной компоненты космических лучей) с атомами межзвездной среды. Спустя 6 лет, в 1958 г. появилась весьма содержательная работа Моррисона, посвященная теоретическому рассмотрению многих астрономических процессов, приводящих к генерации гамма-квантов. Эта работа в значительной степени стимулировалась успехами синхротронной теории, которые тогда уже были весьма впечатляющи. В более позднее время на важность развития гамма-астрономии для изучения первичных космических лучей неоднократно указывал В. Л. Гинзбург.

Большим преимуществом гамма-астрономии по сравнению с астрономией на других спектральных диапазонах должна была быть огромная проникающая способность гамма-квантов. Например, при прохождении такого кванта вдоль всей галактической плоскости вероятности его поглощения меньше 1%. Между тем, даже рентгеновские кванты (не говоря уже об оптических) испытывают в межзвездной среде сильное поглощение. Только космическое излучение на субмиллиметровом и миллиметровом диапазонах мало поглощается межзвездной средой (за исключением отдельных спектральных линий).

Однако, несмотря на то, что возможность развития гамма-астрономии для всех была очевидна, экспериментальные исследования в этой области развивались очень медленно. Вплоть до конца 60-х годов отдельные эксперименты на баллонах не приводили к успеху. Это объясняется малыми значениями потока гамма-квантов и значительными помехами, обусловленными космическими заряженными частицами. Только разработка более чувствительных и габаритных детекторов в конце концов привела к успеху. Впервые космические гамма-кванты с энерги-

ей больше 50 МэВ от полосы Млечного Пути были зарегистрированы Краушаром и его сотрудниками только в 1972 г. Как показали эти наблюдения, интенсивность гамма-излучения Млечного пути сильно растет по направлению к галактическому центру.

После Краушара было выполнено несколько довольно успешных экспериментов на высотных баллонах. Эти эксперименты подтвердили увеличение интенсивности гамма-излучения галактического диска по направлению к центру Галактики. Кроме того, было обнаружено гамма-излучение от первого дискретного источника, которым, как это бывало неоднократно и на других спектральных диапазонах, оказалась Крабовидная туманность. Действительно, Крабовидная туманность была первым известным космическим объектом (не считая Солнца), от которого было в 1948 г. обнаружено радиоизлучение. Она же была первым известным объектом — источником рентгеновского излучения (1963 г.). Автор этой статьи не будет удивлен, если эта туманность в обозримом будущем окажется первым зарегистрированным источником космического гравитационного излучения.

Уже довольно давно для нужд гамма-астрономии советскими и американскими исследователями были использованы искусственные спутники Земли («Космос-208», «Космос-264», «OGO-5» и «OSO-3»). Новых данных при этом зарегистрировано не было. Впрочем, на спутнике «Космос-264» советские авторы как будто получили положительные результаты от некоторых дискретных источников (например, известной галактики с активным ядром 3C 120). Однако эти результаты не были подтверждены дальнейшими, более совершенными измерениями. Нельзя, конечно, исключить большой переменной гамма-излучения от ядра 3C 120, так что вопрос о реальности этих измерений пока остается открытым.

Новую эру в развитии гамма-астрономии открыл специализированный американский спутник «SAS-2», запущенный на орбиту в ноябре 1972 г. и работавший вплоть до июня 1973 г. Роль этого спутника в гамма-астрономии вполне сопоставима с ролью запущенного двумя годами раньше специализированного спутника «Ухуру» для рентгеновской астрономии. Как известно, на этом спутнике были сделаны фундаментальной важности открытия, как например, рентгеновские звезды, оказавшиеся тесными двойными системами, одной из компонент которых является нейтронная звезда. Чувствительность гамма-детекто-

ра, установленного на спутниках «SAS-2» и «COS-2», была примерно на порядок выше, чем в предыдущих экспериментах, а угловая разрешающая способность (несколько градусов) довольно велика. В августе 1975 г. был запущен западноевропейский специализированный гамма-спутник «COS-B», который продолжает успешно работать и в настоящее время (весна 1981 г.). Чувствительность детекторов, установленных на спутниках «SAS-2» и

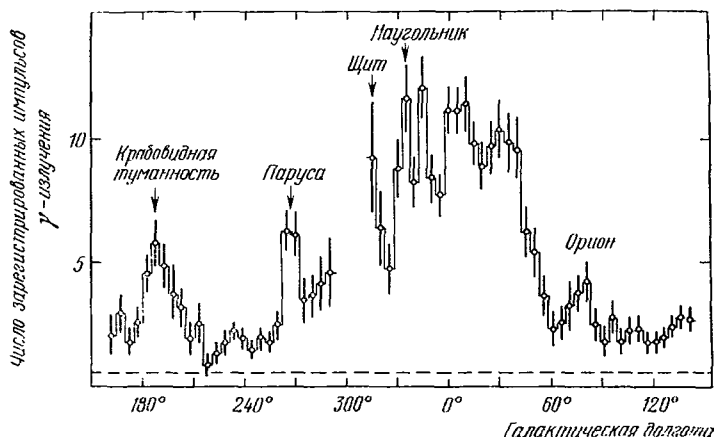


Рис. 1. Импульсы космического гамма-излучения, зарегистрированные на спутниках «Вела»

«COS-B», почти одинакова. Европейский спутник работает только в режиме длительных (~ 1 месяц) наведений на интересующую исследователей область неба, в то время как на «SAS-2» часто использовался режим сканирования.

На рис. 1 приведено распределение интенсивности космического гамма-излучения по галактической долготе (т. е. вдоль центральной линии Млечного Пути) в полосе $-10^\circ < b_{\text{II}} < 10^\circ$. Обращает на себя внимание большое усиление интенсивности этого излучения к направлению на галактический центр. Источниками космического гамма-излучения могут быть следующие элементарные процессы в межзвездной среде:

а) взаимодействие ядерной компоненты космических лучей (преимущественно протонов) с ядрами межзвездных атомов, ведущее к образованию нейтральных мезонов, которые, в свою очередь, распадаются на гамма-кванты (на этот механизм указал еще Хайкава);

Источник гамма-излучения	10—30 МэВ	>100 МэВ
1. Распад π^0 -мезонов u_p	$0,5 \cdot 10^{-26} \text{ см}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$	$10,0 \cdot 10^{-26} \text{ см}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$
2. Тормозное излучение u_l	$9,1 \cdot 10^{-26}$	$2,7 \cdot 10^{-26}$
3. Комптоновское рассеяние на звездном излучении u_c	$0,6 \cdot 10^{-26}$	$0,2 \cdot 10^{-26}$
4. Комптоновское рассеяние на реликтовом излучении u_r	$1,0 \cdot 10^{-26}$	$0,2 \cdot 10^{-26}$
5. Синхротронное излучение u_s	$1,0 \cdot 10^{-30}$	$0,2 \cdot 10^{-30}$

б) тормозное излучение релятивистских электронов, входящих в состав космических лучей, при столкновении с атомами межзвездной среды («тормозное излучение»);

в) взаимодействие этих же релятивистских электронов с фотонами звездного излучения, заполняющими межзвездное пространство;

г) такого же типа взаимодействие с низкочастотными квантами «реликтового» излучения, заполняющего всю Вселенную. Последнее представляет собой сильно «покрасневшее» излучение горячей (температура около 5000 К) водородно-гелиевой плазмы, которой была заполнена наша Вселенная задолго до того, как образовались галактики и звезды;

д) синхротронное излучение в гамма-диапазоне, обусловленное движением ультрарелятивистских электронов в космических магнитных полях. Таблица содержит результаты вычислений мощности гамма-излучения (число квантов за секунду) для области Галактики около Солнца, рассчитанной на единицу объема (т. е. кубический сантиметр) для двух спектральных участков (энергия квантов 10—30 мэВ и >100 МэВ).

При этих расчетах принималось, что концентрация межзвездных атомов водорода $0,8 \text{ см}^{-3}$, а значения спектров электронной и протонной компонент первичных космических лучей приняты согласно наиболее надежным измерениям. Данные таблицы не вызывают сомнений. Од-

нако, для того, чтобы получить теоретическое значение интенсивности гамма-излучения

$$I(E_\gamma, b, l) = \frac{1}{4\pi} \int dr \left[\sum u(r) \right],$$

надо знать, как величины u меняются с расстоянием от Солнца r . Например,

$$u_p(r, b, l) = u_p(r=0) \cdot \frac{N(r, b, l)}{N(r=0)} \cdot \frac{W_{\kappa, \lambda}(r, b, l)}{W_{\kappa, \lambda}(r=0)},$$

где $N(r, b, l)$ — концентрация межзвездного газа, на расстоянии r от Солнца в направлении, определяемом галактической широтой b и долготой l , $W_{\kappa, \lambda}$ — концентрация ядерной компоненты космических лучей в предположении постоянства их спектра. Таким образом, вычисление теоретического значения интенсивности с целью сравнения с данными наблюдений требует, прежде всего, знания распределения плотности межзвездной среды. Проще всего сделать предположение о постоянстве плотности космических лучей, $W_{\kappa, \lambda}$. Это предположение было бы, например, справедливо при локализации космических лучей либо в Метагалактике, либо в местной системе галактик. Такое предположение, однако, противоречит наблюдаемому распределению интенсивности космического гамма-излучения. Из этих наблюдений определенно следует наличие крупномасштабных вариаций плотности космических лучей в галактике — $W_{\kappa, \lambda}$ определенно растет по направлению к центру. Штеккер и др., кроме того, нашли, что наблюдаемому распределению интенсивности космического гамма-излучения противоречит старая гипотеза о существовании вокруг Галактики огромного квазисферического «гало», в котором локализованы космические лучи. По оценкам Штеккера и др. толщина галактического диска, заполненного космическими лучами, не превышает 3 кпк. Заметим, что эти расчеты не свободны от возражений. В частности, уточнение наблюдаемого распределения интенсивности гамма-излучения может привести к изменениям в этих расчетах. Но сама по себе возможность методами гамма-астрономии решить эту старую проблему, имеющую такое большое значение для физики космических лучей, наглядно демонстрирует потенциальные возможности этой новой области науки.

Лучше всего представляет результаты наблюдений на «SAS-2» гипотеза, впервые выдвинутая Беньями и Фихтелем в 1974 г. Согласно этой гипотезе $W_{\kappa, \lambda}(r)$ просто

пропорциональна плотности газа в облаках межзвездной среды. Основанием для этой гипотезы служит тот факт, что космические лучи через магнитное поле связаны с облаками межзвездной среды. Силовые линии межзвездного магнитного поля как бы «приклеены» к движущимся и постоянно деформирующимся облакам межзвездного газа, что объясняется их сравнительно высокой электропроводностью. Поэтому, когда из более разреженной межзвездной среды конденсируются сравнительно плотные облака, магнитные силовые линии в них как бы «сгущаются». Но это означает, что напряженность магнитного поля (изображаемая числом силовых линий, пересекающих площадку с поверхностью, равной 1 см^2) соответственно увеличивается. С другой стороны, космические лучи движутся вдоль силовых линий магнитного поля, навиваясь на них по спирали. Следовательно, в рамках этой картины, там, где плотность межзвездной среды больше, соответственно растет плотность космических лучей. Эта гипотеза основывается на классической магнитно-гидродинамической картине, разрабатывавшейся в свое время в СССР С. Б. Пикельнером, а на Западе — Бирманом, Дэвисом и Паркером. Следует, однако, отметить, что неоднократно обсуждавшийся вопрос о проникновении магнитного поля в плотные холодные молекулярные облака межзвездной среды пока еще не совсем ясен.

Для конкретных теоретических расчетов распределения интенсивности галактического гамма-излучения большое значение имеет вопрос о молекулярной составляющей межзвездного газа. Интерпретация существующих наблюдений радиолинии окиси углерода CO с длиной волны λ 2,64 мм позволяет сделать вывод, что во внутренних областях Галактики, находящихся от центра на расстоянии $R < 8$ кпк большая часть межзвездного водорода находится в форме молекул H_2 , причем максимум H_2 приходится на область $5 \text{ кпк} < R < 6 \text{ кпк}$. Кроме того, в самой центральной части находится тор радиусом в несколько сот парсек, наполненный довольно плотным ($\sim 200 \text{ см}^{-3}$) межзвездным молекулярным водородом. Следует, однако, подчеркнуть, что интерпретация наблюдений линий CO пока еще не является настолько надежной, чтобы вывод о преимущественно молекулярном составе межзвездной среды во внутренних областях Галактики считать окончательно установленным. Если скоро облака межзвездного газа, как атомные, так и молекулярные, концентрируются в спиральных рукавах, следует ожидать, что источники гамма-

излучения также сосредоточены в этих рукавах. Бенъями и Фихтель вычислили теоретическое распределение гамма-излучения высоких энергий (>100 МэВ) по галактической долготе при «компромиссном» предположении, что во внутренних областях Галактики концентрация и распределение молекулярного и атомного межзвездного водорода равны. Максимумы в области галактических долгот 180° и 260° (см. рис. 1) обусловлены дискретными источниками гамма-излучения — пульсарами, находящимися внутри остатков вспышек сверхновых Крабовидной туманности и Паруса-X. Обращают на себя внимание вторичные максимумы в распределении (как наблюдаемом,

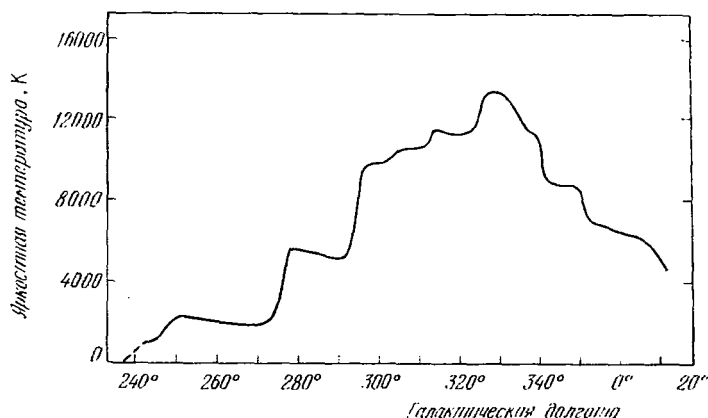


Рис. 2. Распределение интенсивности радиоизлучения по галактической долготе на метровых волнах

так и теоретическом) интенсивности у долгот 315° , 330° , 340° и $\sim 80^\circ$. Эти максимумы соответствуют отдельным спиральным рукавам Галактики. Они вполне аналогичны «ступенькам» в распределении интенсивности радиоизлучения на метровых волнах, которые когда-то получил Миллс (рис. 2). Этого и следовало ожидать, так как синхротронное излучение единицы объема

$$u_s \propto W_{\text{к.л.}} \cdot H^{\frac{\gamma+1}{2}}.$$

Заметим, что разрешающие способности в радио- и гамма-диапазонах были близки. Все же, вопрос об интерпретации наблюдаемого распределения интенсивности космического гамма-излучения и его природы пока еще не ре-

пеш окончательно. Особенно смущают полученные на «COS-B» неожиданные результаты, касающиеся спектра космического гамма-излучения. Этот спектр указывает на значительный вклад тормозного излучения. Более того, в принципе наблюдаемый гамма-спектр можно представить обусловленным только тормозным излучением космических электронов. Заметим, однако, что результаты спектральных измерений, выполненных на «COS-B», носят пока предварительный характер и в близком будущем будут уточнены. Несомненно, что в диапазоне энергий гамма-квантов в десятки МэВ ответственна за излучение электронная компонента космических лучей. Необходимо, однако, надежно оценить вклад этой компоненты для энергий гамма-квантов, превышающих 100 МэВ, без чего невозможно делать достоверные выводы о природе ядерной компоненты космических лучей.

Два вторичных максимума гамма-излучения, как это видно на рис. 1, отождествляются с ближайшими к Солнцу темными, холодными ($T \sim 10$ К) плотными ($N \sim 10^3$ см⁻³) облаками межзвездной среды, в которых газ находится в молекулярном состоянии. Одно из этих облаков находится в созвездии Ориона, в области, где наблюдается процесс образования звезд из газовой-пылевой межзвездной среды. Расстояние до этого облака около 500 пк. Второй максимум находится около звезды ρ созвездия Змееносца и соответствует молекулярному облаку, удаленному от нас «всего лишь» на расстоянии около 150 пк. Еще раз заметим, что причиной жесткого гамма-излучения от молекулярных облаков является обусловленное их высокой плотностью увеличение количества столкновений заполняющих нашу Галактику космических лучей с молекулами межзвездной среды.

Имеются все основания полагать, что и другие молекулярные облака, заполняющие межзвездное пространство (а их в Галактике насчитывается несколько тысяч), по тем же причинам также являются источниками гамма-квантов, но они слишком далеки от нас и их излучение как бы «сливается», образуя существенную часть фона космического гамма-излучения. Таким образом гамма-излучение Галактики как бы подчеркивает более или менее крупные структурные детали последней. В частности, на карте распределения этого излучения можно усмотреть концентрацию яркости к двум большим кругам, слегка наклоненным к галактическому экватору. Эти круги соответствуют сравнительно близким деталям спиральной

структуры нашей звездной системы. Один такой круг давно известен как «пояс Гудда», к которому концентрируются сравнительно близкие к Солнцу горячие звезды высокой светимости. Другой аналогичный большой круг на небе недавно был открыт сотрудницей Абастуманской обсерватории Долидзе. Дальнейшее изучение структуры Галактики в гамма-диапазоне с более совершенной аппаратурой даст много новых интересных результатов.

Дальнейшее повышение чувствительности и разрешающей способности детекторов космического гамма-излучения (что будет сделано на следующем — третьем — поколении специализированных гамма-спутников) позволит изучить тонкую структуру распределения интенсивности космического гамма-излучения. Уже на «SAS-2» и «COS-B» наблюдались структурные детали распределения интенсивности, названные «горячими пятнами».

В этой связи уместно обратить внимание на гамма-излучение от старых остатков взрывов сверхновых. Такие взрывы звезд, случающиеся в нашей Галактике раз в несколько десятков лет, вызывают сильнейшее возмущение окружающей межзвездной среды. Это возмущение состоит из распространения сильной ударной волны, сопровождающейся нагревом межзвездного газа за ее фронтом до температуры в несколько миллионов градусов *). По этой причине «остатки» являются источниками мягкого рентгеновского излучения. Внутри охваченной таким возмущением области, размеры которой исчисляются десятками световых лет, появляется довольно значительное количество релятивистских частиц, т. е. космических лучей. После того, как такое возмущение «рассосется» (на что потребуются сотни тысяч лет), космические лучи попадают в «нормальную» межзвездную среду и блуждают там многие миллионы лет. В этих «остатках» вспыхивают сверхновых магнитное поле значительно усилено. Поэтому электронная компонента находящаяся там космических лучей дает мощное синхротронное излучение, которое и наблюдается. Зная частоту вспыхивания сверхновых в Галактике и суммарную энергию образующихся там космических лучей (а это делается из анализа синхротронного излучения «остатков»), можно показать, что вспыхивания сверхновых являются основным «поставщиком» космических лучей в Галактике.

*) См. статью «Взрывающиеся звезды и их остатки» в этом сборнике, с. 82.

Типичным таким объектом, например, является известная Петля в Лебеде, наблюдаемая в оптическом, мягком рентгеновском и радиодиапазонах. Полная энергия ядерной компоненты космических лучей, заключенных в этом объекте $\epsilon_{\text{к.л}} \sim 10^{49}$ эрг (в предположении, что полная энергия ядерной компоненты $\sim$ в 100 раз больше, чем электронной). При радиусе ~ 20 пк, объеме $\sim 10^{60}$ см³ средняя плотность энергии релятивистских частиц $W_{\text{к.л}} = 10^{-11}$ эрг/см³, что примерно в 10 раз превосходит околосолнечное значение. Если плотность межзвездной среды там такая же, как около Солнца (в действительности, в отдельных конденсациях она намного выше), то, зная $u_p(r=0)$ (см. табл. на с. 159), можно найти мощность гамма-излучения $L_\gamma = 10^{36}$ с⁻¹, в то время, как поверхностная яркость (т. е. интенсивность) источника $I_\gamma = 10^{-5}$ см⁻² с⁻¹ стер⁻¹. Из-за большой неоднородности в распределении как космических лучей, так и газа (например, наблюдаемой оболочечной структуры источников) отдельные детали будут иметь интенсивность, по крайней мере на порядок превосходящую полученное выше среднее значение, что близко к гамма-яркости центральных областей Млечного Пути. Особый интерес представляет исследование возможного существования ярких гамма-пятен в области так называемого «Северного Полярного Шпура», являющегося, как многие полагают, ближайшим к Солнцу остатком вспышки сверхновой, удаленной от нас всего на расстояние 50—100 пк. Высокая галактическая широта облегчает наблюдения таких пятен, ожидаемые угловые размеры которых могут быть порядка нескольких градусов. Положительный результат этих наблюдений послужил бы окончательным доказательством, что Шпур является, по-видимому, источником мягкого рентгеновского излучения. Заметим, что подобные наблюдения можно было поставить уже на спутнике «COS-B».

Нам остается только упомянуть, что, наряду с гамма-излучением от крупномасштабных структурных единиц Галактики, на «SAS-2» и «COS-B» исследовалось гамма-излучение от отдельных дискретных источников. Прежде всего, следует отметить обнаружение гамма-излучения от пульсаров в Крабовидной туманности (рис. 3) и Паруса-X (рис. 4). Особенно загадочна природа гамма-излучения от последнего пульсара, обнаруживающего (как и в оптике) два импульса, между тем как в радиодиапазоне наблюдается только один импульс за период. Усложняет интерпретацию отсутствие измеримого рентгеновского излучения

от пульсара Паруса-X. Кроме этих двух пульсаров, на «SAS-2» было обнаружено гамма-излучение еще от двух сравнительно старых пульсаров PSR 1747—46 и PSR 1818—04. Однако, этот в высшей степени важный результат не был подтвержден на «COS-B», где проводились специальные наблюдения почти 50 пульсаров, не давшие положительного результата. Это очень трудные наблюдения, требующие точного знания моментов прихода радиоимпульсов. Вопрос о том, являются ли «старые» пульсары

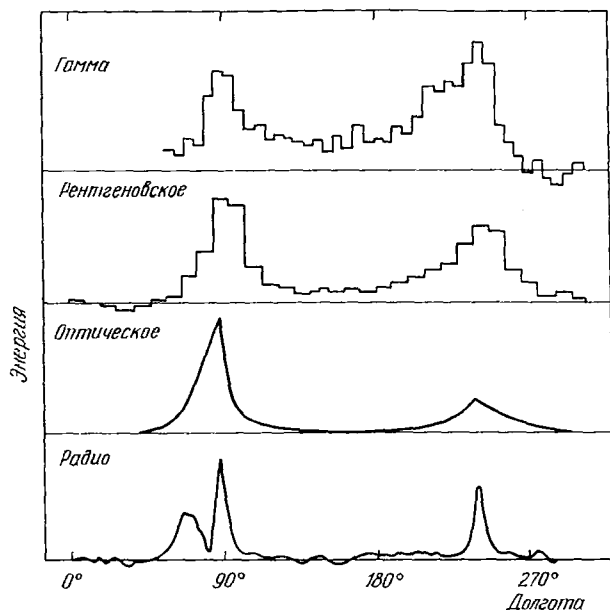


Рис. 3. Излучение пульсара в Крабовидной туманности в гамма-, рентгеновском, оптическом и радиодиапазоне

источниками гамма-излучения, особенно важен еще и потому, что нельзя исключить, что эти пульсары являются источниками импульсов мягкого гамма-излучения, впервые наблюдавшегося на спутниках «Вела».

Как известно, эта система спутников была запущена с целью контроля над возможными ядерными взрывами на поверхности Земли и в атмосфере. В процессе своей контрольной службы эти спутники совершенно неожиданно обнаружили короткие (длительностью от нескольких секунд до нескольких десятков секунд) импульсы мягкого гамма-излучения (энергии квантов от нескольких сотен

кэВ до нескольких МэВ). С тех пор было получено довольно много наблюдательных данных об этих импульсах (см. рис. 5).

Для некоторого (небольшого) количества гамма-импульсов были получены очень грубые координаты областей неба, откуда они к нам приходят. Определение координат космических гамма-источников является далеко не простой задачей. В случае, когда излучение от такого источника носит импульсный характер, координаты его можно

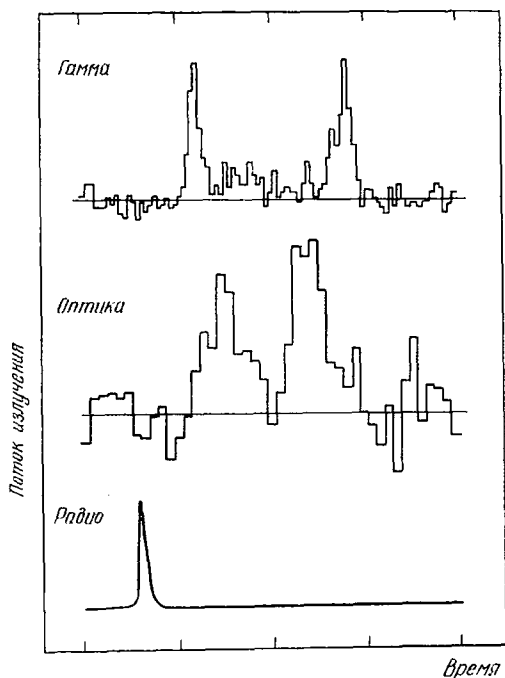


Рис. 4. Излучение пульсара Паруса-Х в гамма-, оптическом и радиодиапазоне

определить, зная моменты регистрации начала импульса на разных детекторах, помещенных в разных точках пространства. Если имеются два таких детектора, разнесенных на некоторое расстояние l , на небе определяется длинная, сравнительно узкая полоса, в которой находится источник. Если число разнесенных в пространстве детекторов равно трем, на небе определяются три полосы, пересечение которых дает ромбообразную область, в которой локализуется источник. Точность локализации будет

тем выше (т. е. стороны ромба или, в случае двух детекторов, ширина полосы на небе, будут меньше), чем больше расстояние между детекторами l .

Летом 1978 г. на борту двух советских межпланетных станций «Венера-11» и «Венера-12» были установлены детекторы мягкого гамма-излучения, регистрирующие кванты с энергиями от нескольких десятков кэВ до 1—2 МэВ.

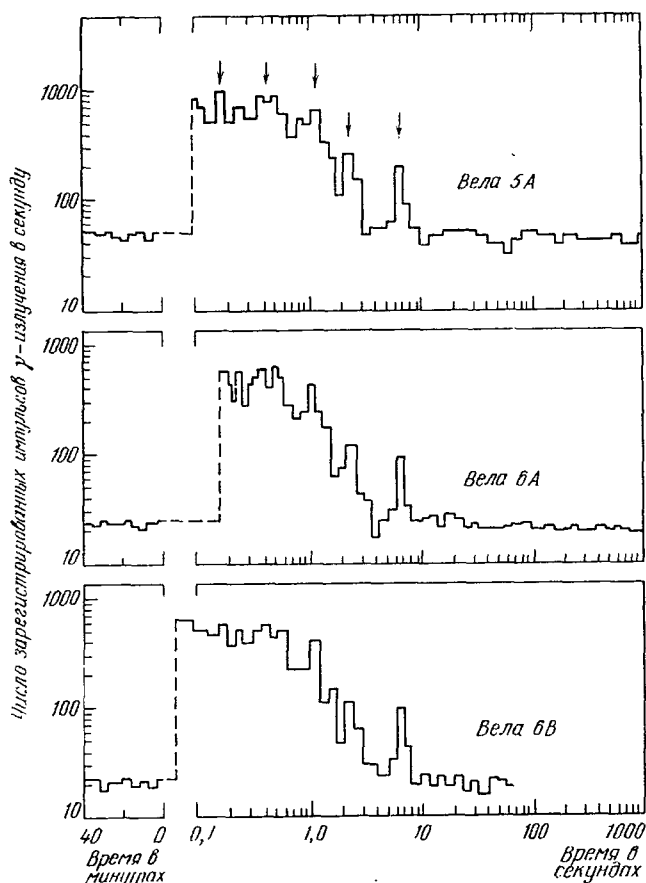


Рис. 5. Гамма-импульсы, зарегистрированные на спутниках «Вела»

Кроме того, там были установлены приборы для регистрации моментов времени с точностью в 2—3 миллисекунды. Одновременно на околоземной орбите работал советский спутник «Прогноз-7», на борту которого была установле-

на аналогичная аппаратура. Таким образом, удалось получить координаты для отдельных, наиболее ярких гамма-импульсов с точностью до $20''$ по одной координате и несколько минут дуги — по другой.

Всего за $1\frac{1}{2}$ года работы советских детекторов космических гамма-импульсов удалось наблюдать около 150 явлений. Был собран богатый статистический материал. При этом никакой сколько-нибудь заметной концентрации источников импульсного гамма-излучения к галактической плоскости или галактическому экватору обнаружено не было.

Особый интерес представляет анализ сильнейшего гамма-импульса, случившегося 5 марта 1979 г. Безусловно, это был самый сильный из когда-либо зарегистрированных гамма-импульсов. Поток излучения достиг максимального значения ($\sim 10^{-3}$ эрг/см² · с, т. е. значительно больше, чем дает спокойное Солнце в этом диапазоне) быстрее, чем за тысячную долю секунды. Координаты этого источника были определены с точностью лучше одной минуты дуги, что позволило отождествить его с очень интересным оптическим объектом. Этим объектом оказалась необычная туманность N 49, являющаяся остатком вспышки сверхновой звезды. Самым поразительным, однако, является то обстоятельство, что эта туманность находится не в нашей Галактике, а в ближайшей к нам звездной системе — Большом Магеллановом Облаке, удаленном на 55000 пк от Земли! Многие исследователи считали и считают такое совпадение случайным, так как в противном случае мощность гамма-излучения во время этого импульса составляла бы $\sim 3 \cdot 10^{44}$ эрг/с, что превышает мощность оптического излучения всех звезд нашей Галактики.

Выдающимся успехом советской гамма-астрономии было обнаружение у источника, вспыхнувшего 5 марта 1979 г., 8-секундной периодичности (см. рис. 6). Такая периодичность доказывает, что вспышка произошла на нейтронной звезде с периодом осевого вращения 8 с. Другие измеренные на советских космических аппаратах импульсные источники гамма-излучения решительно ни с одним сколько-нибудь ярким оптическим объектом — туманностью или галактикой — отождествить пока не удалось. Вырисовывается картина, что источники космических гамма-импульсов — это старые пульсары. Каждый пульсар за время своей жизни вспыхивает много раз, причем интервалы между вспышками — от тысяч до сотен тысяч лет. В тех редких случаях, когда вспыхивают

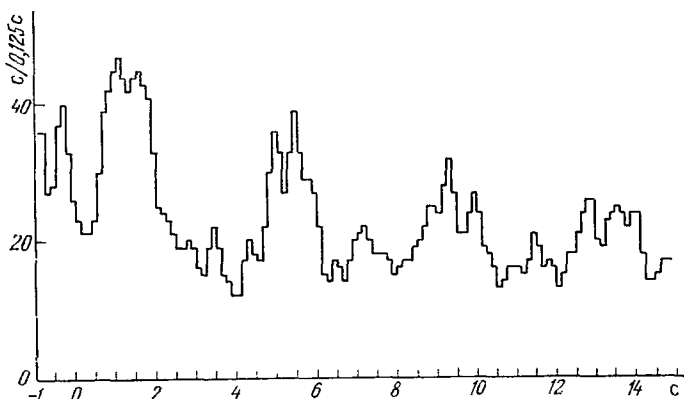


Рис. 6. Периодичность гамма-импульса 5 марта 1979 г.

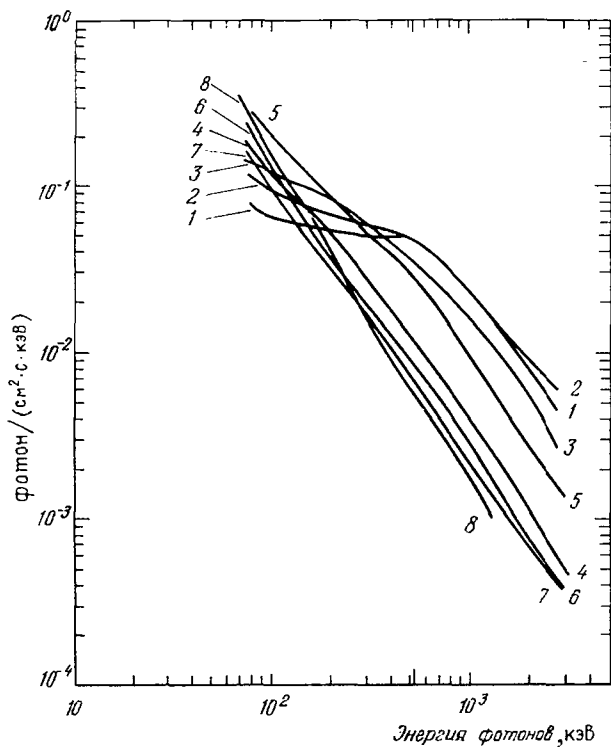


Рис. 7. Спектры гамма-импульсов для разных моментов времени

сравнительно молодые пульсары, их мощность очень велика, как это было 5 марта 1979 г. Необходимы, однако, новые исследования, чтобы эту картину установить окончательно.

На советских космических станциях «Венера-11» и «Венера-12» впервые были получены высококачественные спектры гамма-импульсов. Эти спектры обнаруживают значительные изменения со временем в процессе развития

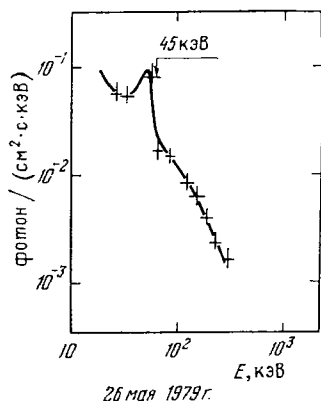


Рис. 8. Линия поглощения в спектре гамма-импульса, обусловленная сильным магнитным полем

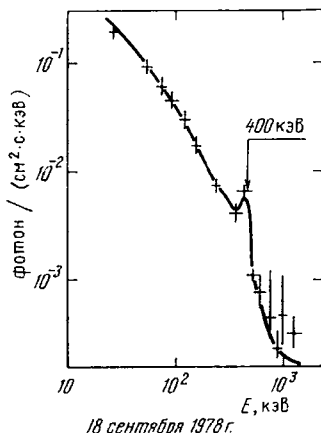


Рис. 9. «Аннигиляционная» линия излучения в спектре гамма-импульса

импульса (см. рис. 7). Обращает на себя внимание наличие спектральных линий. Линии поглощения группируются около энергии квантов ~ 50 кэВ и, по-видимому, могут быть объяснены наличием в источнике сильнейшего магнитного поля с напряженностью $\sim 10^{12}$ эрстед (рис. 8). Расположенная в более жесткой части спектра линия излучения с энергией квантов ~ 430 кэВ вероятно обусловлена аннигиляцией электронов и позитронов (рис. 9). При таких процессах должна излучаться линия с энергией квантов 511 кэВ. Наблюдаемая заметно меньшая энергия этих квантов объясняется их огромным гравитационным красным смещением вблизи поверхности нейтронной звезды, где они излучаются. Это — экспериментальное доказательство того, что гамма-всплески связаны с нейтронными звездами.

На фоне пока еще далеких от надежности результатов наблюдений гамма-излучения от «старых» пульсаров осо-

бенно интригует обнаружение на «SAS-2» дискретного гамма-источника CG 195 + 4, не проявляющего себя ни в каком другом спектральном диапазоне. Наличие этого источника (поток от которого почти такой же, как от пульсара в Карабовидной туманности) было подтверждено наблюдениями на «COS-B».

Скорее всего, этот источник следует связывать с нейтронной звездой, образовавшейся после вспышки сверхновой. Однако непростой проблемой является объяснение отсутствия на этом месте неба сколько-нибудь примечательных источников в оптическом, радио- и рентгеновском диапазонах. Пожалуй, единственная возможность объяснить весь комплекс наблюдаемых (или, вернее, не наблюдаемых) явлений — это предположить, что соответствующая нейтронная звезда вспыхнула в весьма разреженной горячей межзвездной среде, и притом вспышка произошла сравнительно недавно, скажем, несколько тысяч лет назад. При такой ситуации, как недавно указала Т. А. Лозинская, оптически наблюдаемая туманность не должна образоваться. Можно полагать, что протяженный радиопоток, обычно связанный со вспышкой сверхновой, также не успел еще образоваться.

На «SAS-2» впервые были получены надежные результаты в области метагалактической гамма-астрономии. Было открыто гамма-излучение от ядра ближайшей к нам радиогалактики NGC 5128, удаленной на расстояние «все-го лишь» 5 Мпк *).

К сожалению, на «COS-B» наличие гамма-излучения от NGC 5128 не было подтверждено. Но зато с большой надежностью было открыто гамма-излучение от сравнительно близкого квазара 3C 273. Этот знаменитый квазар — исторически первый открытый объект этого класса — удален от нас на расстояние свыше 500 Мпк. Примечательно, что огромная мощность гамма-излучения от этого квазара (в сотни раз превышающая полную мощность излучения всех звезд Галактики) примерно такая же, как в радио и оптическом диапазоне.

Метагалактическая гамма-астрономия еще находится в начальной стадии своего развития. Не приходится сомневаться, что перед ней открываются богатейшие перспективы. Нам остается еще сказать несколько слов о специфической области гамма-астрономии, связанной с иссле-

*) См. статью «Современная метагалактическая астрономия и проблема активности ядер Галактик» в этом сборнике, с. 111.

дованием космических квантов сверхвысоких энергий 10^{11} — 10^{13} эВ. Техника этих измерений весьма своеобразна. Она не требует установки приемной аппаратуры на спутниках — наблюдения ведутся с поверхности Земли с помощью оптических телескопов. Такая, на первый взгляд парадоксальная техника, объясняется спецификой прохождения сверхжестких (т. е. весьма энергичных) космических гамма-квантов через земную атмосферу. Прохождение каждого такого кванта вызывает в атмосфере ливень, т. е. каскад размножающихся вторичных частиц, прежде всего — очень энергичных электронов. В свою очередь, такие электроны, проходя через атмосферу, вызывают вспышки особого излучения, называемого «черенковским», которое и регистрируется телескопами.

В настоящее время успешно работает несколько установок, позволяющих регистрировать сверхэнергичные космические гамма-кванты. Были зарегистрированы потоки таких квантов от нескольких источников, прежде всего от пульсара в Крабовидной туманности, а также от точечного источника в ядре NGC 5128, от которого уже было зарегистрировано гамма-излучение в диапазоне $\sim 10^8$ эВ. Имеются указания, что очень интересный рентгеновский источник Лебедь X-3 (двойная система с рекордно коротким орбитальным периодом 4,8 часа) излучает сверхжесткие гамма-кванты и кванты в диапазоне энергий ~ 100 МэВ.

Мы можем закончить наш краткий обзор выражением уверенности в том, что гамма-астрономия, выйдя из «эмбрионального» периода своего развития, стоит на пороге выдающихся открытий.

Земля и Вселенная.— 1982.— № 2, 3 (Проблемы метagalактической астрономии).

О ВОЗМОЖНОЙ УНИКАЛЬНОСТИ РАЗУМНОЙ ЖИЗНИ ВО ВСЕЛЕННОЙ

Едва ли не ведущей тенденцией в развитии концепции множественности обитаемых миров за последнее столетие является систематическое *сокращение* числа космических объектов, рассматривавшихся как возможное пристанище жизни. Ниже будет показано, что эта тенденция продолжает развиваться и в настоящее время.

Прежде всего заметим, что подлинно научный подход к обсуждаемой проблеме стал возможен только во второй половине нашего века. Именно в это время развернулась «вторая революция» в астрономии, ознаменовавшаяся огромным количеством открытий, существенно изменивших наши представления о Вселенной. Постепенно стали вырисовываться контуры эволюционирующей, развивающейся от простого к сложному Вселенной. В частности, серьезные успехи были достигнуты в понимании происхождения звезд и их эволюции. Выдающиеся успехи радиоастрономии стимулировали идею о возможности установления межзвездной радиосвязи. Эта идея в последние годы стала, пожалуй, основной в проблеме внеземных цивилизаций. Выявилась тенденция *подменять* общую проблему множественности обитаемых миров проблемой *связи* с внеземными цивилизациями, что, конечно, принципиально неверно. Другим выдающимся достижением науки за последнюю четверть столетия, оказавшим серьезное влияние на обсуждаемую проблему, было проникновение в тайну наследственности и возникновения биологии на молекулярном уровне. Только после этого оказалось возможным корректно поставить вопрос о возникновении жизни на Земле, вопрос, который пока еще остается без ответа.

Наконец, минувшие четверть века ознаменовались началом космической эры в истории человечества и первыми шагами в освоении ближнего космического пространства. Возникла и получила бурное развитие космическая технология. Космос властно вторгся в мироощущение всех жителей нашей планеты. Тем самым проблема внеземных цивилизаций и связи с ними из области научной фантастики (которую она давно питала) стала вполне актуальной. Об этом свидетельствуют проведенные в последние годы научные симпозиумы и конференции, где проблематика разумной жизни во Вселенной подвергалась систематическому анализу. Особенно плодотворным и представительным был советско-американский симпозиум,

происходивший на Бюраканской обсерватории АН Арм. ССР осенью 1971 г.*).

Хотя на этих симпозиумах и обсуждался весьма широкий круг вопросов, доминировала проблематика, относящаяся к связи с внеземными цивилизациями. Такое «прагматическое» отношение к проблеме, как мы уже говорили выше, вряд ли поможет существенно продвинуть ее. Куда перспективнее нам представляется общий логико-философский подход, который мы постараемся обосновать.

Пожалуй, основной формулой для всей проблемы внеземных цивилизаций является простое соотношение, получившее название «формулы Дрейка»

$$N = nP_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 \cdot \frac{t_1}{T},$$

где N — число высокоразвитых цивилизаций, существующих в Галактике одновременно с нами, n — полное число звезд в Галактике, P_1 — вероятность того, что звезда имеет планетную систему, P_2 — вероятность возникновения жизни на планете, P_3 — вероятность того, что эта жизнь в процессе эволюции станет разумной, P_4 — вероятность того, что разумная жизнь вступит в технологическую эру, t_1 — средняя продолжительность технологической эры, T — возраст Галактики.

По мере развития науки в последние годы наблюдается совершенно отчетливо выраженная тенденция к уменьшению множителей в формуле Дрейка. Сам Дрейк еще в 1961 г. пытался обнаружить искусственные радиосигналы от ближайших к нам звезд τ Кита и ϵ Эридана. Он это сделал сразу же после того, как Кокконн и Моррисон обосновали возможность односторонней радиосвязи на межзвездные расстояния. После пионерской работы Дрейка многие исследователи делали попытки обнаружить радиосигналы искусственного происхождения. Например, начиная с 1968 г., В. С. Троицкий проводил такие исследования в дециметровом диапазоне, используя антенну довольно скромных размеров. Заметное оживление в этой области наблюдалось, начиная с 1972 г., когда при таких исследованиях стали использовать значительно более крупные радиотелескопы. Чаще всего наблюдения проводились на волне 21 см. Например, в 1972 г.

*) В декабре 1981 г. в Таллине состоялся новый международный симпозиум, посвященный этой проблеме.

американские радиоастрономы Цукерман и Палмер на 91-метровом радиотелескопе Национальной радиоастрономической обсерватории «держали на прицеле» 602 довольно яркие звезды. В 1974 г. Бридл и Фелдман на волне 1,3 см, используя прецизионный радиотелескоп с диаметром зеркала 46 м, наблюдали 500 звезд. В 1977 г. Блэк и его коллеги проводили наблюдения 200 звезд на волне 18 см. Интересную попытку наблюдений искусственных радиосигналов от некоторых ближайших галактик предприняли в 1975 г. Дрейк и Саган. Всего с 1960 по 1978 г., насколько мне известно, предпринималось 13 попыток таких наблюдений, причем объектами исследований было свыше 1000 звезд и несколько галактик. Увы, все эти попытки оказались безуспешными. Следует подчеркнуть, что чувствительность современных больших телескопов достаточна для того, чтобы обнаружить сигнал искусственного происхождения с расстояния в несколько сотен световых лет.

На другую возможность обнаружения технологически развитой цивилизации земного типа автор этой статьи обратил внимание 20 лет назад. Дело в том, что благодаря гигантскому развитию радиопередающих устройств (особенно телевидения) Земля стала мощнейшим радиоисточником в Солнечной системе. Недавно выполненные тщательные расчеты Салливана позволяют сделать вывод, что при современных радиотехнических средствах искусственное радиоизлучение Земли можно уловить с расстояния в сотни световых лет! Такого радиоизлучения от ближайших звезд пока не обнаружено. Правда, серьезные попытки в этом направлении, насколько нам известно, не предпринимались.

Сейчас, однако, ясно, что попытки обнаружить искусственные радиосигналы от звезд были просто наивны. Вероятность существования планетных систем вокруг звезд, которая большинству участников Бюраканского симпозиума представлялась достаточно высокой ($\sim 0,1-0,01$), скорее всего значительно меньше. Нашумевшее открытие американским астрономом ван де Кампом планетной системы вокруг одной из самых близких к Солнцу звезд — знаменитой «летающей звезды Барнарда» оказалось, по всей видимости, чисто инструментальным эффектом, довольно обычным при измерениях, находящихся на пределе точности. Тем самым важнейший аргумент в пользу чрезвычайно большой распространенности планетных систем оказался скомпрометированным.

Другой аргумент, связанный со скачкообразным уменьшением скорости осевого вращения у звезд спектрального класса F, также оказался несостоятельным. Почти наверняка это изменение вызвано потерей вещества с поверхности звезды, на которой имеется значительное количество активных областей (типа тех, которые наблюдаются на поверхности Солнца), а также явлением кратности звезд. Сравнительно недавно, например, выяснилось, что практически все звезды типа нашего Солнца входят в состав двойных (или кратных) систем*). В таких системах, если не рассматривать исключительно маловероятные случаи**), жизнь развиться не может, так как температура поверхностей находящихся там гипотетических планет должна меняться в недопустимо широких пределах. Похоже на то, что наше Солнце, эта странная одиночная звезда, окруженная семьей планет, скорее всего является редким исключением в мире звезд. Тем самым множитель P_1 в формуле Дрейка может уменьшиться в сотню раз.

Чем больше мы проникаем в тайны жизни, тем удивительнее и непонятнее становится основной вопрос: как же возникла жизнь на Земле? До возникновения биологии на молекулярном уровне внимание исследователей, работавших в этой области, концентрировалось на проблеме возникновения на Земле первичных органических соединений (сахаров, аминокислот, нуклеиновых кислот), из которых построено все живое. Теперь это уже не является проблемой — ведь даже в холодных, плотных облаках межзвездной среды методами современной радиоастрономии обнаружены многоатомные молекулярные соединения — например, этиловый и метиловый спирты. Астрономы не будут удивлены, если вот-вот будут открыты еще более сложные соединения, например, сахара и аминокислоты. Тем меньше проблем с наличием «блоков строительных материалов», из которых строится все живое, следует ожидать на первобытной земле. Но сейчас уже все понимают, что наличие таких «блоков» — это одно, а возникновение жизни — это совсем другое!

Истоки возникновения жизни, рассматриваемой как качественный скачок в развитии материи, следует искать на самом примитивном доклеточном уровне. Но *как* произошел этот важнейший скачок, сейчас совершенно не

*) Abt H. and Levy S. // Bull. American Astron. Society.— 1975.— V. 7.— P. 268.

**) См. Шкловский И. С. Вселенная, жизнь, разум.— Изд. 4-е.— М., 1976.

ясно. Можно только полагать, что для такого «чуда» необходимо редчайшее совпадение исключительно благоприятных обстоятельств. Если это так, то априорная (а не «субъективная») вероятность такого события должна быть чрезвычайно мала. Недаром один из основоположников современной молекулярной биологии — Ф. Крик несколько лет назад вообще отказался от попыток понять происхождение жизни на Земле и предпочел ей отнюдь не новый вариант панспермии*). Резюмируя, мы можем сказать, что априорная вероятность возникновения жизни на какой-нибудь подходящей планете в Галактике P_2 может быть сколь угодно малой. Столь же неопределенно малой является вероятность эволюции каким-то образом возникшей на некоей планете жизни в разумную и тем более технологически развитую. Следует, однако, подчеркнуть, что оценка этой вероятности практически ни на чем не основана, а множитель P_3 скорее всего должен быть неопределенно мал.

В итоге, если во времена Бюраканского симпозиума по субъективной оценке большинства экспертов расстояние до ближайших внеземных цивилизаций (существующих *одновременно с нами!*) оценивалось в 100—300 парсек, то сейчас, спустя 10 лет, это расстояние следует считать по крайней мере на порядок большим. Но если это так, то число высокоразвитых цивилизаций в нашей звездной системе вряд ли превышает тысячу, причем оно может быть значительно меньшим.

Подойдем теперь к оценке числа цивилизаций в Галактике с совершенно другой, не астрономической точки зрения. В основу рассмотрения мы положим гуманитарно-футурологический аспект проблемы. Важнейшей особенностью развития разумной жизни является ее тенденция к *неограниченной экспансии* (экспоненциальный рост всех показателей). Уже сейчас мы начинаем осознавать возможность серьезных кризисных ситуаций, с которыми может столкнуться дальнейшее развитие человечества, так как размеры и невозполнимые ресурсы земного шара конечны.

Как же можно представить дальнейшее развитие человечества в такой ситуации? Несомненно, что анархическому развитию производительных сил, бесконтрольному росту народонаселения, уничтожению экологической сре-

*) См.: Crick F. H., Orgell J. E. // Icarus. — 1973. — V. 19. — P. 341; см. также: Химия и жизнь. — 1974. — № 9. — С. 7.

ды и варварскому отношению к природным ресурсам должен быть положен конец. Эта важнейшая задача, стоящая перед человечеством, может быть решена только при полном торжестве на Земле построенного на научной основе коммунистического общества. Само собою разумеется, что все возможное следует попытаться сделать и в наше время, пока наша планета разделена на государства с различным общественным строем. Нас, однако, в этой статье интересуют более далекие перспективы развития человечества. Эти перспективы, конечно, сейчас представляются не такими актуальными, как проблемы сохранения окружающей среды, демографического взрыва и пр. Тем не менее их анализ имеет принципиальное мировоззренческое значение.

Уже сейчас ясно, что количественный экспоненциальный рост производительных сил в перспективе ближайшего столетия может сделать нашу планету непригодной для жизни (перегрев поверхности Земли, разрушение озоносферы, сверхперенаселение, катастрофическое загрязнение воздуха и воды и пр.). По этой причине отдельные авторы на Западе все чаще высказываются за необходимость остановки роста производительных сил и их дальнейшего строгого регулирования (концепция «равновесного состояния» цивилизации)*). Однако можно ли себе представить чисто качественное развитие какой-либо цивилизации (в частности, земной) без количественного роста, т. е. без непрерывной *экспансии*? Думается, что нет. Как можно, например, такой цивилизации запретить *освоение космического пространства* и использование его практически неограниченных материальных и энергетических ресурсов? Как можно запретить постепенный вынос в космическое пространство технологии, вредно действующей на окружающую среду и даже разрушающую ее? Закономерно начатый на определенном этапе развития цивилизации логически неизбежный процесс освоения Космоса должен стать неодолимым, подобно освоению новых земель и Мирового океана в эпоху великих географических открытий.

Мы, конечно, ясно понимаем, что освоение Космоса — это самый сложный противоречивый процесс. Сейчас, например, нельзя определенно ответить на вопрос: спасет ли Космос *нашу* цивилизацию от надвигающейся кризисной ситуации? Дело в том, что все глобальные процессы (рост

*) См., например, книгу Д. Медоуза «Пределы роста».

производства и народонаселения, загрязнение окружающей среды) имеют *инерцию* («задержки»). Время торможения неконтролируемых параметров развития сейчас подходит к тому критическому пределу, когда оно сравнивается со сроками наступления кризисной ситуации. А это означает, что если предоставить «земные дела» самотеку, то времени для *реального* освоения космического пространства скорее всего не хватит. Соответствующие оценки будут сделаны ниже. Отсюда следует основной вывод: чтобы эффективно осваивать Космос, надо «навести порядок в собственном доме», т. е. у нас на Земле. А это есть проблема прежде всего *социальная*.

Существенное развитие идей, касающихся анализа глобальных динамических моделей, было выполнено двумя группами советских авторов *). Прежде всего они математически доказали, что предлагаемое Д. Медоузом с соавторами «глобальное равновесие» отнюдь не может предотвратить кризис, оно только отодвигает его на сотню — другую лет. И вообще модели, рассматривавшиеся американскими авторами, не допускают «нетривиальных» стационарных решений. А «тривиальное» решение, если говорить не на математическом языке, означает *смерть* (точнее, равенство нулю всех параметров глобальной модели как-то: уровня производства, населения, загрязнения среды и пр.). В качестве альтернативы советские авторы выдвинули и рассчитали модель, в которой «коллапс» — катастрофа — устраняется не остановкой роста, а разумным управлением инвестициями капитала. Для этого, однако, существенную их часть (>50%) надо направлять на восстановление ресурсов и на борьбу с загрязнением среды и эрозией обрабатываемой земли. По существу эта модель, допускающая «нетривиальные» стационарные состояния, означает установление на нашей планете режима космического корабля, отправляемого с космонавтами в неопределенно длительный рейс: каждый грамм вещества на учете и все должно регенерироваться.

Заметим кстати, что в последние годы при анализе далеких перспектив развития цивилизации в связи с проблемой множественности обитаемых миров все чаще на Западе раздаются голоса о критических ситуациях такого развития, ведущих к коренным изменениям «strate-

*) См. Геловани В. А. и др. // Доклады Академии наук.— 1975.— Т. 220, № 3.— С. 536; Егоров В. А. // Препринт ИПМ № 65 (1975).

гии». Вместо неограниченной экспансии (сперва в пределах «своей» планеты, а потом в Космосе) может наступить эпоха «потери интереса» и своеобразной «внутренней Полинезии» (некоего неразвивающегося «локального рая»)*). Представляется довольно бессмысленным polemизировать с такими концепциями, тем более, что автор считает для отдельных цивилизаций на некоторых этапах их развития такую ситуацию, вообще говоря, *возможной*. Но ведь дело не в этом! Главным, на наш взгляд, являются два обстоятельства.

Во-первых, никоим образом нельзя считать, что такой путь развития неизбежен для *всех* цивилизаций.

Во-вторых, никак нельзя считать, что «стратегия поведения» цивилизации является неизменной. То, что это так, видно на примере нашей земной цивилизации. До сих пор ее стратегия заключалась в неограниченной экспансии. Предположим, что в будущем она сменится «равновесной» стратегией. Но где, спрашивается, гарантия, что через века опять не восторжествует стратегия неограниченной экспансии?

Мы можем, следовательно, сделать основной вывод, что по крайней мере для некоторой части внеземных цивилизаций — наших «современников» — стратегия неограниченного роста («экспансия») является нормой поведения. А неограниченная экспансия — *это прежде всего* выход в Космос и освоение сперва ближней, а потом и более отдаленной его части. Именно такую ситуацию предвидел еще в начале нашего века К. Э. Циолковский.

Следует обратить внимание на то, что, несмотря на огромные трудности, процесс овладения Космосом происходит очень быстро. Это хорошо видно на примере нашей земной цивилизации. Космическая эра на Земле не насчитывает еще и 25 лет. Однако за это время решено гигантское количество научно-технических задач. Автоматические межпланетные станции много раз побывали в окрестностях всех внутренних планет Солнечной системы. Выведены на орбиты искусственные спутники Марса и Венеры. Начато исследование удаленных внешних планет Солнечной системы — Юпитера и Сатурна. Свершилось то, что еще недавно казалось фантастикой: космонавты побывали на Луне. Наконец, автоматические станции совершили мягкие посадки на поверхности Луны, Венеры

*) См., например: Communication with Extraterrestrial Intelligence.— Cambridge, Mass., 1973.— P. 68.

и Марса. Космос стал работать на человека. Революционные перемены произошли в системах мировой связи и телевидения. Большое развитие получает изучение ресурсов нашей планеты из Космоса. Коренным преобразованиям подверглась международная метеорологическая служба.

Но это только начало. На очереди проекты, неизмеримо более грандиозные. Остановимся в качестве примера на проекте Принстонской группы физиков и инженеров, работающих под руководством О'Нейла*). Эта группа детальнейшим образом, на уровне технического проектирования, разработала план сооружения огромных космических колоний. Первая очередь проекта предусматривает сооружение в области так называемой «либрационной точки» системы Земля — Луна (т. е. одной из двух точек, находящихся на лунной орбите и равноудаленных от центров Земли и Луны) космической станции диаметром 1,5 километра. Вращение этой станции обеспечит на ней искусственную силу тяжести, равную земной. Внутри нее будут выращиваться овощи и фрукты, будет даже развитое животноводство. Там же будут размещены промышленные предприятия. Когда сооружение станции будет закончено, она будет самообеспечивающейся системой. На ней можно будет разместить до 10 тысяч человек персонала, для которых будет создан уровень комфорта более высокий, чем на Земле. Выбор места сооружения (точки либрации) диктуется соображениями небесной механики: любое материальное тело около таких точек может там находиться неопределенно долго, двигаясь вокруг Земли по лунной орбите.

Следует подчеркнуть, что этот проект является первым шагом по пути реализации «эфирных городов», о которых когда-то мечтал К. Э. Циолковский. Однако проект, как уже подчеркивалось, доведен до строгого инженерного расчета, опирающегося *только* на уровень *современной* технологии. В частности, существенным моментом в этом проекте является широкое использование при сооружении станции так называемых «челноков», т. е. космических кораблей многократного использования, что значительно удешевляет космическое строительство. Примечательно, что большую часть строительных материалов для сооружения этой космической колонии «челноки» бу-

*) См. O'Neil G. K. // Nature.— 1974.— V. 250.— P. 636; Physics Today.— 1974.— V. 27.— P. 32.

дут брать в Луны — обстоятельство, которое прозорливо предвидел К. Э. Циолковский.

Стоимость сооружений такой колонии оценивается в 100 миллиардов долларов, срок сооружения — 15—20 лет. Для сравнения укажем, что американский проект «Аполлон», успешно решивший задачу высадки человека на Луне, обошелся почти в 30 миллиардов долларов, а годовой военный бюджет США превышает 100 миллиардов долларов. К этому добавим, что позорная вьетнамская война за 8 лет обошлась американскому народу в 130 миллиардов долларов.

Между тем сооружение описанной выше космической колонии сулит огромные выгоды. Не говоря уже об уникальных возможностях исследований в области фундаментальных наук о природе, результаты которых просто невозможно оценить, такая станция станет существенным источником энергоснабжения Земли. Перехваченная системой зеркал, окружающих космическую станцию, солнечная энергия будет преобразована в микроволновое радиополучение и через посредство специальных рефлекторов передана на Землю. Оказывается, что коэффициент полезного действия такой системы чрезвычайно высок: ~ 70%.

Подсчитано, что мощность передаваемого по такому каналу потока энергии будет превосходить мощность от потока нефти через проектируемый гигантский нефтепровод Аляска — США. При нынешних ценах на топливо ежегодная стоимость этой энергии будет составлять не меньше 10 миллиардов долларов. Это означает, что сооружение окупится меньше, чем через 10 лет!

На базе описанной выше станции, как показывают расчеты, можно будет приступить к строительству значительно более грандиозных сооружений в Космосе. Речь идет об объектах, на каждом из которых можно разместить в комфортабельных условиях 40—50 миллионов человек. Сооружение таких объектов потребует многих десятков лет.

Таким образом, мы являемся свидетелями возникновения новой важнейшей области техники — космической инженерии. Уже сейчас вырисовываются контуры и будущей космической архитектуры — может быть, важнейшего из искусств грядущих столетий.

Пока нельзя сказать, примет ли конгресс США решение приступить к этому грандиозному строительству в ближайшие годы (разумеется, речь может идти только

пока о первой очереди проекта Принстонской группы)*). Известно только, что НАСА внимательно изучает этот проект. Однако безотносительно к решениям о конкретных сроках начала строительства первой космической колонии этот проект имеет, как мы увидим ниже, принципиальное значение для обсуждаемой проблемы, ибо он обосновывает абсолютную реальность выхода не отдельных героев-космонавтов, а человечества за пределы Земли для активной созидательной работы, которая в перспективе позволит избежать надвигающихся кризисных ситуаций. Заметим, что уровень технической проработки этого проекта сейчас неизмеримо выше, чем, скажем, проекта многоступенчатой ракеты Циолковского в начале нашего века. Сочетание этого обстоятельства с очевидной общественной потребностью есть гарантия того, что описанный выше проект начнет реализовываться если не в ближайшие годы, то, во всяком случае, в ближайшие 2—3 десятилетия.

Какие же ресурсы вещества и энергии могут быть использованы нашей земной цивилизацией при ее экспансии в Солнечную систему? Если не говорить о ресурсах, заключенных в веществе Солнца (часть этого вещества в принципе также может быть использована), то в Солнечной системе имеется в планетах по крайней мере 10^{28} г тяжелых элементов. Разумеется, нелегко сейчас представить, как будет перерабатываться вещество ядер больших планет в строительные блоки космической инженерии. Следует, однако, заметить, что принципиальных (т. е. определяемых законами природы) трудностей здесь не предвидится. Заметим, что вещества астероидов (вопреки предположению Циолковского) явно недостаточно для будущего преобразования человечеством Солнечной системы. Суммарная масса всех астероидов не превышает 10^{26} г. Полагая, что для создания комфортабельной искусственной биосферы поверхностная плотность должна быть не меньше, чем несколько десятков килограммов на квадратный сантиметр, можно сделать вывод, что общая поверхность космических колоний, построенных из вещества астероидов, превысит обитаемую поверхность земного шара не больше, чем в 1000 раз. Эта величина, конечно, очень велика, но освоение вещества астероидов

*) Похоже, что не примет. Нынешняя администрация президента Рейгана предпочитает тратить сотни миллиардов долларов на бессмысленные и преступные военные расходы.

будет только первым этапом на пути полного преобразования Солнечной системы.

Если в процессе такого преобразования будут использованы ресурсы вещества больших планет, поверхность искусственной биосферы в Солнечной системе может в сотни тысяч раз превышать поверхность земного шара. Заметим, что при этом будет перехватываться и преобразовываться около 10^{-3} солнечной энергии, т. е. величина порядка $3 \cdot 10^{30}$ эрг/с, что в сотни миллиардов раз больше, чем современное потребление энергии на Земле. В принципе поверхность искусственной биосферы вокруг Солнца может быть в сотни раз больше, если учесть, что ядра легких элементов водорода и гелия (составляющих основную часть массы больших планет и Солнца) могут быть использованы для синтеза тяжелых ядер («строительного материала» биосферы) с выделением огромного количества пригодной для утилизации термоядерной энергии. Таким образом, можно говорить о создании искусственной биосферы вокруг Солнца, поверхность которой будет в сотни миллионов раз превышать поверхность естественной земной биосферы, причем ресурсы энергии будут сравнимы с мощностью солнечного излучения (так называемая «сфера Дайсона», названная по имени американского физика, предложившего аналогичный проект в 1959 г.).

Очень важно теперь оценить *временную шкалу* такого развития, которое, как легко понять, обязательно будет экспоненциальным. Полагая «инкремент» экспоненты (характеризуемый временем удвоения численного значения параметров) 15 лет, что равно характерному времени реализации Принстонского проекта, можно считать, что для сооружения в Космосе колоний с населением 10 миллиардов человек потребуется около 250 лет. Подчеркнем еще раз, что этот срок по крайней мере в два раза превосходит время, отделяющее нас от наступления кризисной ситуации, как его определяют некоторые авторы.

Время освоения всех материальных ресурсов Солнечной системы при таком экспоненциальном росте около 500 лет. Даже если учесть возможные задержки в развитии, связанные с освоением новой технологии и принять очень «медленную» характеристику роста — 1% в год, то все равно характерное время освоения нашей цивилизацией Солнечной системы будет 2500 лет. Такова уж особенность экспоненциального роста!

Сейчас, конечно, нельзя да и не нужно говорить об условиях жизни на такой «супербиосфере». Представляет-

ся, однако, очевидным, что цивилизация такого рода будет качественно отличаться от нашей современной. Важно отметить, что примерно через 1000 лет развития перед такой «цивилизацией II типа» станет, в сущности говоря, та же проблема, что в наши дни стоит перед земной цивилизацией «I типа»*): ограниченность ресурсов конечной системы при экспоненциальном росте параметров ее развития. Преодоление этого противоречия с неизбежностью толкнет цивилизацию II типа с ее огромным технологическим потенциалом на освоение ресурсов сперва ближайших областей Галактики, а потом и всей нашей звездной системы. Наступит процесс «диффузии» цивилизации II типа в Галактику, сопровождаемый преобразованием на разумной основе звезд и особенно межзвездной среды. Впрочем, этот процесс было бы более правильно назвать не «диффузией», а распространением «сильной ударной волны» разума по неживой материи.

Хорошей моделью такого процесса является известное построение Гюйгенса, описывающее распространение сферической световой волны. Каждая точка пространства, до которой дошло возмущение, становится центром вторичных сферических волн. В нашем случае роль такой «точки» играет подходящая звезда, вокруг которой с помощью местных ресурсов прилетевшие колонисты построят искусственную биосферу — сферу Дайсона. Скорость распространения возмущения будет порядка $v = \frac{R}{t_2}$, где $t_2 \sim 1000$ лет — характерное время сооружения сферы Дайсона, а $R \sim 10$ световых лет — среднее расстояние до подходящих звезд (например, звезд спектрального класса G). Отсюда следует, что $v \sim 3000$ км/с, т. е. 1% от скорости света c . В таком случае, учитывая максимальные размеры Галактики (около 100 тысяч световых лет), время колонизации и преобразования всей звездной системы будет всего лишь 10 миллионов лет. Эта величина близка к длительности эволюции человека на Земле и весьма мала по сравнению с наименьшими характерными временами в Галактике. Например, период вращения вокруг галактического ядра Солнца и соседних с ним звезд около 200 миллионов лет, между тем как возраст Галактики превышает 10 миллиардов лет. Заметим, что на этой фа-

*) Мы следуем классификации цивилизаций, предложенной в 1964 г. Н. С. Кардашевым. См. *Астрономический журнал*. — 1964. — Т. 41. — С. 282.

зе развития характеристики цивилизации будет расти со временем t уж не по экспоненциальному закону (чему мешает конечность скорости света), а по степенному закону, сперва как t^3 , а потом и более медленно, как t^2 , — обстоятельство, которое не представляет труда доказать.

Стоит, пожалуй, обратить внимание еще на одну важную особенность такой «сверхцивилизации II типа». Скорее всего, «носителями» разума в ней должны быть искусственные кибернетические устройства огромной сложности. Такие устройства могут быть сколь угодно долговыми, практически «бессмертными» — обстоятельство, весьма благоприятное для сверхдалних космических путешествий. Эра «естественного разума» к этому времени должна рассматриваться как некий давно уже пройденный, промежуточный, весьма несовершенный этап в эволюции материи на пути ее усложнения.

У таких искусственных разумных устройств (а может быть гигантского устройства?) уже нет необходимости функционировать около какой-нибудь подходящей звезды, используя ее свет и тепло. Напротив — вполне возможно, что для их «жизнедеятельности» необходимы сверхнизкие температуры, как это «естественно» ожидать у электронных и полупроводниковых автоматических устройств. В таком случае космические колонии искусственного разума скорее всего будут располагаться в межзвездном пространстве, особенно в холодных газово-пылевых облаках. Тем самым обосновывается ситуация, описанная Хойлом в его фантастическом романе «Черное облако».

Со всей определенностью следует подчеркнуть, что современное развитие естественных наук, а также накопленный за 20 лет космической эры опыт исключают возможность существования естественных причин, которые сделали бы такое развитие *принципиально* невозможным. Описанная выше картина (в частности межзвездные перелеты автоматических станций с «замороженными» естественными или специализированными искусственными разумными существами) не противоречит ни одному из известных законов природы. Напротив, она логически вытекает из них! Это, конечно, не означает, что *любая* цивилизация *должна* развиваться согласно описанной схеме. Однако для некоторой части цивилизаций, возникавших в Галактике в течение миллиардов лет ее эволюции, такое развитие логически должно было происходить. Ибо подобное развитие является альтернативой «устойчивой» цивилизации с неизменной «стратегией поведения».

Еще К. Э. Циолковский в начале нашего века прозорливо подчеркивал неограниченные «космические» возможности разума. Реальная оценка возможностей и перспектив развития современной науки и технологии полностью обосновывает эту идею нашего выдающегося мыслителя, быть может, самую величественную из когда бы то ни было высказывавшихся человеком.

Галактическая цивилизация «III типа» с ее ресурсами вещества порядка 10^{43} г и соответствующими «астрономическими» ресурсами энергии может приступить к планомерному освоению и преобразованию Метагалактики. Здесь мы впервые сталкиваемся с новой ситуацией: характерное время такого освоения должно быть, во всяком случае, *не меньше* возраста Метагалактики, которую мы здесь отождествляем с расширяющейся Вселенной.

Итак, имеются логические основания считать, что по крайней мере некоторая часть цивилизаций в процессе их сперва экспоненциального, а затем степенного развития должна стать фактором космического характера, охватив своей преобразующей деятельностью отдельные планетные системы, галактики и даже Метагалактику. Но в таком случае следовало бы ожидать *наблюдаемые проявления* этой разумной космической деятельности. В свое время (1962 г.) мы такой феномен называли «космическим чудом». Сформулируем теперь два основных эмпирических факта, имеющих решающее значение для обсуждаемой проблемы:

1. Вся совокупность современных астрономических наблюдений, насколько можно сейчас судить, по-видимому, *исключает* существование где бы то ни было во Вселенной «космического чуда».

2. Имеющиеся данные совокупности наук о Земле (включая биологические и гуманитарные) *исключают* возможность посещения или колонизации нашей планеты представителями каких бы то ни было внеземных цивилизаций.

Перейдем теперь к более подробному анализу этих фактов. Само собой разумеется, что всегда найдутся люди и среди них немало ученых (ведь ученые тоже люди...), которые то или иное пока еще не понятое явление в Космосе склонны считать «космическим чудом». Пожалуй, исторически первым примером интерпретации естественного явления природы как «космического чуда» является гипотеза выдающегося английского ученого Холдэйна, согласно которой взрывы «новых» звезд суть ядер-

ные катастрофы, «ставящие точку» над развитием неких цивилизаций в Галактике. Примечательно, что в то время, когда была высказана эта гипотеза (1924 г.), не существовало даже намека на возможность получения ядерной энергии (например, не был еще открыт нейтрон). Развитие астрономии неопровержимо доказало *естественный* характер явления вспышек «новых» звезд. И все же достойна восхищения прозорливость замечательного ученого, с самого начала предвидевшего огромную потенциальную угрозу разбухших разумом сил природы. Другим примером иллюзии «космического чуда» является начальный этап истории открытых в 1967 г. пульсаров.

Приведем еще один пример. Едва ли не самой сложной в современной астрономии является проблема галактических ядер и их удивительной активности. Несмотря на большое количество наблюдательных данных, охватывающих весь диапазон электромагнитных волн от радио- до гамма-области, мы пока еще далеки от понимания этих удивительных объектов. Эта проблема возникла всего два десятилетия назад и является очень трудной, особенно если учесть огромную удаленность галактических ядер и их малые размеры. Автор этой статьи так же, как и некоторые другие специалисты, полагает, что галактические ядра — это гигантские «черные дыры» с массами от тысяч до многих миллиардов солнечных масс, образовавшиеся в центральных частях различных галактик в процессе их эволюции вполне естественным и закономерным образом. Существуют и другие гипотезы, пытающиеся по-другому, но вполне естественным образом, объяснить это явление. Однако при желании можно, хотя, конечно, без всяких на то серьезных оснований, считать, что галактические ядра — это как раз и есть долгожданное «космическое чудо».

Много надежд энтузиасты «космических чудес» возлагали и возлагают на быстро развивающуюся в течение последних лет инфракрасную астрономию. Следует заметить, что для этого имеются серьезные логические основания. В самом деле, цивилизация II типа, построившая вокруг своей центральной звезды искусственную биосферу, неизбежно будет излучать инфракрасную радиацию, соответствующую ее температуре, которая должна быть близка к средней температуре поверхности Земли, т. е. ~300 К. Поэтому такая цивилизация должна наблюдаться астрономами как точечный источник инфракрасного излучения. Если «сфера Дайсона» не замкнута или имеет значительную «скважность» (а это наиболее вероят-

ная ситуация), то с таким источником должна быть связана более или менее сходная с нашим Солнцем звезда.

Хотя в настоящее время обнаружено довольно много инфракрасных источников, все они, несомненно, имеют самое что ни на есть естественное происхождение. Возможно, конечно, предположить, что с увеличением чувствительности инфракрасных приемников количество наблюдаемых источников значительно возрастет и — кто знает — среди них могут быть искусственные. Автор этой статьи, однако, полагает, что из простого факта наличия избыточного инфракрасного излучения у какой-нибудь на первый взгляд более или менее нормальной звезды решительно ничего нельзя сказать о возможном наличии «искусственного» феномена. Окончательным критерием истины в астрономии является практика астрономических наблюдений и прежде всего — возможность на основе правильной теории предсказать новые наблюдательные результаты, подчас совершенно неожиданные. Только такая практика гарантирует нормальное развитие нашей науки и оберегает ее от всякого рода заблуждений, в которые неизбежно впадает далеко не совершенное человеческое мышление. Именно наблюдениями, например, была доказана «естественная» природа пульсаров, оказавшихся намагниченными, быстровращающимися нейтронными звездами. Автор этой статьи не сомневается, что то же самое рано или поздно произойдет и с галактическими ядрами или какими-нибудь другими космическими «квази-чудесами». «Презумпция естественности» любого космического сигнала, предложенная автором этой статьи на Бюраканском симпозиуме, должна выполняться неукоснительно.

Особый интерес представляет возможность обнаружения радиосигналов от технически развитых цивилизаций, скажем, цивилизаций II типа. Ведь многие авторы, как мы уже упоминали в начале этой статьи, и сводят общую проблему внеземных цивилизаций к проблеме радиосвязи с ними (SETI). В свое время мы уже обращали внимание на то, что если, например, такая цивилизация находится в туманности Андромеды (одной из ближайших галактик, во многих отношениях сходной с нашей), то самой естественной стратегией связи для нее было бы «держаться» всю нашу Галактику в радиолуче с явными характеристиками искусственности. В этом случае сигнал *сразу же* посылался бы сотне миллиардов звезд, и можно рассчитывать, что все цивилизации нашей Галактики могли бы его зарегистрировать.

Рассмотрим теперь вариант, когда такая цивилизация находится в пределах нашей Галактики. В таком случае она могла бы оповестить о своем существовании всех галактических «братьев по разуму», создав «искусственный пульсар» — радиомаяк с «ножевой» диаграммой, луч которого вращается по какому-нибудь «неестественному» закону вокруг оси, перпендикулярной к галактической плоскости. Из того факта, что таких «искусственных пульсаров», насколько можно судить, не наблюдается, следует сделать вывод, что их мощность по крайней мере в десятки миллионов раз меньше полной мощности солнечного излучения.

Разумеется, эти аргументы не являются строгим доказательством отсутствия «сверхцивилизаций». Ведь последние могут использовать для межзвездной связи и меньшие мощности или вообще придерживаться другой стратегии поисков цивилизаций и установления контактов с ними. Все же наши расчеты должны насторожить энтузиастов-прагматиков. Резюмируя, мы должны сказать, что эмпирический факт отсутствия «космических чудес» говорит об *отсутствии* в нашей Галактике и соседних звездных системах каких бы то ни было сверхцивилизаций, «космическая активность» которых была бы неизбежно нами замечена. Поиски в этом направлении должны продолжаться.

За последние годы не было недостатка в разного рода спекулятивных гипотезах о посещении Земли инопланетянами как в прошлом, так и в настоящее время («летающие тарелочки»). Никаких научных оснований эти гипотезы, однако, не имеют. Следует еще подчеркнуть, что если бы Земля оказалась за фронтом распространяющейся по Галактике «ударной волны» разума, она должна была бы быть им радикально преобразованной. Если на первых порах инопланетяне ограничивались бы только спорадическими посещениями, то длительный процесс преобразования материи, которое производила бы за фронтом волны развивающаяся цивилизация, не мог бы не коснуться, и притом самым серьезным образом, нашей планеты. На это обстоятельство указал недавно американский исследователь Харт.

Конечно, могут найтись также «радикально мыслящие» умы, которые само возникновение жизни на Земле и как итог ее эволюции — появление разумной жизни на ней попытаются объяснить сознательным вмешательством внеземных разумных факторов. Развивая подобные

«идея» дальше, нетрудно вообще «объяснить» всю наблюдаемую картину мира действием «сверхразумного» космического фактора. Конкретным научным возражением против такой чисто религиозной концепции является хотя бы вся 3-миллиарднолетняя история эволюции жизни на Земле, обусловленная имманентными причинами, которые познаны наукой (дарвиновский естественный отбор и мутации). Как и раньше, религиозные представления в наши дни вступают в непримиримое противоречие с наукой.

Таким образом, анализ приведенных фактов с большой вероятностью исключает возможность существования сверхцивилизаций не только в нашей Галактике, но и во всей местной системе галактик (в частности, в туманности Андромеды). Так как некоторая часть более примитивных цивилизаций земного типа, преодолев многочисленные кризисные ситуации, должна стать на путь неограниченной экспансии, то мы с логической неизбежностью должны сделать вывод, что число цивилизаций «земного» типа в местной системе либо незначительно, либо скорее всего равно нулю. Более определенный ответ можно было бы дать, если бы было известно, какая часть примитивных цивилизаций, преодолев «трудности роста», становится на путь неограниченной космической экспансии. Хотя пока никакой количественной оценки сделать нельзя, вряд ли эта часть должна быть очень маленькой величиной. Противоположное утверждение означало бы либо признание фатальной неизбежности гибели почти каждой цивилизации на своей планете еще до выхода ее в Космос, либо принятие *всеми* цивилизациями «равновесной» стратегии «золотого века» с полной потерей интереса к Космосу. Но последняя возможность практически эквивалентна нашему одиночеству в Космосе. Точнее, разум во Вселенной представлял бы собой как бы «многосвязное многообразие», т. е. был бы совокупностью отдельных, изолированных очагов.

Серьезным возражением против развитых выше соображений о большой вероятности нашего одиночества в значительной части Вселенной является, возможно, недопустимая экстраполяция наших современных представлений о цивилизации, науке, технологии, стратегии и пр. на такие неизмеримо более сложные системы, какими являются сверхцивилизации. Насколько опасны такие экстраполяции, можно проиллюстрировать на следующем любопытном примере. Один из величайших физиков XVII в., Гюйгенс, как сын (хотя и передовой) своего века, верил

в астрологию. Комбинируя астрономический факт наличия у Юпитера четырех (галилеевых) спутников (лун) и астрологический предрассудок, что Луна является покровительницей моряков, великий голландский физик пришел к «выводу», что поверхность Юпитера должна быть засеяна... коноплей, из которой делается пенька, столь необходимая для тогдашней технологии парусного флота.

Существует, однако, принципиальная разница между временами Гюйгенса и концом XX века. Тогда наука, познание окружающего мира только начинали свой триумфальный путь. Ныне фундаментальные законы природы, регулирующие поведение материи на «микроскопическом», атомарном и в значительной степени ядерном уровнях, представляются достаточно хорошо известными. В этой связи не лишено интереса заметить, что познание фундаментальных законов природы отнюдь не следует экспоненциальному закону. Экспоненциально же растут «только» параметры практической деятельности цивилизации и сложность изучаемых и осваиваемых ею систем.

XIX век дал науке никак не меньше, чем наш XX век. И, конечно, каждый серьезный физик знает, что первая треть XX века изобиловала значительно большим числом фундаментальных открытий, чем последующие сорок лет. Мы полагаем, что это отнюдь не случайность, а выражение познаваемости конечного числа объективно существующих фундаментальных законов природы.

Познаваемая нами картина объективно существующей, подчиняющейся своим закономерностям Вселенной исключает наличие в ней некоторой разумной деятельности космического масштаба. Ибо не может разум так преобразовать космические объекты, чтобы его деятельность «не была видна» нам. Существенно, что уровень техники современной наблюдательной астрономии вполне достаточен для обнаружения такой деятельности.

Итак, как нам представляется, вывод о том, что мы одиноки, если не во всей Вселенной, то, во всяком случае, в нашей Галактике или даже в местной системе галактик, в настоящее время обосновывается *не хуже*, а значительно *лучше*, чем традиционная концепция множественности обитаемых миров. Мы полагаем, что этот вывод (или даже возможность такого вывода!) имеет исключительно большое значение для философии. Кстати заметим, что даже по распространенным сейчас «оптимистическим» представлениям, согласно которым ближайшие внеземные цивилизации удалены от нас на 200—300 парсек, мы долж-

пы считать себя *практически* одинокими. Ибо в области Галактики с радиусом в 300 парсек находится около 10 миллионов звезд, что наглядно демонстрирует редкость феномена разумной жизни во Вселенной.

Нам представляется, что вывод о нашем одиночестве во Вселенной (если не абсолютном, то *практическом*) имеет большое морально-этическое значение для человечества. Неизмеримо вырастает ценность наших технологических и особенно гуманистических достижений. Знание того, что мы есть как бы «авангард» материи если не во всей, то в огромной части Вселенной, должно быть могучим стимулом для творческой деятельности каждого индивидуума и всего человечества. В огромной степени вырастает ответственность человечества перед исключительностью стоящих перед ним задач. Предельно ясной становится недопустимость атакистических социальных институтов, бессмысленных и варварских войн, самоубийственного разрушения окружающей среды.

Твердое сознание того, что никто нам не будет давать «ценных указаний» как овладевать Космосом и какой стратегии должна придерживаться наша уникальная цивилизация, должно воспитывать чувство ответственности за поступки отдельных личностей и всего человечества. Выбор должны делать только мы сами. Не подлежит сомнению, что диалектический возврат к весьма своеобразному варианту геоцентрической (вернее, антропоцентрической) концепции по-новому ставит старую проблему о месте человека во Вселенной.

ВТОРАЯ РЕВОЛЮЦИЯ В АСТРОНОМИИ ПОДХОДИТ К КОНЦУ

1. Две революции в астрономии и их последствия

Древнейшая из наук — астрономия — за тысячелетия своего существования знала как длительные, более или менее «спокойные» эпохи своего развития, так и сравнительно короткие, бурные периоды, сопровождающиеся коренной ломкой устоявшихся представлений. После таких потрясений наша наука поднималась на качественно новую ступень, и перед ней открывались богатые возможности познания мира, в котором мы живем. Если рассматривать весь процесс развития этой науки, то можно говорить о двух таких бурных периодах, а точнее — *революциях*. Первая революция в астрономии датируется серединой XVI — началом XVII вв. Она связана с великими именами Коперника и Галилея. Эта революция перерывно связана с Возрождением и эпохой Великих Открытий. Она привела (правда, не сразу!) к крушению схоластического геоцентрического мировоззрения и установлению гелиоцентрической системы, что имело огромное значение для человечества.

Первые телескопические наблюдения Галилея наглядно доказали, что небесные тела состоят из той же материальной субстанции, что и земные. Изобретение телескопа — важнейший результат первой революции в астрономии, определивший ее лицо на последующие столетия.

Преодолев пути геоцентрического мировоззрения, астрономия получила мощный импульс для своего дальнейшего прогресса. Последующие три столетия ознаменовались рядом выдающихся открытий и достижений. Перечислим наиболее важные из них: 1) создание механики, в частности, небесной механики (Ньютон); 2) развитие звездной астрономии (Гершель), в частности, первое определение тригонометрического параллакса звезд (Бессель, Струве), положившее начало длительному процессу познания масштабов Вселенной, процессу, не окончившемуся и в наше время; 3) открытие спектрального анализа (Кирхгоф), положившее начало астрофизике; 4) открытие межзвездной среды (Гартман); 5) открытие Метагалактики (выяснение природы спиральных туманностей — Лундмарк, Хаббл); 6) построение феноменологической теории внутреннего строения звезд (Эддингтон) и свечения газовых туманностей (Занстра, Росселанд) как на-

чало бурного развития теоретической астрофизики; 7) открытие вращения Галактики (Оорт); 8) открытие межзвездного поглощения света (Трюмплер); 9) открытие закона красного смещения галактик (Хаббл), подтверждающего концепцию расширяющейся Вселенной (Фридман); 10) конкретизация природы ядерных источников энергии излучения звезд (Бете).

Разумеется, мы перечислили далеко не все фундаментальные открытия в астрономии Нового времени, но и неречисленные достижения дают представление о колоссальном прогрессе в исследовании Вселенной за последние 2,5—3 века.

Тем не менее состояние астрономии перед началом второй мировой войны (после которой и началась вторая революция в астрономии) никак нельзя было считать удовлетворительным. Прежде всего следует обратить внимание на коренной недостаток астрономии того времени: несмотря на отдельные исключения, она была *статична*. Астрономы как бы исследовали застывшую, неразвивающуюся картину Вселенной. Космические объекты разных типов нельзя было связать генетически. Даже основа звездной астрономии — знаменитая диаграмма Герцшпрунга — Рассела интерпретировалась неправильно. Например, еще в начале пятидесятих годов не прекращались попытки построения теории эволюции звезд вдоль главной последовательности этой диаграммы, между тем как эволюция, как выяснилось вскоре, происходит «поперек» этой диаграммы. Классическая теория внутреннего строения звезд была только первым приближением к действительности. Только привлечение представлений о необратимом расходе ядерной энергии позволило построить теорию эволюции звезд. В тридцатых годах была разработана ставшая классической теория свечения планетарных туманностей, но полностью открытым оставался важнейший вопрос: откуда берутся эти эфемерные объекты и во что они превращаются? В совершенно неудовлетворительном состоянии находилась важнейшая проблема перманентно продолжающегося в Галактике процесса образования звезд. То, что такой процесс имеет место, стало очевидно сразу же после выяснения ядерной природы источников звездной энергии, когда поняли, что массивные звезды высокой светимости не могут существовать больше ~ 10 миллионов лет, что приблизительно в тысячу раз меньше возраста Галактики. Следовательно, они должны непрерывно «возобновляться», т. е. проще говоря, рождаться.

Но как и в каких местах? Теоретические основы этого процесса были заложены еще Джиנסом в его теории гравитационной неустойчивости. Однако никакими наблюдательными данными астрономия тогда не располагала: слишком примитивны и совершенно неудовлетворительны были наши сведения о физике межзвездной среды. При такой ситуации пыльным цветом расцветали всякого рода псевдонаучные «теории» звездообразования, в частности, и в нашей стране, где они развивались параллельно с пресловутыми «концепциями» Лысенко, Бошняка и пр., оказавшись, впрочем, значительно более живучими.

Пожалуй, хуже всего было положение в метagalактической астрономии, которая, по существу, только начинала свое триумфальное развитие. Прежде всего, как это выяснилось впоследствии, уже в 50-х годах сама система расстояний до галактик оказалась заниженной в 5—10 раз, что, конечно, сильнее всего искажало наши представления о Большой Вселенной. Но главная беда была не в этом. Благодаря несовершенству и ограниченности тогдашней техники астрономических исследований (напомним, что ни радио-, ни рентгеновской астрономии тогда еще не было) астрономы не могли проникнуть в глубины Метагалактики достаточно далеко. Например, наибольшая величина красного смещения соответствовала скорости удаления галактик, не превышающей 10 000 км/с. Поэтому сравнительно малая часть доступной наблюдениям Вселенной по характеру наполняющих ее объектов практически ничем не отличается от ближайших окрестностей нашей Галактики. Другими словами, при таких малых красных смещениях никаких сколько-нибудь значительных эволюционных эффектов обнаружить *нельзя*. Не случайно поэтому на Западе в предвоенные (и первые послевоенные) годы широкое распространение получила концепция известного английского астрофизика Хойла о *стационарной*, неэволюционирующей, всегда, в среднем, остающейся равной самой себе Вселенной. Стационарности Вселенной Хойл достигал ценою весьма парадоксальной гипотезы о непрерывном *рождении вещества* (из пустоты!) во Вселенной. Любопытно, что имевшиеся тогда наблюдательные данные не находились в противоречии с этой странной идеей (так же, как и с идеей о меняющейся, эволюционирующей Вселенной). Но это просто означало, что уровень наблюдательной астрономии того времени не позволял даже подойти к решению основной проблемы космологии.

Такое положение в предвоенной астрономии было связано с тем, что методика астрономических исследований за предшествующие десятилетия практически оставалась неизменной, что естественно объясняется общим уровнем техники того времени. В течение всего рассматриваемого периода, например, практически единственным приемником излучения от космических объектов была фотографическая пластинка, часто использовавшаяся в комбинации со спектрографом. Астрономы, правда, виртуозно владели этой несовершенной техникой, но все же ее возможности были ограничены. В те предвоенные десятилетия единственным большим телескопом был 100-дюймовый рефлектор, установленный на обсерватории Маунт Вилсон еще в 1919 г. 200-дюймовый рефлектор обсерватории Маунт Паломар был введен в строй только после второй мировой войны, и он уже функционировал в эпоху второй революции в астрономии.

Но главным недостатком довоенной техники астрономических исследований была их спектральная ограниченность. Астрономы в своих исследованиях использовали только видимый свет. В этом отношении эта методика осталась неизменной с античных времен. Потребовалось наступление научно-технической революции, чтобы положение коренным образом изменилось. Это случилось уже в эпоху второй революции в астрономии. Резюмируя, следует сказать, что накануне второй революции в астрономии Вселенная представлялась довольно *статичной*, и, если можно так выразиться, «серой», т. е. не «полихромной», так как вся она наблюдалась в одной, сравнительно узкой спектральной полосе.

Сразу же после войны ситуация в астрономии радикально изменилась. Начался бурный период в ее развитии, который мы и называем «второй революцией». Этот период неразрывно связан с научно-технической революцией (НТР), начавшейся примерно в то же время. С другой стороны, НТР была подготовлена всем предыдущим развитием естествознания и, прежде всего, — физики, являющейся фундаментом современной техники. Основные успехи НТР связаны с выдающимися достижениями радиоэлектроники, кибернетики и космонавтики. Именно использование этих наук обеспечило наиболее впечатляющие достижения НТР.

Вторжение новых методов исследований буквально преобразовало лицо древней науки о небе. Эти методы исследований сразу же дали выдающейся важности впе-

чатляющие результаты, выдвинувшие астрономию в авангард естествознания, чего раньше заведомо не было. Астрономия стала *престижной* наукой. Наметился любопытный процесс «диффузии» физиков в астрономию, где их ожидало гораздо более широкое и перспективное поле деятельности, чем в более для них привычной старой области знаний. Не так ли в эпоху великих открытий люди, далекие от мореплавания и космографии, выбирали это новое для них поприще и добивались серьезных результатов?

«Вторжение» физиков и физических методов исследования оказалось весьма плодотворным для астрономии. Из многочисленных физиков, весьма успешно работающих в различных областях астрономии, укажем на одного из изобретателей лазеров — Таунса, а в нашей стране — академиков В. Л. Гinzбурга, Я. Б. Зельдовича и их многочисленных учеников. Еще более плодотворным оказалось внедрение в астрономию методов современной теоретической и экспериментальной физики (физика плазмы, физика твердого тела, общая теория относительности и пр.).

Столь же плодотворным оказалось внедрение в астрономию методов современной вычислительной техники. Только на основе широкого использования ЭВМ оказалось возможным, например, рассчитать огромное количество моделей — основы построения теории эволюции звезд.

Поразительные успехи были достигнуты в математическом стимулировании эволюции звездных систем, основывающемся на численном анализе взаимодействия сотен тысяч точек по закону Ньютона. Наконец, широкое внедрение автоматки и электроники коренным образом улучшило работу астрономических телескопов и сделало возможным их безотказное функционирование на космических платформах.

Что же произошло с астрономией в процессе второй революции? Главным ее итогом является становление астрономии *всеволновой*. Без всяких преувеличений можно сказать, что по своей значимости этот этап истории нашей науки можно сравнить с заменой геоцентрической системы теллоцентрической. Тысячелетия единственным спектральным «окном» во Вселенную, через которое человечество получало информацию о Космосе, была узкая (меньше одной октавы) полоска видимого света. Сейчас уже можно сказать, что в итоге второй

революции *нет такой длины волны*, которая бы в большей или меньшей степени не использовалась в астрономии и притом *самым прямым образом*, т. е. путем непосредственных наблюдений на этой волне.

Первый прорыв в Космос в отличном от оптического диапазона частот произошел в *радиодиапазоне*. Хотя это было сделано американским инженером Янским еще в 1932 г. (и совершенно не оценено астрономами той эпохи, чего нельзя было сказать о репортерах-газетчиках), подлинный расцвет радиоастрономии начался после войны. Прогресс в этой области был совершенно поразительным. Современные радиотелескопы по своим характеристикам (чувствительность по потоку, угловое разрешение, спектральное разрешение) значительно превосходят крупнейшие оптические телескопы. За четверть века, например, благодаря выдающимся успехам межконтинентальной интерферометрии угловая разрешающая способность радиотелескопов увеличилась в сотни миллионов раз. Благодаря сооружению гигантских радиотелескопов и применению современных приемников чувствительность по потоку увеличилась в сотни тысяч раз. Сейчас радиоастрономия наряду с оптической является основой астрономии. Спецификой радиоастрономии является исключительная способность регистрировать и исследовать нестационарные процессы, сопровождающиеся бурным выделением энергии. Сюда относятся активность ядер галактик, вспышки сверхновых звезд, вспышечная активность красных карликовых звезд и пр. Едва ли не наиболее впечатляющим достижением радиоастрономии являются прямые наблюдения имеющего огромное значение процесса звездообразования. Сюда относятся исследования разного типа космических мазеров — атрибутов процесса звездообразования, а также компактных ионизованных туманностей, окружающих вновь образовавшиеся массивные горячие звезды. К этим исследованиям примыкает тщательный анализ физических условий и химического, а также изотопного состава очень плотных, холодных молекулярных облаков, из которых по причине гравитационной неустойчивости буквально на наших глазах конденсируются протозвезды. Исследования по звездной космогонии ведутся в тесной кооперации с *инфракрасной* астрономией и почти совершенно не сопровождаются наблюдениями в оптическом диапазоне (из-за огромной величины поглощения света в сильно запыленных, молекулярных облаках).

Именно поэтому довоенная чисто оптическая астрономия решительно не могла иметь какие-либо серьезные (т. е. основанные на наблюдениях) результаты в области фундаментальной проблемы звездообразования.

Но особенно поразительны достижения радиоастрономии при исследовании максимально удаленных метagalактических объектов. Квазары — галактические ядра с гипертрофированно высокой активностью — были открыты благодаря радиоастрономии. Совершенно исключительным по значению было открытие в 1965 г. так называемого «реликтового» излучения — остатка бывшего состояния Вселенной. Это излучение, заполняющее всю Вселенную и имеющее спектр, соответствующий формуле Планка при температуре 2,7 К, дает нам достоверную информацию о далеком прошлом Вселенной, когда ее размеры были приблизительно в тысячу раз меньше нынешних, а возраст — в десятки тысяч раз меньше. Наконец, стоит упомянуть еще об одном открытии фундаментальной важности — пульсаров, оказавшихся давно ожидаемыми нейтронными звездами.

Детисцем ИТР является и *рентгеновская астрономия*, целиком обусловленная развитием ракетной техники и космонавтики и связанных с ними электроники и автоматики. Успехи рентгеновской астрономии не менее впечатляющи, чем радиоастрономии. Упомянем только открытие рентгеновских источников — нейтронных звезд в тесных двойных системах, излучающих в рентгеновском диапазоне в сотни тысяч раз мощнее, чем Солнце. Обнаружено также мощное рентгеновское излучение некоторых галактических ядер — важное свидетельство их высокой активности. Особое значение имеет открытие межгалактического газа внутри скоплений галактик, оказавшегося чрезвычайно горячей (температура около 10^8 кельвинов!) плазмой.

Успехи рентгеновской астрономии открыли новую возможность исследования вещества Вселенной в экстремальных условиях, до недавнего времени полностью ускользавших от внимания астрономов.

В наиболее жестком спектральном гамма-диапазоне также были сделаны важные открытия, которые только начинают осмысливаться. Пока еще загадочные источники мощнейших гамма-импульсов скорее всего связаны с пульсарами. Открыто общее гамма-излучение Галактики, неразрывно связанное с заполняющими ее космиче-

скими лучами. Найдены также и дискретные гамма-источники.

Не обошла своим вниманием НТР и классическую оптическую астрономию. Вместо фотографических эмульсий астрономы все чаще используют значительно более эффективные светоприемники — электронно-оптические преобразователи и телевизионные системы. Это существенно улучшило мощность оптических телескопов, на которых сейчас получают высококачественные спектрограммы от слабейших объектов 20-й величины, между тем как до второй революции в астрономии спектрограммы получались только от объектов, в тысячи раз более ярких. Благодаря замечательному прогрессу автоматизации и, в частности, лазерной техники, сама конструкция телескопов подверглась радикальным изменениям. То, что вчера еще казалось фантастикой, пахотящейся за пределами технических возможностей, сегодня реализуется «в металле»... Например, разрабатываются многоэлементные оптические телескопы, обещающие существенное расширение возможностей астрономии. Наконец, в ближайшие несколько лет в космосе начнут работать большие (диаметр зеркала 2—3 м) орбитальные телескопы, поднимающие качество оптических астрономических наблюдений на новую ступень.

Итак, буквально *весь* диапазон электромагнитных волн сейчас перекрыт астрономическими телескопами и их аналогами, что и обосновывает вывод о *всеволновом* характере современной астрономии. Но исследования Вселенной сейчас уже не ограничиваются использованием различных участков спектра *электромагнитных* волн. Астрономы (вернее, физики, занимающиеся астрономией) сейчас приступают к исследованию других полей и корпускул, отличных от фотонов. Собственно говоря, этот процесс начался уже довольно давно при исследовании первичных космических лучей, а также корпускул солнечного ветра. Но только в наше время приступили к исследованию космических *нейтрино*, уже давшему важные научные результаты. На очереди стоит труднейшая проблема обнаружения гравитационных волн, ожидаемых от ряда интереснейших объектов (например, вспышек сверхновых звезд или тесных двойных звездных систем).

Техническое перевооружение астрономии — отнюдь не дешевое предприятие. Стоимость современного большого оптического или радиотелескопа со всеми необходи-

мыми для работы аксессуарамп исчисляется многими десятками миллионов долларов, а если эксперименты с телескопами ставятся на специализированных спутниках, то следует прибавить сюда еще стоимость космической техники, которая, как понятно всем, очень высока. Тем не менее, государства идут на такие расходы так же, как и на еще более значительные расходы в физике, связанные со строительством сверхмощных ускорителей или установок для изучения управляемого термоядерного синтеза.

Времена «дешевой науки» безвозвратно прошли, а ожидаемый в перспективе экономический эффект от фундаментальных исследований окупит эти огромные расходы.

2. Картина Вселенной после второй революции в астрономии

В результате второй революции в астрономии человечество впервые получило четкую картину структуры и истории развития Вселенной и образующих ее объектов, которой раньше не было. Аналогией здесь может служить тысячелетия длившийся процесс всестороннего исследования человечеством ареала его обитания — Земли. Даже после эпохи великих открытий многое в географии было не ясно. Автор этой статьи с большим любопытством читал интереснейшую книгу «География или изучение земного круга, нами обитаемого», написанную в середине XVIII в. «славным академиком Крафтом» и изданную в Петербурге в 1762 г. Это довольно прогрессивное для своего времени сочинение содержит еще немало трогательных ошибок и заблуждений. Например, высочайшей вершиной Земли назван ... пик Teneriff, что на Канарских островах! Только к середине XIX в. исчезли многочисленные белые пятна на картах центральных областей Африки и Азии. Новые география как целое представляет собой вполне «завершенную науку», а предметом изучения стала детализация ее давно намеченных разделов (климатологии, океанографии, гляциологии и пр.). Разумеется, каждая из этих наук вполне почтенна и, конечно, неисчерпаема. Но «Новых Америк» открывать, увы, уже не придется и утверждение, что Эверест (а отнюдь не пик Teneriff!) является в *современную* геологическую эпоху высочайшей вершиной Земли, вряд ли будет поколеблено.

При изучении Вселенной мы, применяя «географическую» аналогию, конечно, далеки еще от ситуации «середины XIX века», но рубеж эпохи великих открытий перешагнули. И, фигурально выражаясь, путать Эверест с Тенерифом сейчас уже не станем. В том, что астрономия достигла уровня, делающего, в первом приближении, эту науку если не «законченной» (вроде сегодняшней географии), то по меньшей мере, вполне обозримой, есть одновременно и величайшая заслуга и итог переживаемой ею второй революции.

Как же выглядит ставшая теперь уже обозримой Вселенная? Подчеркнем, что вопрос этот мы ставим не с точки зрения общефилософской или с позиций абстрактно-теоретических спекуляций (вроде гипотезы Канта о происхождении Солнечной системы или гипотезы Леметра о взрыве первичного сверхплотного и ничтожно малого «отца-атома» — мы парочно выбрали две гипотезы, в основном оказавшиеся верными, но в свое время решительно не подтвержденные астрономическими *наблюдениями*), а с точки зрения реальной астрономической практики. Вопрос в «детской» (т. е. в самой глубокой) постановке можно сформулировать так: как устроена и как развивается Вселенная «на самом деле».

Ответить на этот основной вопрос можно в два этапа. Приступая к первому этапу, выберем достаточно «представительный» объем Вселенной в том смысле, что по характеру населяющих его объектов он был бы вполне *типичным*. Прежде всего, этот объем должен быть *достаточно большим*, так, чтобы в него входило, по крайней мере, несколько самых крупных структурных единиц вещества во Вселенной. Такими единицами, как сейчас выяснилось, являются скопления галактик *). Так как размеры таких скоплений порядка нескольких мегапарсек, то, полагая наш объем кубом с ребром около 50 мегапарсек, мы не допустим сколько-нибудь значительной ошибки. В этом объеме будет находиться несколько десятков скоплений галактик, каждое состоит из нескольких сотен галактик, в свою очередь, состоящих из миллиардов звезд. Всего в нашем объеме будет $\sim 10^{18}$ г вещества, которое сосредоточено преимущественно в $\sim 10^{15}$ звездах. Здесь уместно подчеркнуть, что в современную эпоху (охваты-

*) Некоторые исследователи полагают, что имеются структурные единицы более высокого порядка. Здесь это для нас несущественно.

вающую большую часть истории Вселенной) львиная доля вещества (если не считать весьма горячей разреженной межгалактической плазмы в скоплениях галактик) сосредоточена в *звездах*. В этом смысле мы можем утверждать, что звезды есть основные, «главные» объекты Вселенной. Заметим, что на самом раннем этапе истории развития Вселенной это было совсем не так (см. ниже). Поэтому астрономия не может считать себя сколько-нибудь «законченной», «устоявшейся» наукой, если не понять физические процессы в звездах, в конечном итоге делающие мир так удивительно разнообразным.

Величайшим достижением второй революции в астрономии было объяснение всех типов эволюции звезд, основывающееся и подтверждающееся реальными наблюдениями. Выше мы уже упоминали, что старая эдингтоновская модель звезды давала как бы застывшую картину равновесия моделирующего звезду газового шара под действием противоположно направленных сил — перепада внутреннего давления и гравитации. Понимание эволюции звезд должно включать в себя три основных этапа. Прежде всего их образование из газовой-пылевой среды в холодных, сравнительно плотных облаках межзвездной среды в результате гравитационной неустойчивости. На этом этапе в последние годы, главным образом благодаря достижениям радиоастрономии, были получены важнейшие результаты, о чем уже упоминалось в разделе 1. В итоге этих исследований классическая гипотеза об образовании звезд из межзвездной среды (а не из какого-либо другого более или менее фантастического агента) стала надежно установленной, т. е. опирающейся на наблюдения.

Второй, самый длительный этап эволюции имеет место при спокойном «горении» ядерного водородного горючего. В течение этого этапа звезда почти не сдвигается с главной последовательности, занимая на ней место, соответствующее своей массе. Длительность этого этапа тем дольше, чем меньше эта масса. После того как звезда исчерпает существенную часть своего ядерного горючего, темп ее эволюции значительно ускоряется. Прежде всего она начинает разбухать, превращаясь в красного гиганта. Объяснение звезд-гигантов как закономерного этапа эволюции звезд главной последовательности является большим достижением астрономии. Уместно напомнить, что первым высказал эту идею выдающийся эстонский астроном Эппк. В настоящее время эта картина эволюции «поперек» главной последовательности подтверждена ги-

гаптским количеством наблюдений цветов и видимых величин звезд в звездных скоплениях, в каждом из которых возраст всех звезд практически одинаков, между тем как возрасты различных скоплений могут отличаться в сотни раз. Этот пример показывает, что так называемая «рутинная» работа многих астрономических обсерваторий в конце концов дала результат большой научной значимости.

Особое значение имеет выяснение природы известных со времен Гершеля планетарных туманностей. Как оказалось, они возникают из отделившихся наружных оболочек красных гигантов, в то время как ядра этих звезд одновременно довольно быстро (по космическим масштабам) превращаются в белые карлики. Эти удивительные, очень плотные (в миллионы раз плотнее воды) маленькие звезды уже давно были известны астрономам. Но только в последние 20 лет было понято, что они «вызревают» внутри «нормальных» звезд в процессе их эволюции. Тем самым была прослежена от рождения до смерти судьба 99% всех звезд.

Но приблизительно 1% звезд со сравнительно большой массой «умирает» не путем превращения в лишённые источников ядерной энергии и поэтому практически переставшие эволюционировать постепенно остывающие белые карлики, а гораздо более драматически. Они взрываются, увеличивая на короткий срок (около недели) свою светимость в миллиарды раз. Это — важнейшее для астрономии явление вспышек сверхновых звезд. После такой вспышки остается, как правило, удивительный объект с радиусом ~ 10 км и средней плотностью $\sim 10^{15}$ г/см³, т. е. порядка ядерной. Такие объекты с совершенно необычными свойствами в радио- и рентгеновской астрономии наблюдаются как пульсары. Еще более поразителен финал достаточно массивных звезд, могущих превращаться в черные дыры, природа которых может быть понята только на основе общей теории относительности. Все эти удивительные объекты — продукты конечных стадий эволюции звезд — могли быть обнаружены только в результате второй революции в астрономии.

Существенно, что значительная (если не большая) часть всех звезд входит в состав кратных (т. е. двойных, тройных и т. д.) систем. Оказывается, что эволюция звезды в кратной системе (особенно тесной) протекает весьма своеобразно, совсем не так, как у одиночных звезд. Решающее значение имеет перетекание вещества от одного компонента к другому. В ходе такой эволюции возника-

ют в высшей степени своеобразные (пекулярные, как говорят астрономы) объекты, например, повторно вспыхивающие очень горячие карликовые звезды (они давно уже называются «повыми»), а также «рептеговские» звезды, представляющие собой нейтронные звезды в двойных системах. Познание природы этих «звездных спамских близнецов» — одно из крупных достижений второй революции в астрономии.

Между тем, хотя сравнительно массивные (масса больше, чем $\sim 1,5$ солнечной) звезды довольно быстро эволюционируют, общая картина Галактики и происходящих в ней процессов остается практически неизменной в течение ряда миллиардов лет. Это напоминает некоторую сложную экологическую систему (например, лес), которая может находиться в практически неизменном виде, хотя время жизни составляющих ее частей существенно короче. Галактика (для сравнительно массивных звезд и туманностей) находится в состоянии динамического равновесия: звезды рождаются, живут и умирают непрерывно. Но постепенно в галактиках накапливается необратимый элемент, выпадающий из кругооборота: межзвездный газ $\rightarrow$ звезды $\rightarrow$ межзвездный газ. Речь идет о постепенном накоплении таких «мертвых» объектов, как белые карлики, нейтронные звезды и черные дыры. Кроме того, следует иметь в виду, что перманентно образующиеся в галактиках звезды малой массы (красные карлики с массой меньше солнечной) эволюционируют очень медленно, за время, большее, чем время существования Вселенной. Это также приводит к постепенному накоплению карликов. Однако заметные изменения в структуре и свойствах галактик, обусловленные этой причиной, могут произойти только через несколько миллиардов лет.

Столь же хорошо и надежно исследовалась общая динамика галактик, понимаемая как исследование поведения системы из огромного числа материальных точек, взаимодействующих по закону Ньютона. В частности, после многих усилий удалось понять спиральную структуру галактик на основе представлений о волнах плотности звезд.

Резюмируя, следует сказать, что в итоге второй революции природа окружающего нас мира звезд стала, в основном, ясной. Каждый тип звезд получил свою «экологическую нишу», а в тех случаях, когда между разными типами звезд существует генетическая связь, оказался возможным и количественный расчет соответствующих популяций. Например, число планетарных туманностей

в Галактике задается скоростью звездообразования и временем, в течение которого эти туманности рассеиваются в межзвездной среде. Близки к полному пониманию процессы, приводящие к важному явлению взрыва звезд и его многочисленным последствиям: синтез тяжелых ядер, образование космических лучей и даже влияние таких взрывов на звездообразование.

Стала, в основном, ясной и природа метagalактических объектов. Прежде всего, огромных трудов потребовала разработка методов определения расстояний до галактик. В настоящее время эти расстояния известны довольно надежно, хотя и не с той точностью, которую хотелось бы иметь (эта точность сейчас порядка нескольких десятков процентов). Открытые в 1963 г. квазары оказались удаленными ядрами галактик с очень высоким уровнем активности. А между тем еще совсем недавно были в ходу гипотезы о сравнительной близости этих объектов. Окончательное выяснение космологической природы квазаров потребовало от астрономии напряженных усилий. В результате границы наблюдаемой Вселенной были существенно раздвинуты. Самые удаленные из наблюдаемых квазаров находятся от нас на расстояниях, исчисляемых многими миллиардами световых лет. В выделенный куб метagalактического пространства ни один сколько-нибудь яркий квазар не попадает, зато имеется достаточно много галактик с весьма активными ядрами — а это такое же явление, как квазар, только меньшего масштаба.

Грандиозное по своей энергетике явление активности галактических ядер оказалось совершенно новым для астрономии. Это явление по праву можно считать детищем второй революции. Как это часто бывало раньше, не было недостатка в попытках объяснения этого факта действием каких-нибудь неизвестных на Земле причин мистического характера. Сейчас, однако, становится все более и более ясным, что никаких других причин, кроме закона всемирного тяготения, здесь нет. Этот закон вызывает в конечном итоге образование в самых центральных областях некоторых галактик исключительно плотных скоплений звезд. Звездная плотность оказывается настолько большой (в миллиарды раз больше, чем в окрестностях Солнца), что становятся возможными и даже необходимыми столкновения между звездами, ведущие к их разрушению. Дальнейшее сжатие такого агрегата вещества, состоящего из звезд и плазмы, может привести к образованию сверхмассивной черной дыры, которая, «натягивая» на се-

бя окружающий газ, дает начало бурным процессам взрывного характера. При этом, в частности, из активных ядер выбрасываются облака газа, «начиненные» космическими лучами, дающие начало явлению радиогалактик. Последние были открыты еще в 1946 г., когда радиоастрономия делала свои первые шаги. Конечно, очень многое в феномене активности галактических ядер остается пока неясным, но главное понятно уже сейчас: этот процесс является закономерным следствием действующего во Вселенной закона всемирного тяготения.

Выше мы уже упоминали о весьма горячем межгалактическом газе в скоплениях галактик. Чрезвычайно важно, что, как установлено рентгено-астрономическими наблюдениями, этот газ имеет такой же химический состав, что и Солнце. Это означает, что он был уже «переработан» когда-то в недрах звезд. Но в этой области еще предстоит поработать астрономам, чтобы внести необходимую ясность в вопрос о происхождении этого газа.

Таким образом, мы сейчас впервые за все время существования астрономии получили полное представление о том, «что творится» в достаточно представительном «куске» Вселенной в современную эпоху. Под термином «современная» мы понимаем состояние этого объема в интервале времени $\pm 5-7$ миллиардов лет от нашего времени. Мы сейчас имеем основание полагать, что средние свойства нашего «куска» Вселенной за это время не претерпят сколько-нибудь значительных изменений, хотя большое количество составляющих его объектов (например, звезд, галактических ядер) будут за это время рождаться и умирать.

Другое дело, если мы переходим к значительно более удаленным «кускам» Вселенной. Здесь уже в полной мере скажется общая ее эволюция, которая, как сейчас с неопровержимостью доказано, приводит к выводу, что $\sim 10-20$ миллиардов лет тому назад состояние Вселенной было радикально отлично от современного. Для того чтобы прийти к такому выводу, основывающемуся не на умозрительных спекуляциях, а на твердых знаниях, полученных из наблюдений (т. е. эксперимента), потребовалась мобилизация всех средств, которые дала астрономии вторая революция.

В разделе 1 мы говорили, что перед второй мировой войной максимальное зарегистрированное красное смещение галактик соответствовало их скорости удаления 10 000 км/с. Сейчас регистрируются квазары, удаленные

от нас на такие расстояния, что полученная из красного смещения их спектров скорость удаления превышает 250 000 км/с, т. е. свыше 80% скорости света! При этом было обнаружено, что по мере удаления от нас (т. е. в более ранние эпохи развития Вселенной) плотность квазаров, отнесенная к совершенно определенному количеству вещества, быстро растет. Это означает, например, что если сейчас на 10^9 «нормальных» галактик приходится один квазар, то в раннюю эпоху один квазар приходится уже только на сотню галактик. Это есть прямое свидетельство эволюции Вселенной как целого. Накопление огромного наблюдательного материала по красным смещениям галактик и квазаров позволило не только подвести весьма серьезную базу под открытый еще полвека назад закон Хаббла, но и попытаться найти очень малые отклонения от этого закона, выявляющиеся на больших расстояниях, если расширение Вселенной начинает «под тормаживаться». Пока еще трудно с достоверностью говорить об открытии такого торможения (что имело бы громадное значение для понимания будущей судьбы Вселенной, ибо оно означало бы предстоящую смену режима расширения на режим сжатия). Но имеются все основания полагать, что в ближайшие 5—10 лет в этот важнейший вопрос будет внесена полная ясность.

Однако едва ли не самым выдающимся результатом второй революции в астрономии было открытие в 1965 г. американскими учеными Пензиасом и Вилсоном так называемого «реликтового излучения». Это излучение, как вскоре выяснилось, образовалось в ту удаленную эпоху, когда размеры Вселенной были в тысячу раз меньше современных, а ее возраст исчислялся всего лишь сотнями тысяч лет! Из анализа этого излучения следует, что тогда Вселенная представляла собой простую водородно-гелиевую плазму с температурой около 5000 К, наполненную равновесным (т. е. с планковским спектром) излучением той же температуры. Плотность этой плазмы была вполне умеренной, такой же, как и у хорошо знакомых астрономам планетарных туманностей.

Существенно заметить, что, как показывают простые расчеты, на каждое ядро атома приходилось несколько десятков миллионов световых квантов. Это отношение не изменилось и в нашу эпоху, только световые кванты плазменного облака — Вселенной — превратились в микроволновые кванты реликтового излучения, а большая часть атомных ядер сконцентрировалась в звезды.

Галактики и звезды образовались на значительно более позднем этапе расширения Вселенной, когда ее размеры были в ~ 10 раз меньше нынешних. Первоначально однородный расширяющийся газ из-за некоторых видов неустойчивости разбился на сгустки, а дальше стал уже действовать механизм гравитационной неустойчивости, способствовавший дальнейшей фрагментации вещества. Следует, однако, заметить, что в настоящее время детали этого важного процесса еще далеки от ясности.

Таким образом, *прямыми наблюдениями* была выявлена грандиозная картина развития Вселенной от простейшего плазменного облака к ее современному состоянию, столь богатому различными структурными деталями и объектами. Здесь уместно заметить, что такую картину эволюционирующей «горячей» Вселенной теоретически предсказал еще в 1948 г. выдающийся ученый Г. А. Гамов.

Возникает естественный вопрос — а можем ли мы, опираясь на реальные наблюдательные факты, исследовать еще более ранние этапы развития Вселенной? Оказывается, можем, хотя и косвенным способом. Например, сейчас уже ясно, что основная часть гелия во Вселенной имеет «первичное» происхождение, в то время как меньшая часть его возникла из водорода гораздо позже в недрах звезд в процессе термоядерного синтеза. И вот оказывается, что первичный синтез гелия (и, по-видимому, дейтерия) имел место на первых минутах существования Вселенной. Не так уж далеко то время, когда быстро развивающаяся нейтринная астрономия позволит экспериментально исследовать состояние Вселенной в ту эпоху, когда ее возраст исчислялся микросекундами.

Мы видим, какой гигантский путь прошла за полвека космология после первой гипотезы Леметра об «отце-атоме», моделирующем первичную Вселенную. Теперь изучение самых ранних этапов развития Вселенной есть область наблюдательной и экспериментальной науки.

Мы можем теперь подвести итог второй революции в астрономии. Главное — Вселенная и составляющие ее объекты непрерывно меняются, что было доказано наблюдениями. Мы наблюдаем эволюцию на самых разных уровнях: радикально изменилась Вселенная как целое, возникают и умирают звезды и туманности, эволюционируют галактики, что приводит к образованию в их ядрах особенностей. Длительные, плавные периоды развития сменяются бурными периодами, даже скачками. Ничего

не осталось от старой, механической, застывшей модели, которой оперировали астрономы еще полвека назад. Это и дает нам право считать развитие астрономии за последние 2—3 десятилетия *революцией*.

3. Итоги и перспективы

Мы имеем теперь все основания считать, что героический период бурного развития астрономии, который мы называем «второй революцией», подходит к концу. Какие же у нас есть основания делать столь радикальный вывод? Прежде всего, следует напомнить, что практически вся информация о Вселенной получалась (и неопределенно долго еще будет получаться) из наблюдений электромагнитных излучений разных частот от различных космических объектов. Коль скоро в результате второй революции астрономия стала всеволновой, космическим объектам буквально «нелегко спрятаться», чтобы ускользнуть от внимания целой армии исследователей неба. Разумеется, речь идет о ситуации, когда такие объекты обладают достаточно большой мощностью излучения в каком-нибудь диапазоне частот, чтобы потоки от них были зарегистрированы нашими приборами. Конечно, могут быть чрезвычайно важные и интересные явления во Вселенной, пока еще (т. е. «до поры до времени») ускользающие от внимания астрономов из-за слабости излучаемых ими потоков энергии. В качестве примера приведем проблему обнаружения планет, обращающихся вокруг ближайших звезд. Как известно, эта важная проблема до сих пор еще не решена, так как очень слабое планетное излучение буквально «тонет» в мощном излучении звезды, вокруг которой планета обращается. Есть, однако, все основания полагать, что эта проблема будет решена на большом орбитальном телескопе, который будет запущен через несколько лет. Можно привести и другие примеры, например, привлекающий к себе в последние годы внимание вопрос о «скрытой» массе Вселенной, о чем речь будет идти ниже. Трудности наблюдений во всех случаях хотя и очень велики, но не носят принципиального характера. Дело, однако, не в том, что еще многое в структуре и развитии Вселенной неясно и должно быть познано, а в том, что ее «генеральный план», взаимосвязь объектов, а главное — *история развития* — понята и перешли в категорию абсолютных истин. И мы можем сказать, что во Вселенной, окружающей нас, нет такого фундаментального фак-

тора, который, будучи от нас скрытым, определяет физические условия в космических объектах. Исключение составляет круг вопросов, связанных с «сингулярностью» — особым, пока еще не познанным состоянием Вселенной в первые мгновения ее существования.

Поясним сказанное примером. Тысячелетия люди любовались видом звездного неба и купались в солнечных лучах — источнике всего сущего на Земле. Между тем, природа излучения звезд (и, в частности, Солнце) была для них совершенно непонятна. Кто бы мог подумать, что случайное открытие Беккерелем на пороге XX в. странных свойств урановой смолки откроет перед человечеством совершенно новый мир атомного ядра, которое и даст ключ к познанию источников звездной энергии! Практически каждое сколько-нибудь важное явление во Вселенной прямо или косвенно связано с ядерными процессами. А ведь астрономия развивалась и достигла выдающихся успехов, даже не подозревая об этом. Может ли повториться такая ситуация? На этот вопрос мы со всей определенностью отвечаем: «нет». Ни одно из будущих открытий физики и прежде всего — физики элементарных частиц — не изменит сколько-нибудь радикально ту картину строения и развития Вселенной, которая была создана в результате великих открытий второй революции в астрономии. Это утверждение весьма ответственно, и автор хорошо помнит набивший оскомину хрестоматийный пример забытого ныне профессора Жоли, не рекомендовавшего молодому Планку посвятить свою жизнь такой «бесперспективной» науке, как физика. Во-первых — аналогия отнюдь не является доказательством, а во-вторых — мы отнюдь не считаем дальнейшее углубление наших знаний о Вселенной неинтересным и бесперспективным. Дело обстоит совсем наоборот, как об этом будет идти речь ниже.

Мы утверждаем, что достигнутый в настоящее время физикой уровень познания структуры материи принципиально вполне достаточен для объяснения если не всех, то почти всех явлений во Вселенной (кроме сингулярности). Эти явления происходят либо на уровне взаимодействий атомов, молекул и квантов излучения (туманности, ядра галактик), либо на уровне ядерных взаимодействий (звездные недра, взрывы звезд, процессы в активных ядрах галактик). Во всех этих случаях речь идет о физических процессах, для которых построены теории, прекрасно согласующиеся с многочисленными

лабораторными экспериментами. Сюда же относятся и макроскопические магнитно-гидродинамические процессы, физика которых в главных чертах понята и разработана.

Ожидаемая область неведомого в физике находится в субъядерной области; там же начинается царство кварков, глюонов, чарм-ионов и пр. Несомненно, исследования в этой области приведут к качественно новому этапу в познании природы материи. Но они (за исключением опять-таки проблем сингулярности Вселенной и некоторых аспектов проблемы взрыва звезд и активности галактических ядер) не изменят коренным образом лица астрономии.

Дело в том, что эти новые частицы возникают и превращаются при энергиях взаимодействия, превышающих несколько миллиардов электрон-вольт. Однако такие энергии в реальных космических условиях не реализуются. Достаточно сказать, что энергия сталкивающихся атомных ядер в недрах звезд главной последовательности не превышает десятка тысяч электрон-вольт. Даже в процессе катастрофического коллапса звезды, предшествующего ее вспышке как сверхновой, энергии частиц не превышают десятков мегаэлектрон-вольт. Конечно, в космических условиях встречаются объекты, буквально «пачканные» космическими лучами с энергией, много большей, чем миллиарды электрон-вольт на частицу (например, некоторые молодые пульсары или активные галактические ядра). Однако их взаимодействие друг с другом и с окружающей плазмой никак не изменит общей феноменологической картины явления, описываемой такими параметрами системы, как плотность и давление.

Другое дело — круг вопросов, связанных с проблемой сингулярности Вселенной. Там мы действительно сталкиваемся с «terra incognita», и без более глубокого знания структуры материи о серьезном продвижении вперед не может быть речи. Это фундаментальная проблема, которая в итоге второй революции только поставлена. Сюда относится и проблема возможных осцилляций Вселенной (если она замкнута, конечно), когда она, расширившись до максимальных размеров, станет сжиматься, пока опять не наступит сингулярность*). Если

*) Сюда же могут быть отнесены некоторые проблемы внутреннего строения нейтронных звезд.

же отвлечься от этих фундаментальных проблем, то сейчас, в итоге второй революции в астрономии, можно утверждать, что не может быть больше такой ситуации, чтобы в результате каких-либо открытий в физике мир оказался *совсем* не таким, каким мы его сейчас себе представляем. Это важнейший итог минувших десятилетий развития астрономии.

Значит ли это, что наступило время, когда выражась языком поэта, «как будто не все пересчитаны звезды, как будто наш мир не открыт до конца?» Просто это означает, что самая древняя из наук прошла через свою непомерно затянувшуюся юность и вступила в зрелый период. Хорошо известно, что в начале пути познания затрата сравнительно небольших усилий даст весьма весомые результаты. Потом познавать истину бывает много труднее. Это неизбежный путь развития любой науки. Вряд ли, например, в физике твердого тела (науке весьма почтенной и чрезвычайно важной) было сделано большее открытие, чем установление статистики Ферми — Дирака для электронов в металле. А ведь это случилось на заре становления этой науки, которая развивается очень быстро. Суть дела хорошо понимал автор эпитафии на могиле Ньютона, где сказано, что Ньютон был не только самым великим, но и самым счастливым ученым, ибо законы Вселенной можно открыть только один раз.

Итак, мы имеем все основания полагать, что эпоха «бури и паники» в астрономии, связанная со второй революцией, подходит к концу. В итоге этой революции наша наука поднялась на качественно новую ступень, о чем довольно подробно речь шла выше. Открывшиеся перед астрономией перспективы воистину безграничны. Прежде всего, предстоит огромная работа по детализации и уточнению той картины мира, которая вырисовывалась в итоге второй революции. Этот процесс безграничен, и здесь будущих исследователей, несомненно, должны ожидать сюрпризы и неожиданности. Как пример безграничных возможностей детализации науки автор мог бы привести всесторонние исследования интереснейшей планеты Уран. Будущая «уранология» может быть гораздо богаче всего комплекса наук о Земле. Ведь у Урана 5 больших спутников, пылевое кольцо, необычное осевое вращение и много других удивительных свойств, всестороннее исследование которых — увлекательнейшее и важное дело. С точки зрения астрофи-

зипи любой пестаднопарный красный карлик гораздо «интереснее» Солнца, а ведь физика Солнца — весьма солпдная и быстро развивающаяся область астрономии. Надо ли говорить, какая гигантская, полная всяких неожиданиостей работа ожидает астрономов при исследовании метагалактических объектов!

Неверно было бы представлять, что астрономам остается только не совсем «престижная» работа по «чистке», «рафинированию» уже существующих представлений о Вселенной. Ожидает своего решения и ряд фундаментальных проблем. Назовем только несколько из них.

1. Проблема планет около звезд. Предстоит выяснить распространенность этого феномена в Галактике, что имеет огромное значение для проблемы распространения жизни во Вселенной. Пока этот вопрос совершенно не ясен.

2. Есть ли в Галактике другие цивилизации? Этот вопрос, конечно, не связан с общей проблемой структуры и развития Вселенной и носит, так сказать, «антропоцентрический» характер, но он чрезвычайно важен для человечества (см. статью на с. 176 настоящего сборника, где развивается довольно пессимистический взгляд на эту проблему, по мнению автора разделяет меньшая часть его коллег).

3. Проблема «скрытой» массы Вселенной. По некоторым признакам (далеко не бесспорным) масса скопленных галактик может быть раз в десять больше обычно принимаемой. Между тем, ни в одном из диапазонов современной всеволновой астрономии ее пока обнаружить не удалось. Если бы скрытая масса была доказанной реальностью, это имело бы далеко идущие последствия. Например, средняя плотность Вселенной стала бы достаточно велика, чтобы мир был замкнут. В принципе скрытая масса может существовать, например, в виде огромного количества карликовых звезд очень низкой светимости.

4. Пока еще отсутствует *полное* понимание тех грандиозных физических процессов, которые происходят в активных галактических ядрах, хотя в общих чертах картина значительно прояснилась.

5. И, наконец, совершенно открыта фундаментальная проблема сингулярности Вселенной. Сюда, в частности, относятся такие «проклятые» вопросы, как например, какова причина взрыва, приведшего к расширению (разлету) Вселенной, осциллирует ли Вселенная с цик-

лом приблизительно сотни миллиардов лет, а что было «еще раньше?» Не исключено, однако, что последний вопрос лишен смысла. С аналогичной ситуацией физика столкнулась при изучении микромира, где, например, лишена какого-нибудь смысла картина движения электрона в атоме по какой-либо траектории.

Мы, однако, полагаем, что серьезное продвижение в направлении познания природы сингулярности — дело сравнительно отдаленного будущего. Кто знает — может быть, это будет главным содержанием грядущей третьей революции в астрономии?

Ближайшие десятилетия ознаменуются реализацией грандиозных проектов, намеченных к концу второй революции в астрономии. Речь пойдет прежде всего о выносе в космос больших полностью автоматизированных оптических, радио- и рентгеновских телескопов, которые обеспечат неслыханную раньше детализацию исследований удаленных космических объектов. Особенно величественные перспективы открываются перед космическими радиотелескопами, работающими как интерферометры, проекты которых разработаны Н. С. Кардашевым. Откроются поразительные возможности измерения тригонометрического параллакса метagalактических объектов, что даст возможность построения самой точной системы галактических и даже (фантастика пока!) межгалактических расстояний. Будут измерены угловые расстояния $\sim 10^{-8}$ секунды дуги, т. е. в десять тысяч раз меньше, чем сейчас. Открывается перспектива развития космической голографии, т. е. построения трехмерных изображений некоторых прозрачных космических объектов (скажем, Крабовидной туманности). Огромные возможности открываются также и перед большими оптическими телескопами, выпесенными в космос. Реализация этих проектов предъявляет очень серьезные требования к электронике, автоматике и вычислительной технике.

Существенного развития в ближайшие десятилетия следует ожидать от «нефотонных» астрономий, прежде всего — пейтринной и гравитационно-волновой. Здесь могут открыться совершенно неожиданные возможности. Не исключено, что «нефотонные» астрономии существенно дополняют более «классические» методы, в особенности при изучении таких резко нестационарных процессов, как взрывы звезд, звездные столкновения и пр.

Нужно, однако, помнить, что все эти богатые перспективы и пути их реализации были намечены в итоге

второй революции, точно так же, как пути развития телескопической астрономии были намечены трубой Галилея к концу первой революции. Бурные скачкообразные этапы развития науки еще долго после своего окончания определяют направления ее прогресса. И астрономия, конечно, не представляет собой исключения.

Вопросы философии.— 1979.— № 9.

ОТ РЕДАКТОРОВ

В начале 90-х годов предусматривается запуск первого космического радиотелескопа с диаметром зеркальной антенны 10 м, установленного на искусственном спутнике Земли «Радиоастрон». Он будет выведен на вытянутую орбиту с периодом обращения в один сутки и максимальным удалением от Земли 80 000 км. Будут приниматься сигналы в диапазоне волн 1 см — 1 м. «Радиоастрон» образует со всеми крупнейшими наземными телескопами интерферометрическую систему, которая обеспечит угловое разрешение в 10 раз выше, чем это возможно с поверхности Земли. В дальнейшем планируется запуск радиотелескопов на орбиты, еще в 10, 100, 1000 и 10 000 раз более удаленные от Земли, и соответственно будет увеличиваться угловое разрешение. Подготовка эксперимента ведется в Институте космических исследований (ИКИ) АН СССР в Москве совместно со всеми крупнейшими радиообсерваториями мира.

СОВРЕМЕННАЯ АСТРОФИЗИКА И ФИЛОСОФИЯ ДИАЛЕКТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛИЗМА

Обосновывая объективность (т. е. существование вне человеческого сознания) мира Ленин часто использовал тот бесспорно доказанный факт, что возраст земной коры во много раз превышает возраст человечества. Значит, материальный мир с его объективно существующими закономерностями существовал *без* человечества, следовательно, *вне* человеческого сознания. Естественно, что для обоснования этого важнейшего тезиса Ленину, из-за состояния естествознания в то время, мог пользоваться только данными геологии. Вспомним, каков был уровень астрономии в то время (1908 г.) Прошло чуть больше 10 лет после открытия радиоактивности и Резерфорд только приступал к исследованиям атомного ядра. Возраст Солнца исчислялся немногими десятками миллионов лет (Гельмгольц), понятие «Метагалактика» полностью отсутствовало. Даже позже Ленина, создавая релятивистскую космологию, Эйнштейн не имел представления о реальной Вселенной (он считал ее совокупностью звезд). Только спустя 10—20 лет Хаббл открыл Метагалактику и навсегда связанный с его именем закон красного смещения спектральных линий удаленных галактик. Отсюда и пошла современная концепция эволюционирующей, т. е. развивающейся Вселенной. В наши дни астрономы разработали достаточно надежную космическую хронологию, начинающуюся от удаленного от нас на ~ 20 миллиардов лет момента Большого взрыва. Поэтому мир без человечества — это как раз и есть предмет исследования внегалактической астрономии — исследований строго научных и количественных. Не будет поэтому преувеличением сказать, что наиболее наглядное доказательство объективного (т. е. вне человеческого сознания) существования разнообразнейших форм движущейся материи в наши дни дает как раз *астрономия*. И тот простой факт, что астрономы открыли огромное количество относительных истин, приближающих их к познанию абсолютных истин, связанных с движением и развитием материи в Метагалактике, наглядно демонстрирует познаваемость объективно существующего мира. Решающая роль в этом процессе принадлежит практике астрономических наблюдений.

Приходится только удивляться гениальной прозорливости Ленина даже в областях знаний, весьма от него далеких. Я попробую сейчас развить известное ленинское положение о «неисчерпаемости электрона» применительно к фундаментальным проблемам астрономии. Прежде всего, никоим образом нельзя понимать «неисчерпаемость» электрона как примитивное представление, что электрон состоит из более «мелких» субчастиц, те тоже «составные» и т. д. И. Е. Тамм, объясняя студентам основы квантовой механики, любил говорить, что микрочастицы — это не матрешки... Говоря о неисчерпаемости электрона, следует иметь в виду *неисчерпаемость его свойств*, проявляющихся в его взаимодействии с другими частицами и полями. В наши дни мы являемся свидетелями создания единой теории слабых и электромагнитных взаимодействий (Салам — Вейнберг), где качественно новые свойства электрона проявляются при сверхвысоких энергиях. Для того чтобы эту теорию можно было согласовать со специально выполненными весьма тонкими экспериментами, возможно придется приписать другой элементарной частице — нейтрينو — *конечную*, хотя и малую массу покоя. До последнего времени подавляющее большинство физиков считало, что у нейтрينو масса покоя равна нулю. Справедливость гипотезы о конечности массы покоя нейтрينو (а недавно выполненные в нашей стране эксперименты как будто подтверждают это) может иметь огромные последствия для астрономии, ибо тогда придется сделать вывод, что вся Вселенная заполнена нейтрينو, причем суммарная масса последних в десятки раз превосходит массу всех остальных видов материи, сосредоточенной в звездах, галактиках и других космических объектах. Это дало бы совершенно неожиданное решение довольно давно уже стоящей перед астрономами проблемы «скрытой массы» Вселенной. Повышение средней плотности вещества во Вселенной в несколько десятков раз означало бы, что Вселенная *замкнута*. Другими словами, через несколько десятков миллиардов лет она перестанет расширяться и начнет «сжиматься в точку», дойдя до сверхплотного и сверхгорячего состояния через ~ 100 миллиардов лет.

На этом примере мы видим, что новые свойства электрона (и, разумеется, не только электрона, но и всех элементарных частиц), которые в рамках повседневного опыта ненаблюдаемы, могут быть причиной процессов

кардинальной важности для развития материи во Вселенной. Можно привести и другой пример. Из более общей теории взаимодействий следует удивительный вывод: протон — этот основной «кирпич мироздания» — должен быть вовсе не стабильной частицей, а самопроизвольно распадающейся. Период полураспада огромен, $\sim 10^{31}$ лет *). Именно поэтому такой процесс до сих пор физиками не наблюдался. Например, из всех протонов, содержащихся в теле человека (т. е. в находящейся там воде) за 300 лет может распасться только один! Это новое свойство элементарной частицы, иллюстрирующее ее неисчерпаемость, при определенных условиях также может иметь решающее значение для будущего развития Вселенной. Если она все-таки окажется «пезамкнутой» и будет безгранично расширяться (что при современном уровне науки нельзя исключить), через чудовищно длинный промежуток времени $\sim 10^{31}$ лет (что в миллиард триллионов раз больше времени, прошедшего после Большого взрыва) все образующие Вселенную протоны распадутся, в конечном счете превратившись в электромагнитное излучение.

Оба приведенных выше примера относятся к ситуации «на переднем крае» современной науки. Сегодня мы еще не имеем достоверных доказательств о наличии у нейтрино конечной массы покоя или о нестабильности протона. Эти вопросы, по-видимому, будут решены в ближайшие несколько лет. Однако безотносительно к окончательному их решению на этих примерах можно наглядно убедиться в глубине и плодотворности ленинского положения о неисчерпаемости электрона так же, как и других «элементарных» частиц.

Вся книга Ленина «Материализм и эмпириокритицизм» проникнута духом непримиримой борьбы против фидеизма, к которому, как он убедительно показывает, скатываются всякого рода «испровергатели» диалектического материализма. Последние при этом апеллируют к «повейшим достижениям естествознания». В наше время в еще большей степени актуальной становится борьба против разнообразных проявлений воинствующего обскурантизма, спекулирующего на повейших достижениях естествознания, извращая их. Остановимся хотя бы на ставшем в последнее время очень популярным

*) Существующие экспериментальные данные гарантируют стабильность протона в течение $\sim 10^{30}$ лет.

«антропном» принципе. Уже давно замечено, что между константами, определяющими разного рода физические взаимодействия, и характеристиками Вселенной имеют место удивительные, пока еще не понятные, соотношения. Например, радиус Вселенной $R_B \sim ct_0 \sim \left(\frac{\alpha}{\alpha_G}\right) \cdot a_0$, где $\alpha = \frac{e^2}{\hbar c} = \frac{1}{137}$, $\alpha_G = \frac{Gm_p^2}{\hbar c} \sim 5 \cdot 10^{-39}$ — константы электромагнитного и гравитационного взаимодействий ($G = 6,6 \cdot 10^{-8}$ — гравитационная постоянная), $a_0 = \frac{\hbar}{m_e c^2}$ — радиус боровской орбиты атома водорода.

Американский физик Дике дал этому соотношению весьма оригинальное объяснение. Он показал, что это соотношение эквивалентно утверждению, что во Вселенной должны существовать звезды с массой порядка солнечной. Но наличие таких звезд является необходимым условием для возникновения во Вселенной жизни, в том числе и разумной! Соотношения между другими константами, а также их абсолютные величины, имеют, согласно Дике, такой же смысл. Оказывается, например, что если бы константа слабого взаимодействия α_w была бы немного меньше своего наблюдаемого значения, все ядра во Вселенной были бы гелиевые, и жизнь возникнуть не могла бы, так как, например, не было бы воды. При большем значении α_w не было бы вспышек сверхновых звезд, при которых происходит синтез необходимых для жизни тяжелых элементов. Наконец, тот факт, что во Вселенной на каждый протон приходится несколько десятков миллионов фотонов (а в этом смысл предложенной в свое время Г. А. Гамовым и подтвержденной наблюдениями «горячей» модели Вселенной) также имеет глубокий «антропный» смысл. Ибо при других значениях этого отношения ни галактики, ни звезды не могли бы образоваться путем конденсации газа под действием силы тяготения.

Мы видим, таким образом, что наша реальная, объективно существующая и познаваемая Вселенная удивительно «приспособлена» для возникновения и развития в ней жизни. До сравнительно недавнего времени молчаливо принималось, что возникновение и развитие жизни на Земле есть локальный феномен, в котором ни Галактика, ни Метагалактика никакой роли не играли (если, конечно, не говорить о не выдерживающей критики гипотезе панспермии). Считалось, что если бы

ничего, кроме Солнечной системы во Вселенной не было бы, жизнь развивалась бы так, как она развивалась в действительности. То, что такая точка зрения грубо ошибочна, ясно видно хотя бы из того, что для жизни необходимы тяжелые элементы, синтезируемые при вспышках сверхновых звезд.

«Антропный» принцип идет, как мы видели, значительно дальше. Обосновывается вывод, что «начальные условия» в эпоху Большого взрыва, в конечном итоге, после многих миллиардов лет эволюции обеспечили необходимые условия для появления жизни в некоторых ее малых областях. Несомненно, что отдельные факты, с которыми оперирует «антропный» принцип так же, как и сама интерпретация этих фактов Дике, заслуживают серьезного внимания. Вместе с тем, не надо закрывать глаза на то, что при отсутствии правильной марксистско-ленинской методологии из этого принципа можно сделать фидеистические выводы. Этот принцип в искаженном виде несомненно будет использоваться церковниками всех мастей для обоснования «тезиса» о сотворении мира богом для человека. То, что для этого потребовалось не семь дней, а 20 миллиардов лет, вряд ли смутит идеологов религии, особенно в Ватикане.

Между тем, сам по себе «антропный» принцип, опирающийся на объективные истины, относящиеся к развитию материи во Вселенной, ничего идеалистического в себе не содержит. Ибо, по существу, он дает самую широкую и притом вполне материалистическую картину условий возникновения жизни во Вселенной, условий, довольно жестко ограничивающих этот процесс. Исследуются закономерности Вселенной задолго до того, как в одной (или многих) из ее частей в силу внутренних объективных законов развития возникла разумная жизнь, способная отразить эти законы. А то, что далеко не при всяких комбинациях объективных внешних условий возможно возникновение жизни — это ведь не новое утверждение. Каждый астроном, например, понимает, что бессмысленно ожидать каких бы то ни было форм жизни в недрах звезд — а ведь там сосредоточена подавляюще большая часть материи во Вселенной. И, конечно, наше Солнце — источник жизни на Земле — не случайно является очень старой звездой средней частоты главной последовательности.

Жизнь могла возникнуть не в любой а priori мыслимой Вселенной. Факт возникновения жизни в нашей кон-

кретпой Вселенной следует рассматривать «a posteriori». В принципе вполне могут существовать и другие «мертвые» (т. е. лишённые какой-либо жизни) вселенные, не взаимодействующие с нашей, но это уже другая проблема. Заметим, что вопрос о распространённости разумной жизни во Вселенной никогда не служил водоразделом между идеализмом и материализмом. Поэтому вывод о чрезвычайной редкости и даже уникальности феномена разумной жизни во Вселенной отнюдь не противоречит философии диалектического материализма*). Ибо этот вывод не исключает, а существенно опирается на представление об *объективной*, т. е. вне нашего сознания развивающейся материальной Вселенной, что соответствует и духу, и букве ленинского учения.

Приведенные выше примеры (число которых можно было бы значительно умножить) показывают, как новейшие достижения астрономии и физики на каждом шагу подтверждают основное положение марксистско-ленинской философии диалектического материализма об объективной реальности материального мира и его познаваемость.

*) См. статью «О возможной уникальности разумной жизни во Вселенной», с. 176.

Доклад на ученом совете Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга, посвященном 110-летию со дня рождения В. И. Ленина.

РАЗМЫШЛЕНИЯ ОБ ЭДДИНГТОНЕ

28 декабря 1982 г. исполнилось 100 лет со дня рождения выдающегося астронома XX в. Артура Стэнли Эддингтона. С именем этого замечательного английского ученого навсегда связано одно из величайших достижений астрономии — познание природы звезд, главных объектов Вселенной на современном этапе ее развития. Все зрячие люди, когда-либо жившие на нашей планете, знали, как выглядят звезды, по сущности этого поразительного явления первым понял Эддингтон. Поэтому вряд ли будет преувеличением сказать, что число астрономов всех времен, внесших такой же вклад в нашу науку, как Эддингтон, можно пересчитать по пальцам одной руки.

Общеизвестно, что в XX в. астрономия практически свелась к астрофизике. Последняя как количественная наука могла возникнуть только на рубеже XIX—XX вв., когда появилось и стало бурно развиваться детище квантовой физики — теория излучения. Ибо анализ излучения космических объектов — это единственный способ познания природы Вселенной. Хотя начало научной карьеры Эддингтона почти совпадает с рождением астрофизики, понимаемой в современном смысле этого слова, он не был ее основателем. Заметим, что далеко не каждую науку можно связать с именем ученого, которого позволительно считать ее основателем. И все же такие науки есть! Мы связываем кибернетику с Норбертом Винером, радиоастрономию с Карлом Янским. Я думаю, что у астрофизики тоже есть основатель. Имя его — Карл Шварцшильд. Этого выдающегося немецкого ученого с полным правом можно считать основоположником практической (он создал современную фотометрию) и теоретической астрофизики (он разработал теорию лучистого равновесия в звездных атмосферах, объяснил, как образуются фраунгоферовы линии в спектре Солнца). Шварцшильда можно даже считать основоположником современной релятивистской астрофизики (вспомним «сферу Шварцшильда»).

Окончив в 1905 г. знаменитый Тринити-колледж в Кембридже, Эддингтон с 1906 по 1913 г. работал старшим ассистентом в Гринвичской обсерватории, причем работал в традиционном, сугубо классическом направлении астрономии. Не подлежит сомнению, что эти годы оказались решающими в формировании Эддингтона как астронома-профессионала. И никогда не следует забывать, что при всем многообразии граней таланта Эддингтона, он прежде

всего был астрономом — астрономом «божьей милостью».

Чем же занимался Эддингтон в Гринвичской обсерватории? В письме к матери он дает отчет о своей деятельности за первое полугодие 1906 г. Первые шесть недель он ничем не занимался (значит, научного руководства в современном понимании у него не было: 24-летний «молодой специалист» был полностью предоставлен самому себе). И вдруг, «с места в карьер», он развивает бурную деятельность: проверяет положение 12 000 звезд в новом каталоге, наблюдает на пассажном инструменте, исследует систематические ошибки делений кругов, обрабатывает наблюдения малой планеты Эрос. Наконец, пытается (по его словам, без особого успеха) штудировать модную тогда электронную теорию Х. Лоренца. В последующие годы он наблюдает покрытия звезд Лупой, участвует в наблюдениях на зенит-телескопе с целью уточнения постоянной абберрации. Интересуется кометной астрономией в связи с появлением в 1908 году кометы Морхауза, а в 1910 г. — кометы Галлея. Он занимается теоретическими проблемами, связанными с газовыми оболочками вокруг кометных ядер и наблюдаемыми там силами отталкивания. Здесь Эддингтон, по-видимому, впервые столкнулся с силой светового давления, изучению которой посвятил впоследствии много времени, исследуя равновесие звезд.

В начале 1909 г. Эддингтона, уже вполне зрелого и самостоятельного астронома, отправляют в Мальту, чтобы он вновь определил долготу известного астрономического пункта — «монумента Спелсера». Дело в том, что выяснилось недопустимое расхождение (в 1^с!) между старым определением долготы А. Ауверсом и более поздним, полученным сотрудниками Гидрографического департамента Британского адмиралтейства. Эддингтон убедительно разрешил спор в пользу Ауверса. В 1912 г. Эддингтон возглавил Британскую экспедицию по наблюдению солнечного затмения в Бразилии. От руководителя такой экспедиции требуется не только совершенное владение профессиональными навыками, но и хорошие организаторские способности. Можно не сомневаться, что опыт, приобретенный в этих ранних экспедициях, оказался весьма полезным в 1919 г., когда Эддингтон возглавил знаменитую экспедицию, наблюдавшую во время полного солнечного затмения отклонение светового луча в гравитационном поле Солнца.

Но в 1906—1913 гг. основные усилия Эддингтон прилагал в той области астрономии, которая сейчас называется «звездной астрономией». Незадолго до этого голландский астроном Я. Каптейн обнаружил интересную закономерность в собственных движениях звезд, получившую название «потоки Каптейна» *). Это сейчас, после открытия вращения Галактики, астрономы разобрались в закономерностях далеко не простых звездных движений. В самом начале века эта проблема еще не была решена. Эддингтон, изучив собственные движения большого числа звезд, подтвердил существование «потоков Каптейна». В эти же годы Эддингтон много внимания уделял динамике звездных скоплений. Исследования по звездной астрономии он обобщил в своей первой монографии «Звездные движения и строение Вселенной» (1914 г.).

В 1914 г. Эддингтон стал директором обсерватории Кембриджского университета. В том же году он резко сместил свои научные интересы в сторону возникшей на его глазах астрофизики. Прежде всего его заинтересовала структура звезд. В последующие почти 30 лет, до самого конца его наполненной напряженным трудом жизни, звезды оставались главной темой научных изысканий Эддингтона, хотя он серьезно занимался и другими проблемами, например, общей теорией относительности. Эддингтон был величайшим знатоком и интерпретатором этой теории.

Бросим теперь взгляд на состояние астрофизики в тот момент, когда Эддингтон приступил к важнейшему этапу своих исследований. Находясь на уровне достижений астрономической науки конца XX в., трудно даже представить глубину неведения современников Эддингтона. В то время никто ничего не знал о химическом составе Солнца и звезд. Правда, еще в XIX в. спектральный анализ убедительно показал, что на Солнце и звездах имеются некоторые элементы, известные на Земле. Но это был сугубо качественный анализ! Теперь, конечно, каждый знает, что звезды, за малым исключением, представляют собой водородно-гелиевую плазму с небольшими «загрязнениями». А тогда, например, были все основания считать, что Солнце состоит из... паров кальция, ведь линии H и K ионизированного кальция — самые сильные в спектре дневного светила!.. Замечательный индийский астро-

*) На асимметрию звездных движений и возможную связь ее с тогда еще гипотетическим вращением Галактики впервые указал в прошлом веке русский ученый М. А. Ковальский.

физик М. Саха еще не создал свою теорию ионизации, без которой немислимо даже приступать к количественному анализу звездных спектров. Совершенно неясным оставалось агрегатное состояние вещества звездных недр, и известный английский физик Дж. Джинс долгое время считал звезды... жидкими. Ведь средняя плотность карликовых звезд достаточно велика, и невозможно было даже представить, что в их недрах находится идеальный газ! Требовались интуиция и воображение Эддингтона, чтобы понять, что в недрах звезд полностью ионизированные атомы стали очень «маленькими» и движутся по законам идеального газа, несмотря на весьма большую плотность.

Равновесием звезд под действием сил гравитации и внутреннего давления астрономы занимались и до Эддингтона, особенно известны работы немецкого астрофизика Р. Эмдена. Но именно Эддингтону принадлежит основополагающая идея о том, что перенос энергии из внутренних областей звезды наружу осуществляется лучеиспусканием, а не конвекцией, как считалось раньше. До сих пор используется всеми, кто работает в этой области астрофизики, уравнение Эддингтона, связывающее поток излучения звезды H и градиент температуры dT/dr :

$$H = - \frac{\sigma c T^3}{3\kappa\rho} \cdot \frac{dT}{dr},$$

где κ — коэффициент поглощения, ρ — плотность, σ — постоянная Стефана — Больцмана, c — скорость света, r — радиус звезды.

Как уже отмечалось, для вещества звездных недр Эддингтон использовал уравнение состояния идеального газа. Если в своей первой работе 1916 г., когда ему еще не была ясна роль ионизации, он произвольно принимает, что средний молекулярный вес этого идеального газа равен 54, потом 18 и даже 4 (гелиевые звезды), то уже в работе следующего года средний молекулярный вес равен двум. Такой молекулярный вес вполне соответствует произвольной смеси тяжелых элементов, поскольку в среднем атомный вес примерно вдвое больше порядкового (атомного) номера. Из этого правила исключение составляет ионизованный водород, средний молекулярный вес которого 0,5, ибо масса электрона пренебрежимо мала по сравнению с массой протона, равной 1. Сколько водорода содержится на Солнце и звездах, долгое время оставалось неясно. Даже в 1929 г. Г. Рессел в своем известном определении химического состава Солнца «ресселова смесь»

недооценил содержание водорода в десятки раз! Проблема химического состава звезд была предметом постоянных забот Эддингтона и доставляла ему немало огорчений.

Фундаментальное значение для теории внутреннего строения звезд имеет рассчитанный на единицу массы коэффициент поглощения (κ). Первым поняв общую картину физических условий в звездных недрах (температура около 10^7 К и высокая плотность газа при полной его ионизации), Эддингтон пришел к выводу, что механизмом поглощения излучения должен быть фотоэффект. Как только в 1923 г. появилась теория фотоэлектрического поглощения Х. Крамерса, Эддингтон применил ее к условиям, господствующим в звездных недрах, придав коэффициенту поглощения вид

$$\kappa = \text{const} \cdot T^{-7/2}.$$

Зная коэффициент поглощения и средний молекулярный вес и воспользовавшись уравнением состояния идеального газа, Эддингтон в 1924 г. из условий лучистого и гидростатического равновесия получил известное соотношение «масса — светимость»:

$$L = \text{const} \cdot \frac{\mu^4}{\kappa} \cdot M^3,$$

где L — светимость, M — масса звезды, μ — средний молекулярный вес, κ — коэффициент поглощения. Имевшийся в то время довольно ограниченный эмпирический материал, в основном, подтвердил справедливость соотношения «масса — светимость». Таким образом, Эддингтон получил наблюдательное обоснование своего главного предположения: вещество недр даже карликовых звезд представляет собой идеальный газ.

Эддингтон первым понял несостоятельность господствовавшей тогда гипотезы Кельвина — Гельмгольца о гравитационном сжатии Солнца и звезд как источника их энергии излучения. Слишком короткая шкала времени получалась для длительности процесса излучения. В этой гипотезе возраст Солнца оценивался примерно в $2 \cdot 10^7$ лет, что противоречило имевшимся геологическим данным о возрасте Земли. Эддингтон привел еще более разительный пример: возраст звезд-гигантов спектральных классов G и F получался всего лишь $25 \cdot 10^3$ лет, что было совершенно неприемлемо! Какие же источники энергии действуют в недрах Солнца и звезд? И Эддингтон еще в 1916 г. впервые произносит слово: «субатомные».

В то время ядерная физика находилась в эмбриональном состоянии, планетарная модель атома была предложена Э. Резерфордом только в 1911 г.! Лишь в 1919 году тот же Резерфорд раздробит ядро азота, осуществив первую искусственную ядерную реакцию. До открытия нейтрона Дж. Чедвиком еще долгих 16 лет. Общепринятая в начале века классическая электронная теория считала, что материальный мир состоит из протонов, электронов и электромагнитных полей. Но Эддингтон неизбежно верил в эйнштейновское $E = mc^2$ и постулировал, что в недрах звезд должен идти перманентный процесс разрушения (как он говорил, «анигиляция») материи и превращение ее в лучистую энергию. Источник этот был практически неисчерпаемым. Но думать тогда об уточнении его природы было совершенно бессмысленно.

Новаторские работы Эддингтона, революционизировавшие астрономию, понимались и принимались с трудом. И в этом нет ничего удивительного: впереди лежал океан неведомого и возможных направлений развития теории (как правило, тушковых) было сколько угодно. Верные человеческой природе, исследователи на длинном пути познания истины не избежали ни одного из возможных заблуждений. Надо было обладать абсолютным чувством истины и фантастической интуицией, чтобы находить правильные, хотя и зачастую парадоксальные, решения в сложнейших ситуациях, когда еще не были разработаны теории и даже не было необходимых физических предпосылок для этого (например, не знали, как генерируется «субатомная» энергия). В таких условиях Эддингтона вполне можно уподобить капитану старинного фрегата, ведущему свой корабль по извилистому, избыточному мелями Магелланову проливу...

В начале века Эддингтон много занимался и теорией звездных пульсаций. В это время выдающийся американский астроном-наблюдатель Х. Шепли уже показал, что строго периодически меняющие свой блеск цефеиды нельзя рассматривать как затмевающие друг друга при своем орбитальном движении компоненты двойных систем. Гипотеза пульсирующих гигантских звезд явилась альтернативой гипотезе двойных, и в построении теории пульсаций звезд большая заслуга принадлежит Эддингтону. Он неоднократно возвращался к этой трудной проблеме и в своей последней работе 1944 г. наконец, правильно интерпретировал давно известный факт: несовпадение по фазе кривых блеска и лучевых скоростей у цефеид. Он объяс-

нил это специфическими условиями низационного равновесия в конвективной зоне пульсирующей звезды.

Теория пульсаций подверглась яростной атаке со стороны знаменитого современника Эддингтона физика Дж. Джинса, много занимавшегося проблемами астрономии. Джинс придерживался другой, на наш теперешний взгляд, совершенно дикой гипотезы: какие-то периодические взрывы на близкой к потере ротационной устойчивости звезде. Любопытно возражение Джинса против самой возможности пульсаций звезд: они-де обязаны быстро затухать, ибо в противном случае... нарушался бы второй закон термодинамики (?!). Для физика такого масштаба, каким был Джинс, все-таки очень странно это полное непонимание автоколебательного процесса...

Вообще, Джинс был постоянным оппонентом Эддингтона. Ареной их полемики, зачастую принимавшей весьма острые формы, служили заседания Королевского астрономического общества, которые проходили во вторую пятницу каждого месяца. Забавно сейчас, в наши дни, просматривать старые номера «Observatory», содержащие протоколы этих заседаний. Джинс обычно «кусал» Эддингтона по мелочам. Теперь ясно, что, будучи по своей натуре чистым физиком-теоретиком, лишенным «чувства неба» и «космической реальности», Джинс совершенно не понимал способа мышления своего выдающегося научного противника — чистого астронома. Типичное на этих заседаниях резюме президента Королевского астрономического общества о том, что «приятно видеть столкновение столь выдающихся интеллектов», а кто из них прав, мол, покажет будущее, — вполне соответствовало духу Пиквикского клуба...

Например, Джинс вплоть до 1924 г. стоял на позициях гипотезы, связывавшей источник звездной энергии с гравитационным сжатием, а когда был вынужден отказаться от нее, стал считать источником звездной энергии... радиоактивность тогда еще гипотетических трансурановых ядер. Таким образом, после 1924 г. Джинс полагал, что «субатомные» источники энергии звезд не зависят от температуры и плотности среды. Между тем Эддингтон, двинувший глубокой астрономической интуицией и ничего не зная о природе этих, тогда еще загадочных источников, был убежден, что они должны зависеть от состояния вещества в недрах звезд. (Как выяснилось позже, такой зависимостью обладают только реакции термоядерного синтеза). Эддингтон прекрасно понимал, что лишь в этом

случае можно обеспечить тепловую устойчивость звезд. Локальный рост температуры в звездных недрах должен повлечь за собой более мощное выделение «субатомной» энергии. За этим последует расширение вещества звезды и его охлаждение, что сразу же уменьшит выход «субатомной» энергии. Другими словами, звезду можно рассматривать как своеобразную машину с отрицательной теплоемкостью. Без понимания этого обстоятельства нельзя представить себе, что такое звезда. Джинс этого не понимал.

Но не будем столь суровы к выдающемуся британскому физику-теоретику, одному из авторов общеизвестной формулы теории излучения и фундаментальной теории гравитационной неустойчивости — основы планетной, галактической и метagalактической космогонии. И можно вполне понять Джинса, если, например, проапатизировать соотношение «масса — светимость». Почему в этом соотношении отсутствует радиус звезды? Ведь для непрозрачной сферы, какой является звезда, светимость, казалось бы, должна быть пропорциональна $4\pi r^2$. И почему в этой формуле нет и намека на источники звездной энергии? Выходит любой газовый шар достаточно большой массы и данного химического состава должен генерировать совершенно определенную мощность излучения? Это очень непонятно! Звезда в какой-то степени уподобляется живому организму с его огромной способностью к адаптации. Звездные источники «субатомной» (т. е. ядерной) энергии как бы «подстраиваются» к стратификации характеристик вещества звезды и выделяют ровно столько энергии, сколько и должно быть согласно соотношению «масса — светимость». Но не все так просто. Например, красные гиганты имеют гипертрофированно высокую светимость по сравнению с массой, что объясняется их огромным радиусом. Значит, есть звезды, светимость которых определяется (при данной массе) их радиусом.

Соотношение «масса — светимость», конечно, применимо только к звездам главной последовательности. Но во времена Эддингтона и Джинса природа красных гигантов была еще совершенно не ясна. Первым, кто понял природу этих звезд, был замечательный эстонский астроном Э. Эпик, со всей определенностью указавший на реакции термоядерного синтеза как источник звездной энергии. Он же первый показал, что после выгорания водорода в ядре звезды ее наружные части должны сильно расширяться — возникнет феномен красного гиганта. Но работа

Эпика появилась лишь в 1937 г. Термоядерные реакции синтеза были уточнены и конкретизированы Г. Бете и К. Вайцзекером в 1939 г. и уже в послевоенное время трудами М. Шварцшильда (сын К. Шварцшильда) и его сотрудников была построена современная теория звездной эволюции, включающая и стадию красного гиганта.

Все это произошло много лет спустя после «баталлий» в Королевском астрономическом обществе. А в те далекие времена надо было обладать интуицией сэра Артура, чтобы не «сбиться с курса». Спор Эддингтона и Джинса для нас еще интересен и в психологическом плане. Это — спор чистого физика-теоретика, интересующегося астрономическими задачами, и прирожденного астронома, хорошо понимающего, что такое наблюдения и чего они стоят. Такие споры довольно часто случаются и в наши дни, ведь теперь астрономия стала весьма «престижной» наукой и в еще большей степени, чем раньше, привлекает к себе работников соседних областей знаний... Конечно, не следует думать, что Эддингтон был эдаким эмпириком, не владевшим оружием теории. Совсем наоборот, Эддингтон — высочайшего класса математик и далеко не заурядный теоретик. Однако его «главным оружием» было глубокое понимание специфики астрономии и совершенное владение ее методами.

Как уже упоминалось, Эддингтон был прекрасным знатоком общей теории относительности. Он же, поставив специальные наблюдения, получил важнейшие результаты, подтвердившие выводы этой теории. Напомним, что до недавнего времени общая теория относительности предсказывала три астрономических эффекта, хотя и малых по величине, но доступных наблюдению: во-первых, отклонение светового луча в поле тяготения Солнца, во-вторых, гравитационное красное смещение спектральных линий и, в-третьих, вековое движение перигелия Меркурия*). Проверка первых двух предсказаний общей теории относительности связана с именем Эддингтона. Прежде всего, во время полного солнечного затмения 29 мая 1919 г. он организовал, возглавил и принимал самое непосредственное участие в наблюдениях за отклонением звездных световых лучей, проходящих около солнечного

*) Сейчас известно около 20 эффектов, обусловленных общей теорией относительности, которые можно изучать средствами наблюдательной физики (например, гравитационная фокусировка всех видов излучения и покраснение квантов в гравитационном поле Земли).

диска. Блестящий результат этих наблюдений (величина отклонения $1,98'' \pm 0,30''$ у края Солнца при ожидаемых $1,75''$) в немалой степени способствовали триумфу общей теории относительности.

Эддингтон понимал, что для наблюдения гравитационного красного смещения линий Солнце — малоподходящий объект, так как гравитационный потенциал на его поверхности слишком мал. Эддингтон выбрал карлик — знаменитый спутник Сириуса. Сочетание высокой температуры и низкой светимости у этого объекта формально означало, что его радиус очень мал — лишь немного превосходит радиус Земли. Между тем масса спутника Сириуса близка к солнечной. Отсюда следовал удивительный вывод: средняя плотность вещества этой звездочки — около $50\,000\text{ г/см}^3$. Тогдашние специалисты считали определение плотности белого карлика забавным недоразумением, которое естественным образом разрешится в более или менее обозримом будущем. Эддингтон придерживался другого мнения. Он не только не сомневался, но и находил объяснение высокой плотности белого карлика в рамках своей концепции полной ионизации газа в звездных недрах и вытекающей отсюда возможности очень плотной «упаковки» ядер без существенных нарушений свойств идеального газа. Но надо было доказать, и притом независимо методом, что радиус спутника Сириуса действительно мал. И Эддингтон придумал, как это сделать.

Он написал письмо известному американскому астрофизическому У. Адамсу, работавшему на обсерватории Маунт Вилсон в Калифорнии, где находились крупнейшие по тем временам телескопы. В письме он попросил Адамса выполнить спектрографические наблюдения спутника Сириуса, чтобы определить гравитационное красное смещение линий поглощения. Учитывая большой гравитационный потенциал на поверхности этой звезды, Эддингтон ожидал, что красное смещение спектральных линий составит 28 км/с . Адамс получил величину, близкую к 20 км/с , что, как сразу же показал Эддингтон, полностью соответствовало новой, более низкой поверхностной температуре спутника Сириуса.

Измерения, выполненные Адамсом по предложению Эддингтона, как бы «убили двух зайцев». Во-первых, они блестяще подтвердили выводы общей теории относительности, во-вторых, независимо и окончательно доказали, что средняя плотность вещества спутника Сириуса около $50\,000\text{ г/см}^3$. Хотя Эддингтон полагал (как вскоре выяс-

нилось, ошибочно), что это вещество — идеальный газ, он ясно видел серьезные трудности, с которыми сталкивается подобное объяснение. Например, он задумывался над такой проблемой. Когда вещество белого карлика остывает и электроны рекомбинируют с протонами, средняя плотность обязательно должна стать близкой к плотности земных образцов твердого тела (около 10 г/см^3). Для этого белый карлик должен расшириться в несколько десятков раз. Но такое расширение потребует огромной энергии, ведь необходимо преодолеть чудовищную гравитацию белого карлика! Где же взять энергию? Эта и подобные ей проблемы были разрешены в 1926 г., когда английский теоретик У. Фаулер показал, что электроны в веществе белого карлика должны удовлетворять статистике Ферми — Дирака. Вещество белого карлика должно быть вырождено и по этой причине обладать рядом удивительных свойств, например, давление электронов не должно зависеть от температуры.

Новаторская работа Фаулера имела огромное значение для дальнейшего развития астрофизики. Увы, содержащиеся в этой работе новые идеи прошли мимо Эддингтона. И вот тут на сцене появляется индийский астрофизик С. Чандрасекар, которому в 1930 г. едва исполнилось 20 лет. Под влиянием лекций гостившего в Индии известного немецкого физика-теоретика и выдающегося педагога А. Зоммерфельда, он глубоко изучил статистику и атомную физику и стал заниматься теорией белых карликов, развивая идеи Фаулера. Довольно быстро он получил весьма интересные результаты о «релятивистском вырождении» вещества достаточно массивных белых карликов. В таких карликах электроны, движущиеся по «высоким орбитам» (двигаться по «низким орбитам» им запрещает принцип Паули), должны иметь релятивистские скорости. Это обстоятельство радикально меняет уравнение состояния вещества: вместо $P \sim \rho^{5/3}$ имеем $P \sim \rho^{4/3}$. Казалось бы, разница в степени невелика, а последствия — необозримые. Из нового уравнения состояния с очевидностью следует, что должен существовать верхний предел для массы белых карликов, близкий к 1,4 солнечной.

Эддингтон встретил этот удивительный результат в штыки на январском заседании Королевского астрономического общества в 1935 г. Поразительно, по отношению к Чандрасекару Эддингтон занял примерно такую же воинственную позицию, какую в 1916—1924 гг. занимал Джинс против него самого. Прежде всего, для Эддингтона

был совершенно непримлем вывод о существовании предельной массы у белых карликов. Это означало бы — недоумевал Эддингтон — неизбежную потерю гидростатического равновесия у таких звезд и их катастрофическое сжатие до фантастически малых размеров в несколько километров, когда гравитационный потенциал станет настолько большим, что даже свет из звезды не будет выходить. Но этого, конечно, не может быть — утверждал Эддингтон (он не верил в существование черных дыр). Природа должна была «изобрести» какое-нибудь средство, препятствующее потере механического равновесия белого карлика, и тем самым предохранить космическую материю от такого жалкого конца! Разумеется никаких формальных математических ошибок в трудах Чандрасекара Эддингтон не нашел. Но ведь расчетам молодого астрофизика нельзя доверять в принципе! Ведь само понятие «релятивистское вырождение» зиждется на двух устоях: теории относительности (хотя и специальной) и квантовой механике. Но ведь эти две области физики еще не объединились, значит, не о чем говорить! Такого понятия, как «релятивистское вырождение», просто не существует в природе! И до конца своих дней великий английский астроном термин «релятивистское вырождение» заключал в кавычки.

Потрясенный таким непониманием, Чандрасекар апеллировал к ведущим физикам мира — Н. Бору и В. Паули. Они безоговорочно поддержали молодого астрофизика, но Эддингтон оставался непреклонным. Чандрасекар написал монографию «Введение в исследования структуры звезд», где, в частности, содержится теория белых карликов. К тому времени реальность релятивистского вырождения и существование предельной массы у белых карликов были доказаны найденной для этих объектов эмпирической зависимостью «масса — радиус». В дальнейшем Чандрасекар не занимался строением и эволюцией звезд, он радикально переименовал область своих исследований.

Возможно, резко отрицательная позиция самого авторитетного астронома того времени задержала развитие теоретической релятивистской астрофизики лет на 10—15. И все-таки, думаю, это не имело сколько-нибудь серьезного значения для астрономии. Развитие релятивистской астрофизики стало возможным лишь после того, как началась вторая революция в астрономии и появились радиоастрономия и астрофизика высоких энергий — наблюдательные и экспериментальные направления астрономии.

Все это случилось уже в пост-эддингтоновское время, и здесь также кипели и кипят страсти и возникают коллизии... Страшная на первый взгляд позиция сэра Артура нуждается в объяснении. Похоже, что интуиция изменила ему и он проглядел зарождение важнейшей тенденции в развитии его любимой науки.

Не зря говорится, что «наши недостатки есть продолжение наших достоинств». Эддингтону принадлежит важнейшая идея о том, что все звезды главной последовательности благодаря полной ионизации вещества «насквозь газовые», причем имелся в виду, конечно, идеальный газ. Идея вырожденного газа прошла «мимо» Эддингтона, хотя он с ней и не спорил. Но вот релятивистское вырождение — это уже слишком, это какие-то модернистские выверты! Что ж, по-человечески его можно понять.

Эддингтон очень много сделал для астрономической науки. Я рассказал далеко не о всех его научных достижениях. Можно было бы остановиться на его пионерских исследованиях межзвездного газа, в которых он также проявил особенную прозорливость. Эддингтон первый сказал, что средняя концентрация межзвездных атомов около 1 см^{-3} , что кальций в межзвездной среде должен быть преимущественно в дважды ионизированном состоянии. Наконец, за полвека до открытия молекулярных межзвездных облаков он пророчески писал, что межзвездный водород скорее находится в молекулярном состоянии.

Многие годы Эддингтон занимался проблемами, весьма далекими от астрономии. Он пытался создать единую фундаментальную теорию всего сущего и даже написал об этом книгу. Не будем к нему строги — великий Эйнштейн пытался сделать то же самое. Эддингтон увлекался мистическими комбинациями мировых констант («таинственное число 137»*) — отголосок пифагорейских учений, а может быть, даже гениальное предвидение столь модного в наши дни «антропного принципа». Не такое уж это глупое занятие — размышлять о заблуждениях великих людей...

Помню, я очень поразился, узнав, что Эддингтон занимался невидимым миром. «Неужели радиоастрономия?» — с замешательством подумал я. Увы, это была чистейшая теология, которой увлекался глубоко религиозный,

*) Величина $1/137$ — постоянная тонкой структуры — характеризует слабость электромагнитного взаимодействия по сравнению с ядерным взаимодействием. Эддингтон придавал числу 137 мистический смысл.

выросший в квакерской семье Артур Стэпли Эддингтон. Ну что ж, тут, как говорится, ничего не поделаешь: ведь и великий Ньютон, правда, в XVIII в., в течение почти 20 лет составлял комментарии к откровениям пророка Даниила. Всякий человек прежде всего принадлежит своему времени и своей среде...

Эддингтон был великим тружеником. Он написал 13 (тринадцать!) книг по астрономии и физике и опубликовал свыше 150 научных работ. Среди его книг — всемирно известные монографии: «Внутреннее строение звезд» (1926 г.) и «Математическая теория относительности» (1923 г.). Они переведены на многие языки мира и, самое удивительное, — до сих пор сохранили свою «читабельность» и свежесть. Это в значительной степени объясняется несомненным литературным даром Эддингтона. Особенности имеют великолепно написанные научно-популярные книги Эддингтона «Звезды и атомы», «Природа физического мира», «Расширяющаяся Вселенная», которые были настольными книгами нескольких поколений любителей астрономии всего мира. Эти книги в огромной степени способствовали популяризации достижений астрономии среди читающих людей и, особенно, юношества.

...Этот пожилой, респектабельный старый холостяк, несправимый курильщик и отличный велосипедист был очень одинок, хотя весь мир признал его огромные научные заслуги. Он был членом различных академий наук, в том числе и Российской академии наук (с 1923 г.). Эддингтон всю жизнь работал и еще за день до того, как лечь на операцию (рак горла) 62-летний президент Международного астрономического союза держал в руке перо. Ровно через две недели, 22 ноября 1944 г., его не стало.

Думая о сэре Артуре, я его обычно представляю как одного из героев «Саги о Форсайтах» замечательного английского классика Голсуорси. Может быть, Сомса Форсайта. Но иногда этот образ заслоняет знаменитый жилец лондонского дома 221-бис па Бэйкер-стрит — со своей неизменной курительной трубкой он почему-то спит за огромным письменным столом...

Земля и Вселенная. — 1983. — № 6.

ЧТО БЫЛО, КОГДА «НИЧЕГО» НЕ БЫЛО?

Обсуждается проблема самого раннего этапа эволюции Вселенной. Ставится вопрос о возможности существования «других вселенных».

В течение нашего, двадцатого, теперь уже подходящего к концу столетия трудами четырех поколений астрономов создана величественная картина структуры и эволюции Вселенной. Прогресс астрономической науки заключался во все более глубоком познании природы различных космических объектов — планет, звезд, туманностей, галактик. Постепенно выявлялась и генетическая связь между объектами разной природы (например, планетарными туманностями и белыми карликами, молекулярными межзвездными облаками и космическими мазерами). Решающее значение в астрономии (как и раньше в биологии) получила эволюционная концепция: на всех «ярусах» (масштабах) Вселенной мы наблюдаем эволюцию, все космические объекты суть категории исторические. Это относится и к звездам разных типов, и к галактикам, и ко всей наблюдаемой сейчас Вселенной. 15—20 млрд лет тому назад ее свойства разительно отличались от «современных», в частности, не существовало ни звезд, ни галактик, а была только горячая водородно-гелиевая плазма, наполненная взаимодействующим с ней равновесным излучением. Все эти замечательные результаты в значительной степени получены благодаря бурному развитию новых средств исследований — порождению научно-технической революции.

Открытие Э. Хабблом феномена расширения Вселенной по своему революционному значению для человеческого сознания, несомненно, должно быть поставлено рядом с переворотом в науке, связанным с именем Коперника. Именно это открытие позволило установить важнейшее понятие — «возраст Вселенной», т. е. время, протекшее с той эпохи, когда физическое состояние Вселенной радикально отличалось от современного (например, не было звезд и галактик). Возраст Вселенной оказывается довольно незначительным — он всего лишь в три раза превышает возраст Солнечной системы! Оставим пока в стороне проблему возраста Вселенной и совершим небольшой исторический экскурс.

После того, как астрономия стала количественной наукой (а это случилось на рубеже XVI—XVII вв., после первой революции в астрономии, основными итогами кото-

рой были торжество гелиоцентрической системы и изобретение телескопа), она прошла через несколько этапов. Первый, самый длительный, характеризовался тем, что предметом исследования была только Солнечная система. Если прибегнуть к математической терминологии, для ученых той поры мир был ограничен «эпсилон-окрестностью» Земли, но они, конечно, этого не сознавали. Ведь со времен Аристотеля размеры доступного исследования мира увеличились во много десятков тысяч раз!

Хотя уже Ньютон имел более или менее правильное представление о расстояниях до ближайших звезд, «звездная Вселенная» стала по-настоящему изучаться лишь на рубеже XVIII—XIX вв., и прежде всего В. Гершелем. В начале XIX в. Ф. Бессель и В. Я. Струве определили первые звездные параллаксы. Весь XIX и начало XX в. прошли под знаком бурного развития звездной астрономии. Но только в 20-х годах нашего века проявились размеры и физические свойства Галактики и место в ней Солнечной системы — где-то на далекой периферии. Завершился второй, «галактический» этап развития астрономии. Открытие Галактики раздвинуло наблюдаемую нами область Вселенной еще в сотни миллионов раз!

Огромный мир галактик — космических «островов», состоящих из многих миллиардов звезд каждый, — был, по существу, открыт одним человеком — великим американским астрономом Э. Хабблом, кстати сказать, по образованию юристом! Вот уж, действительно, — самое большое открытие в науке!

Совокупность галактик, а также крайне разреженное вещество между ними мы будем называть Метагалактикой, хотя на ранних этапах ее эволюции галактик еще не существовало — было только вещество, из которого они потом образовались. Размеры Метагалактики *) почти в миллион раз превышают размеры Галактики. В ней движутся сотни миллиардов галактик, и вся эта система расширяется. Из анализа расширения следует, что 15—20 млрд лет тому назад все наблюдаемое в современную эпоху вещество Метагалактики занимало ничтожный объем, плотность этого вещества была тогда на много порядков выше ядерной, а температура неимоверно высока. Мы, астрономы, наблюдаем какой-то гигантский взрыв и его последствия, причем сами находимся в области этого взры-

*) Под размерами Метагалактики мы понимаем расстояние, которое свет проходит за время, равное возрасту Вселенной.

ва. В процессе взрыва свойства вещества меняются сперва невероятно быстро, потом все медленнее и медленнее.

И вот здесь возникает основной вопрос. Каждый из трех этапов развития астрономии сопровождался огромным возрастанием размеров изучаемой области Космоса. Со времен Галилея размеры этой области увеличились почти в 10^{15} , а объем, соответственно, в 10^{45} раз. Можно ли ожидать, что вслед за третьим, «метagalактическим», этапом астрономии наступит четвертый? И как можно (и можно ли?) представить на этом воображаемом следующем этапе увеличение размеров области исследования на много порядков? Куда прикажете поместить воображаемую «сверхвселенную»?

К этому вопросу непосредственно примыкает другой. Изучая самые ранние этапы расширения Вселенной, астрономы, что называется, уже «дошли до точки». Вся совокупность данных наблюдений говорит за то, что 15—20 млрд лет тому назад вещество нашей Вселенной (в случае «закрытой» модели с конечным объемом) было как бы собрано в точку — «сингулярность» *). Выходит, можно говорить о «начале» мира? И, значит, это самое начало было, если раньше ничего не было?

Вопрос принадлежит к категории «детских», т. е. обычно самых глубоких и коренных. К числу «детских» относится, например, и такой вопрос: почему поле тяжести сообщает всем находящимся в нем телам одинаковое ускорение? Из этого вопроса выросла общая теория относительности. Школьник Эйнштейн задумался над тем, что случилось бы, если бы мы могли следовать за световой волной со скоростью света. И через 10 лет появилась его знаменитая работа «К электродинамике движущихся тел».

Ответ на поставленный выше «детский» вопрос о происхождении нашей Вселенной необходимо дать уже сейчас. Невразумительно-уклончивая позиция, на наш взгляд, здесь неуместна, а может быть, и вредна. Если не стоять на материалистических позициях, то следует признать, что этот чудовищно высокой плотности (больше 10^{93} г/см³) и температуры (10^{31} К), крохотный (около 10^{-33} см) «сверхгигант» (ибо из него по каким-то внутренним законам

*) Если же рассматривать «открытую», бесконечно протяженную модель Вселенной, то в начале эпохи расширения сингулярность должна быть в каждой точке бесконечного пространства.

развития образовалась наблюдаемая нами Вселенная с ее невообразимо богатой структурой и процессами, например, разумной жизнью) был создан из ничего. Можно, конечно, сказать, возник из ничего, хотя это сути дела не меняет. Но мы — материалисты и в чудеса не верим. Коль скоро это так, то по нашему мнению, имеются только два возможных ответа на поставленный выше «детский» вопрос. Первый ответ — вполне в духе гоголевского безумца Поприщина: «Не было ничего, было черт знает что такое!». Расшифруем этот ответ в терминах современной науки.

Все основные законы природы, в том числе пространственно-временные соотношения, справедливы лишь при определенных условиях. Никогда не следует, что при тех экстремальных значениях плотности, температуры и масштабов, которые господствуют в сингулярности, имеет смысл пользоваться такими фундаментальными понятиями, как «раньше» и «позже». Ведь настоящего «великого объединения» всех взаимодействий, включая и гравитацию, пока еще нет, и, каковы законы природы в столь экстремальных условиях, мы сейчас просто не знаем. По существу, «ответ Поприщина» состоит в том, что мы еще не доросли до понимания сингулярности и не известно, когда дорастем. Так что, товарищи детки, подождите, ну, хотя бы до XXIII века — авось подрастете!

Такой, в общем-то довольно уклончивый, хотя и разумный, ответ не может, конечно, понравиться «товарищам деткам». Вспоминается поучительный пример из истории астрономической науки. А. Эддингтон — один из величайших астрономов XX века — никак не принимал вывод С. Чандрасекара о наличии предельной массы у белых карликов (см. «Размышления об Эддингтоне, с. 225). Этот фундаментальной важности результат отвергался им на том основании, что объединенная теория гравитации и квантов тогда (как и сейчас) отсутствовала!

Итак, «ответ Поприщина» никак не удовлетворяет детское любопытство. Тем более, что есть другой, довольно неожиданный ответ, который вполне мог бы принадлежать невезучему вольтеровскому философу Панглосу: «Никаких проблем нет, детки! Мы просто живем в лучшем из миров». Такой ответ неявно предполагает, что миров много, и в подавляющем своем большинстве, они мало комфортабельны... А теперь, как любил говорить один мой знакомый: «Путки в сторону, а все остальное — в другую!».

Уже отмечалось, что Вселенная, в которой мы живем, имеет богатейший спектр свойств и весьма замысловатую историю. И тут возникает еще один вопрос: является ли Вселенная только чем-то внешним по отношению к нам — довольно высокоорганизованным существом, населяющим крохотную и в некотором роде уникальную планету? Разве Вселенная — это всего лишь некая познаваемая материальная субстанция, объективно существующая вне нашего познания? Иными словами, могла ли Вселенная быть совершенно другой, с другими законами? Конечно, могла бы, но...

Очевидно, далеко не во всякой вселенной могла бы существовать столь сложная и высокоорганизованная форма движения материи, как жизнь. Это раньше, когда науки были в зачаточном состоянии, В. Гершель серьезно утверждал, что на Солнце живут разумные существа, которые сквозь разрывы в ослепительно ярких облаках фотосферы, наблюдаемые с Земли как темные пятна, могут любоваться звездным небом... Заметим, что и Ньютон считал Солнце обитаемым... Естественно, что на ранних этапах расширения наблюдаемой Вселенной жизни в ней не могло быть. Ведь для жизни прежде всего необходим набор очень сложных, «сверхмногоатомных» молекул. Их тогда не могло быть из-за разрушительной сверхвысокой температуры и отсутствия тяжелых элементов. Последние образуются значительно позже, в результате эволюции звездных недр и, в частности, взрывов звезд, обычно называемых вспышками сверхновых. Не было бы таких вспышек — не было бы во Вселенной ядер железа, не было бы и гемоглобина или чего-то такого, для жизни не менее важного.

Еще в 50-х годах известный советский космолог А. Л. Зельманов обратил внимание на удивительную «приспособляемость» свойств Вселенной к развитию в ней жизни. По мысли А. Л. Зельманова, другие вселенные (если они есть!) развиваются «без свидетелей». В дальнейшем этой проблемой много занимался американский физик Р. Дике. В нашей стране заметный вклад в такого рода исследования внес И. Л. Розенталь.

Точка зрения, согласно которой мы наблюдаем Вселенную именно такой, какая она есть, просто потому, что мы существуем и в другой вселенной существовать не могли бы, получила название «антропный принцип». Сущность его в том, что жизнь (в частности, мы с вами) — неотъемлемая часть Вселенной, естественное следствие ее

эволюции. Вселенная не есть что-то внешнее по отношению к жизни; с полным основанием можно сказать: «Вселенная — это мы». Поэтому не надо удивляться, что она так прекрасно приспособлена для жизни. Поясним «антропный принцип» на нескольких примерах.

Как известно, существуют всего четыре типа взаимодействий, каждое из которых характеризуется своей безразмерной константой. Эти взаимодействия суть: электромагнитные (константа взаимодействия $\alpha \approx 1/137$), гравитационные ($\alpha_g \approx 5 \cdot 10^{-39}$), слабые ($\alpha_w \approx 10^{-11}$), сильные ($\alpha_s \approx 1$). Оказывается, между константами взаимодействий и фундаментальными свойствами Вселенной существует странная зависимость. Например, горизонт видимости Вселенной (ее радиус):

$$R_U = ct_0 \approx \left(\frac{\alpha}{\alpha_g} \right) \cdot a_0,$$

где t_0 — возраст Вселенной, $a_0 = 0,53 \cdot 10^{-8}$ см — радиус первой боровской орбиты атома водорода. Антропный принцип непринужденно объясняет это, казалось бы, мистическое соотношение.

Очевидно, для того, чтобы где-нибудь во Вселенной возникла жизнь, необходимы тяжелые элементы. Они образуются в результате эволюции звезд, в частности, вспышек сверхновых. Если масса последних около 1,5 солнечной (сверхновые I типа, ответственные за синтез ядер железа), то их возраст t_1 будет несколько миллиардов лет. Возраст Вселенной не может существенно превышать возраста сверхновых. В противном случае практически все звезды превратились бы в белые карлики, чего заведомо не наблюдается. Поэтому можно принять, что $t_0 \sim t_1$. С другой стороны, из теории внутреннего строения и эволюции звезд можно получить соотношение

$$t_1 = \alpha_G^{-1} \cdot t_p,$$

где

$$t_p \sim \frac{r_p}{c} \sim 10^{-23} \text{ с}$$

($r_p \sim 10^{-13}$ см — радиус протона). Значит,

$$t_0 \sim t_1 \sim \alpha_G^{-1} \cdot t_p; \quad ct_0 = R_U \sim \alpha_G^{-1} \cdot r_p = \left(\frac{\alpha}{\alpha_g} \right) \cdot a_0.$$

Таким образом, соотношение между размерами Вселенной и атома есть следствие условия наблюдаемости Вселенной разумными существами!

И. Л. Розенталь вообще считает, что вся структура Вселенной и ее история определяется «семью числами»: четырьмя константами взаимодействий, отношениями m_e/m_N и $\Delta m_N/m_N$, где m_e — масса электрона, m_N — усредненная масса нуклона, $\Delta m_N = m_n - m_p$ (m_n и m_p — массы нейтрона и протона) и N — размерностью физического пространства. По отношению к этим «семи числам» структура Вселенной неустойчива: сравнительно небольшие их изменения влекут за собой весьма радикальные изменения самой природы Вселенной. Например, если бы масса электрона не была намного меньше массы нуклона, во Вселенной не происходил бы синтез дейтерия и звезды не излучали бы. Энергия связи дейтрона (ядра тяжелого изотопа водорода) $E_a = 2,2$ МэВ — невелика, но она больше $\Delta m_N = 1,3$ МэВ. Если бы Δm_N было в два раза больше, дейтрон как стабильная частица не мог бы существовать, и нуклеосинтез оказался бы невозможным. Из условия протекания реакций синтеза $p + p \rightarrow d + e^+ + \nu$ следует, что масса электрона должна быть меньше $E_a/2 = 1,1$ МэВ. Это требование выполняется почти на пределе: если бы масса электрона была всего только вдвое больше существующей, нуклеосинтез во Вселенной не происходил бы. Заметим, что, если сравнивать с другими элементарными частицами (барionsами, мезонами, лептонами), масса электрона представляется удивительно малой. Она резко «отскакивает» от масс других элементарных частиц, являясь как бы флуктуацией в их распределении. Заранее нигде не следует, что самый легкий (и поэтому устойчивый) лептон (каким является электрон) должен иметь такую маленькую массу. Величина Δm_N также представляется аномально малой.

Приведем еще пример. Если бы величина константы сильного взаимодействия увеличивалась хотя бы на 10%, то с огромной скоростью протекала бы реакция $p + p \rightarrow \text{He}^2 + \gamma$, а определяющая весь нуклеосинтез во Вселенной реакция $p + p \rightarrow d + e^+ + \nu$ была бы подавлена. При такой ситуации весь водород на ранних стадиях развития Вселенной превратился бы в гелий. Ни о какой жизни в подобной Вселенной, где, в частности, не было бы воды, не может идти речь. Даже незначительное изменение константы сильного взаимодействия сделало бы важнейшую в нуклеосинтезе «тройную» реакцию $3^4\text{He} \rightarrow ^{12}\text{C}$

невозможной. В этом случае все элементы с зарядом больше двух во Вселенной практически отсутствовали бы.

Мы живем в пространстве трех измерений. Случайно это или закономерно? На очередной «детский» вопрос ответ можно дать уже сейчас. Этой проблемой когда-то занимался выдающийся австрийский физик П. Эренфест, некоторое время живший и работавший в нашей стране. На основании классической теоремы Гаусса он получил простое выражение для взаимодействия точечных источников в пространстве N измерений:

$$F \sim \frac{1}{r^{N-1}}.$$

Выполненный Эренфестом анализ устойчивости двух тел, взаимодействующих по этому закону, позволил сделать вывод, что при $N > 3$ устойчивые состояния отсутствуют, а при $N \leq 2$ движение происходит только в ограниченной области. (Заметим еще, что на основании общей теории относительности гравитационное взаимодействие тел при $N \leq 2$ отсутствует). Только при $N = 3$ возможны как «связанные», так и «диссоциированные» («инфинитные») движения, что как раз и реализуется в наблюдаемой Вселенной.

Таким образом, трехмерное пространство представляется выделенным, только в нем способны существовать атомы и планетные системы.

Оставаясь на материалистической позиции, конечно, нельзя считать, что Вселенная была специально создана для того, чтобы на каком-то этапе ее развития в ее крохотных пространственно-временных областях возникла жизнь, даже разумная жизнь. Какой же вывод остается сделать? Только один: считать, что наблюдаемая нами Вселенная не существует, так сказать, в единственном числе, а имеется огромное, скорее всего, бесконечное множество разных вселенных (с маленькой буквы). В своем подавляющем большинстве эти вселенные «пустые», то есть безжизненные. И лишь невообразимо редко, с ничтожнейшей вероятностью среди них попадаются объекты, более или менее похожие на нашу удивительную и прекрасную Вселенную (с большой буквы).

Сделав такое предположение, диктуемое логикой и философией, мы, по существу, совершаем скачок, во всяком случае не меньший, чем переход от чисто «околосолнечной» астрономии XVI—XVII вв. к галактической и даже

метagalактической астрономии. Целесообразно ввести особое понятие для бесконечного многообразия, включающего в себя неисчислимое множество самых различных вселенных, каждую со своим набором констант взаимодействия и фундаментальными числами. Назовем это понятие «Миром» (может быть, лучше было бы использовать старую орфографию: «Мір»?). Неплохо выглядит также термин «Метавселенная».

Есть, впрочем, одна важная особенность, характерная для последнего «яруса» познаваемого нами Космоса, делающая его качественно отличным от Метагалактики. Многочисленные и чудовищно разнообразные объекты Метавселенной принципиально ненаблюдаемы, так как паходятся за пределами «горизонта» событий. Их, например, нельзя связать световыми сигналами, поэтому можно считать, что каждая вселенная практически строго изолирована. Возникает вопрос: имеет ли смысл обсуждать принципиально ненаблюдаемые категории? Вопрос этот не праздный, ведь квантовая механика просто «изъяла из обращения» все, что принципиально ненаблюдаемо (скажем, картину движения электронов в атоме по орбитам). Думается, однако, что в случае Метавселенной ситуация отлична от квантово-механической. Дело в том, что удивительные закономерности в нашей Вселенной, о которых шла речь, по-видимому, могут быть поняты (по крайней мере, открывается возможность для их понимания) только путем привлечения категорий Метавселенной. К тому же при современном уровне науки нельзя с полной определенностью утверждать, что другие вселенные (и вообще все то, что находится за горизонтом мира) принципиально ненаблюдаемы. И даже в наше время делаются отдельные смелые попытки хотя бы мысленно преодолеть пространственно-временные барьеры, используя удивительные свойства черных и белых дыр.

По этим причинам анализ свойств других вселенных имеет полное право на существование в современной науке. Ситуация вполне аналогична исследованиям проблемы внеземных цивилизаций. Уже предпринято несколько довольно серьезных попыток теоретического анализа возможностей и условий существования других вселенных. Заслуживает, например, внимания попытка И. Л. Розенталя. Он исходит из посылки, что в многомерном (даже бесконечномерном) фоновом континууме Минковского возникают из-за некоторой неустойчивости «закрытые» вселенные с размерностями больше трех. В процессе эволю-

ции размерности этих вселенных могут уменьшаться, отдельные координаты («измерения») свертываются, как бы «отсыхают», сливаясь с космическим фоном. Последний можно рассматривать как пекую разновидность физического вакуума.

Кстати, согласно современным представлениям, когда возраст нашей Вселенной был неизмеримо меньше наносекунды, она представляла собой физический вакуум — никаких элементарных частиц еще не было, они родились из этого вакуума позднее. Мы везде перед словом «вакуум» ставим прилагательное «физический». Современный физический вакуум — это не ньютоновская пустота, он весь насыщен виртуальными частицами и полями, которые время от времени по определенным законам «материализуются». Такому пониманию вакуума мы обязаны выдающемуся английскому физiku, классiku науки П. Дираку. В самое последнее время было обосновано представление, что тот вакуум, в который мы погружены, это как бы «не настоящий» вакуум. Есть основания полагать, что окружающая нас пустота — возбужденное (метастабильное) состояние физического вакуума. В первые мгновения существования Вселенной вакуум находился в другом, еще более «высоком» возбужденном состоянии *).

Вернемся, однако, «к нашим баранам», если позволительно так фамильярно называть рождающиеся из вакуума вселенные с произвольным числом измерений. Каждая из них при рождении может обладать определенным, «своим» набором констант взаимодействия и, в конце концов, «своим» набором элементарных частиц. Возможно, что на самых ранних этапах существования вселенные имели только по одной константе взаимодействия, которая потом «расщепилась», вполне в духе идеологии «великого объединения». По-видимому, свойство «закрытости» (замк-

*) Все-таки человек — существо непостижимое... Еще не успела как следует сформироваться идея о существовании разных состояний вакуума, как возникла идея... вакуумной бомбы! В любопытной работе Г. Хата и М. Риса обсуждается возможность перехода нашего возбужденного вакуума в «истинный» вакуум. Спусковым механизмом такого перехода могло быть столкновение частиц сверхвысокой энергии (больше 10^{20} эВ), что в принципе можно осуществить в будущих поколениях ускорителей. Такой переход привел бы к распространению во Вселенной со скоростью света сферической волны, в которой бы выделялась огромная энергия, уничтожающая все внутри... К счастью, как показали Хат и Рис, такая ситуация нам пока не угрожает.

нутости или почти замкнутости) является существенным свойством этих вселенных, ибо нелегко себе представить спонтанное рождение из бесконечного фонового континуума бесконечно протяженных «открытых» вселенных. Впрочем, говоря о столь высоких материях, всякого рода соображения «наглядности», пожалуй, следует оставить...

Итак, мы приходим к представлению, что наша Вселенная, как и другие вселенные, суть флуктуации в бесконечном пространственно-временном континууме Минковского, представляющем особого рода физический вакуум. В истории науки аналогичная идея была высказана еще на рубеже нашего века. Она принадлежит замечательному австрийскому физiku Л. Больцману. Правда, обстоятельства, побудившие Больцмана предложить столь удивительную гипотезу, были другие, нежели сейчас: он пытался преодолеть трудности, связанные с парадоксом «тепловой смерти» Вселенной. В те далекие годы этот парадокс стал чуть ли не главной проблемой философии естествознания. Отдавая должное блеску ума Больцмана, современники восприняли его идею довольно скептически. Даже в середине 40-х годов мне приходилось слышать такую «критику» концепции Больцмана: конечно, можно рассматривать нашу Вселенную как флуктуацию, без которой жизнь была бы невозможна, но почему флуктуация столь огромна? Ведь для возникновения и развития жизни вполне достаточно неизмеримо меньшей флуктуации, размером, например с Солнечную систему... В том-то и дело, что недостаточно, даже с чисто биохимической точки зрения! Для возникновения жизни нужно, чтобы во Вселенной шел нуклеосинтез, звездообразование и многое другое, а это требует как раз того пространственно-временного масштаба, которым обладает наша Вселенная. Таким образом, по моему мнению, антропный принцип логически вытекает из флуктуационной гипотезы Больцмана.

Несколько лет тому назад я опубликовал статью «Вторая революция в астрономии подходит к концу» (См. с. 197). Там обосновывалось утверждение, что в итоге бурного развития астрономии в течение последних десятилетий картина Вселенной и ее эволюция стали для нас в первом приближении ясны. В этой области знаний уже не приходится ожидать революционных взрывов, аналогичных, например, переходу от геоцентрической к гелиоцентрической системе мировоззрения или

открытию совершенно нового мира явлений, без которого невозможно понять знакомую реальность, как это было в случае открытия радиоактивности. Можно теперь уточнить главную мысль статьи, опубликованной в «Вопросах философии». Там речь идет о нашей Вселенной, где очень далек от ясности только самый ранний этап ее развития (возникновения?). Что касается Метавселенной, то ее исследование сейчас находится в эмбриональной стадии. Надо полагать, что эта новая волнующая ступень человеческого познания будет предметом третьей и последующих революций в нашей науке о небе.

Земля и Вселенная.— 1984.— № 4.

Научно-популярное издание

Шкловский Носиф Самуилович

ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ АСТРОФИЗИКИ

Заведующий редакцией *Г. С. Куликов*

Редактор *О. В. Салецкая*

Художник *Б. М. Рябышев*

Художественный редактор *Т. П. Кольченко*

Технический редактор *С. Я. Шкляр*

Корректор *И. Я. Кришталь*

ИБ № 32482

Сдано в набор 13.01.88. Подписано к печати 15.08.88. Т-17798. Формат 84×108/32. Бумага для множ. аппаратов. Гарнитура обыкновенная новая. Печать высокая. Усл. печ. л. 13,44. Усл. кр.-отт. 13,65. Уч.-изд. л. 14,18. Тираж 12 000 экз. Заказ № 13. Цена 1 р. 20 к.

Ордена Трудового Красного Знамени
издательство «Наука»

Главная редакция
физико-математической литературы
117071 Москва В-71, Ленинский проспект, 15

Четвертая типография издательства «Наука»
630077 г. Новосибирск-77, Станиславского, 25

JOSEPH S. SHKLOVSKY

PROBLEMS OF MODERN
ASTROPHYSICS

Moscow, Nauka, Main Editorial Board for Physical
and Mathematical Literature, 1988

This is the second revised edition of a compilation of selected articles by the famous soviet astronomer. Joseph S. Shklovsky (1916—1985), a world—renowned theoretical astrophysicist, was also an author of such books as «Cosmic radio waves», «Solar corona», «Supernovae and Their remnants», «Stars: their birth and death» and the widely known «Life in the Universe». The articles in this issue contain both Shklovsky's numerous contributions to our understanding of the Universe, and his reflections on the impact of the technological revolution on scientific and cultural evolution of our civilization. Although he originated many scientific arguments of the possibility of intelligent life elsewhere in the Universe, but in one of the articles here he made a very important clarification about the possible Uniqueness of our civilization. Two new papers were added to the second edition: one about the very first moments of the existence of the Universe, and the second—dedicated to the great astronomer A. Eddington. Also included is a reflection about Shklovsky by his younger colleagues.