

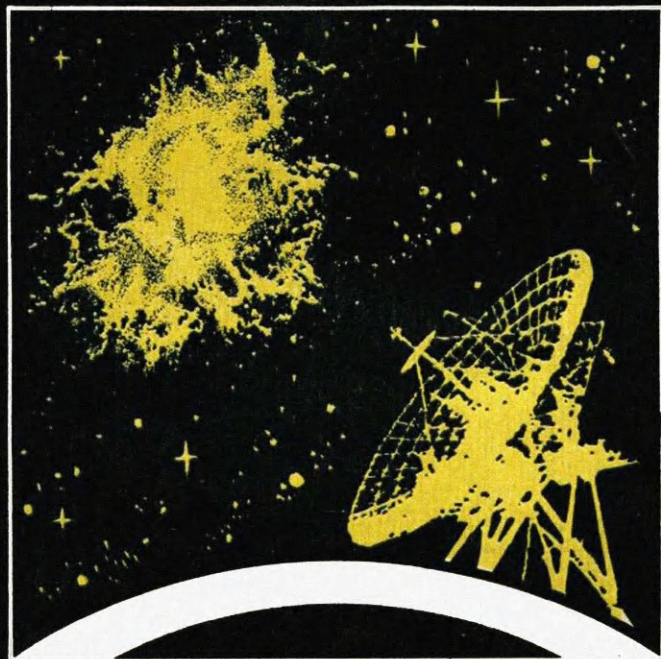
# КОСМОНАВТИКА, АСТРОНОМИЯ

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ



1982/11

И.С.Шкловский  
ИЗ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ  
РАДИОАСТРОНОМИИ В СССР



**ЗНАНИЕ**

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

**КОСМОНАВТИКА,  
АСТРОНОМИЯ**

11/1982

Издается ежемесячно с 1971 г.

**И. С. Шкловский,**

член-корреспондент АН СССР,  
лауреат Ленинской премии

**ИЗ ИСТОРИИ  
РАЗВИТИЯ  
РАДИОАСТРОНОМИИ  
В СССР**

**Шкловский И. С.**

**Ш 66** Из истории развития радиоастрономии в СССР. — М.: Знание, 1982. — 64 с. — (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Космонавтика, астрономия»; № 11).

11 к.

В настоящее время радиоастрономические исследования стали одним из ведущих направлений изучения Вселенной и привели ко многим открытиям, значительно расширившим наши знания, что позволило говорить о «второй революции» в области астрономических наблюдений (после «первой революции», связанной с введением телескопа в практику астрономов). Некоторое представление о том, как зарождалась отечественная радиоастрономия, можно получить, прочтя эту брошюру.

Брошюра рассчитана на всех интересующихся проблемами астрономии.

**1705010000**

**ББК 22.6**  
**52**

Я не пытаюсь здесь полностью изложить историю развития радиоастрономии в СССР. Прежде всего некоторые мои высказывания носят субъективный характер и могут представлять чисто человеческий интерес.

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 изобразительных средств у меня не было — времена были суровые и нищета была полная) с трех лет. С тех пор я рисовал 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<sup>1</sup>.

Поступил же я на физический факультет Дальневосточного университета в 1933 г., имея только семиклассное образование, по совершенно случайной причине. Летом 1932 г., имея от роду 16 лет и работая десятником на строительстве Байкало-Амурской магистрали (БАМ начинали строить уже тогда), я в библиотеке нашего строительного участка прочел в журнале «Новый мир» статью об открытии нейтрона. Это поразило меня до глубины души, ломая мои примитивные тогдашние представления о природе материи.

Как я мечтал тогда и в последующие годы стать физиком-теоретиком! Но жизнь распорядилась иначе.

---

<sup>1</sup> Другой моей природной склонностью всегда были география и история. Я и до сих пор не могу равнодушно пройти мимо географической карты.

И опять-таки чисто случайно я после окончания физического факультета МГУ попал в Государственный астрономический институт имени Штернберга, думая, что это ненадолго. Вышло, однако, так, что с этим институтом оказалась связанной вся моя жизнь. И вот уже свыше 40 лет занимаюсь астрономией, а точнее, теми ее новыми, бурно развивающимися областями, которые революционировали эту науку.

И я по-настоящему горжусь тем, что стоял у колыбели и принимал посильное участие во «второй революции» в астрономической науке. Мне очень повезло, что судьба подарила мне жизненное поприще, вполне соответствующее моему характеру и способностям и что родился я в подходящее для их реализации время.

До мельчайших деталей я помню июльский день 1938 г., когда я в первый раз оказался на залитом солнцем, совершенно поленовском «московском дворике» обсерватории. Где-то за переулком Павлика Морозова высился купол близкой церковки. Над желтым, местами сильно облупленным обсерваторским домом подымался купол башни старинного астрографа. На скамеечке, неподалеку от входа во двор, сидел, положив руки на палку, совершенно прозрачный, с седенькой бородкой клинышком, вполне нестеровский старичок. Он удивительно гармонично вписывался в окружающий архаический пейзаж XIX в. Как я потом узнал, это был здешний «патриарх» — Сергей Николаевич Блажко. В канцелярии «царствовала» Елена Андреевна (она и сейчас, спустя 44 года, там царствует).

В прошлом году моему Астрономическому институту им. Штернберга (ГАИШ) исполнилось 150 лет. В связи с этим юбилеем у меня в голове возникли разные мысли и одолели воспоминания. Как странно, например, что я знал свой родной институт почти треть его полутора-векового существования! А ведь в нем вполне мог бы вать А. С. Пушкин, будь у него хоть малейший интерес к физико-математическим наукам. А вот А. И. Герцен был одним из первых студентов астрономического отделения Московского университета. 26 июня 1833 г. он защитил здесь диссертацию под названием «Аналитическое изложение солнечной системы Коперника». По нынешним понятиям, это была, конечно, не кандидатская диссертация, а дипломная работа. Герцен очень огор-

чился, получив серебряную медаль. Золотая медаль была присуждена его однокурснику Драшусову — впоследствии профессору астрономии Московского университета и директору обсерватории. Герцен был знаком и с астрономом профессором Д. М. Перевощиковым — первым директором Московской обсерватории, с которым встречался в доме Щепкина<sup>2</sup>.

В те далекие предвоенные годы, когда я поступал в аспирантуру ГАИШ, директором там был Василий Григорьевич Фесенков, личность яркая и самобытная. Сейчас, сквозь пелену ушедших лет, я, конечно, вижу его в правильном масштабе. Это был типичный представитель старой дореволюционной русской науки, перешагнувший рубеж 1917 г. В некоторых областях уровень физико-математических наук в России был низок, хотя, конечно, не переводились отдельные таланты. Характерным стилем Василия Григорьевича, или, как его кратко называли — Феса, была любовь к самодельным приборам<sup>3</sup>.

Что-то у него было от человека, ставшего ученым путем самообразования (хотя и в Сорбонне учился). В нем причудливо сочетались широта натуры и какой-то примитивный, даже детский эгоизм. В те годы я тихо любовался его монументальной фигурой и благоговел перед ним. Было в нем, однако, качество, ставшее в наши дни редким среди ученых: живое ощущение реаль-

---

<sup>2</sup> Между ними как-то имел место такой любопытный разговор (Былое и думы. М., 1974, с. 153). **Перевощиков:** «Жаль-с, очень жаль-с, что обстоятельства помешали Вам заниматься делом — у Вас прекрасные были-с способности-с». **Герцен:** «Не всем на небо лезть. Мы и здесь, на земле кое-чем занимаемся».

<sup>3</sup> В. И. Мороз рассказал мне прелестную историю о том, как Фес в 1954 г., будучи тогда директором Алма-Атинской обсерватории, распорядился с помощью подручных (весьма скромных) средств соорудить установку, с помощью которой мышам сообщалось большое ускорение. Цель этих экспериментов — исследовать (за три года до запуска первого спутника и второго с Лайкой), как зверьки переносят космический полет. Работа закипела, и установку слепили довольно быстро.

Первая жертва космической медицины после нелегкого испытания вроде бы дышала. Фес срочно созвал ученый совет обсерватории с приглашением гостей, на котором доложил, и притом в самых оптимистических тонах, результаты эксперимента. Затем для пущей наглядности он попросил публику осмотреть несчастного мышонка. Увы, в тот же самый момент тот испустил дух... Больше Василий Григорьевич к космонавтике не возвращался.

ной природы, удивительным образом сочетающееся с недоверием к ее видимым явлениям. Я навсегда запомнил его чуть заметную усмешку, неизменно игравшую на лице. К нам, мелюзге, он относился с благожелательной снисходительностью.

Хорошо помню, например, как я предложил двум моим коллегам-аспирантам решить знаменитую задачу, которую чеховский гимназист-репетитор задал купеческому сынку Пете. В ней условие начиналось традиционной фразой: «Купец купил...»—и ее следовало решать без икса — ведь папаша-купец посрамил гимназистика, решив ее на счетах. Аспиранты это никак не могли сделать. В это время через аудиторию проходил Фес. Я набрался храбрости и попросил его решить эту задачу. Надо было видеть, с каким детским азартом Василий Григорьевич взялся за дело и решил задачку, посралив заучившихся аспирантов.

Как же получилось, что я стал заниматься только что возникшей радиоастрономией? Ведь я никогда ни в школе, подобно многим мальчишкам моего поколения, ни на физфаке МГУ не занимался радиолюбительством. Начало моей карьеры в астрономии связано с теоретическим анализом необычных условий в солнечной короне. Незадолго до этого появились первые указания на чрезвычайно высокую кинетическую температуру в этой самой наружной оболочке Солнца.

Это теперь каждый студент знает, что кинетическая температура там порядка миллиона градусов. Но совсем другое положение было в первые послевоенные годы. Сама идея о горячей короне, простирающейся над сравнительно холодной солнечной фотосферой, казалась дикой. Приходилось отказываться от таких привычных для астрофизиков концепций, как локальное термодинамическое и лучистое равновесие.

Совершенно по-новому стала проблема ионизации вещества в столь экстремальных условиях. Этой проблемой я особенно много занимался в первые послевоенные годы. Даже в случае межзвездной среды и планетарных туманностей, где астрономы столкнулись с сильнейшими отклонениями от состояния термодинамического равновесия, ионизационная формула по своей структуре была подобна классической формуле Саха. В солнечной короне, однако, высокая кинетическая

температура делала электронные столкновения основным механизмом ионизации газа, в то время как радиационные рекомбинации его нейтрализовывали.

Для построения количественной теории ионизации (которая в отличие от равновесного случая не зависит от электронной плотности, что также казалось диким) требовалось знание эффективных сечений элементарных процессов, которые далеко не всегда были известны. Короче говоря, создавалась новая астрофизика. Вполне естественно, что астрофизики старшего поколения (возраст которых зачастую лишь немного превосходил мой) относились с крайним недоверием к таким «модернистским вывертам». Даже будущие наши ведущие специалисты по физике Солнца яростно отстаивали концепцию «холодной короны».

Хорошо помню, что в моей нелегкой борьбе со сторонниками этой концепции меня поддерживал Г. А. Шайн — человек высокого благородства и огромной проницательности. Вспоминается еще, что когда я первым из астрономов стал пользоваться понятием «плазма», один, ныне здравствующий крупный специалист по Солнцу, поднял меня на смех: у него слово «плазма» ассоциировалось с компонентой крови и другими чисто биологическими понятиями.

Обрисованная выше картина должна рассматриваться как фон, на котором в бурном темпе стали разворачиваться события, знаменовавшие вторжение «второй революции» в астрономию в Москву. Для меня все началось с того, что мне зачем-то очень 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, тщательно 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 незначительных 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 — радиоизлучение 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.

Тогда, в конференц-зале ФИАН я вдруг с полной ясностью осознал, что радиоизлучение Солнца должно состоять из двух компонентов. Первый компонент — тепловой и должен быть связан с солнечной короной. (Я сразу же оценил, что корона непрозрачна для метровых волн и поэтому, согласно закону Кирхгофа, должна излучать на этих волнах в соответствии со своей температурой.) Кроме того, должен быть еще второй, неравновесный компонент, который я тут же окрестил «спорадическим». Забавно, что последний термин получил вскоре широкое распространение и довольно часто использовался, особенно в нашей стране.

До сих пор удивляюсь, что тогда же, слушая доклад Ю. Б. Кобзарева, я связал спорадическое радиоизлуче-

ние Солнца с плазменными колебаниями, генерируемыми потоками быстро движущихся заряженных частиц, выбрасываемых активными областями на Солнце. Ведь на самом деле, как показали дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования, процесс генерации спорадического солнечного радиоизлучения необыкновенно сложен. Достаточно сказать, что плазменные колебания представляют собой продольные волны и, казалось бы, на первый взгляд никак не связаны с поперечными электромагнитными радиоволнами. Их связь, определяющая КПД процесса трансформации кинетической энергии пучка в электромагнитное излучение, была выяснена путем довольно тонких исследований только в последующие годы. Если бы я отчетливо понимал те огромные трудности математического характера, с которыми при этом пришлось столкнуться, то, конечно, никогда не отважился предложить такой механизм генерации спорадического радиоизлучения Солнца. Хороший пример тому, как излишняя эрудиция может сковать научный поиск. Как тут не вспомнить о смелости сильно близорукого человека, входящего в клетку и не заметившего там льва...

В сущности единственным основанием для моей гипотезы о природе спорадического радиоизлучения Солнца была близость лэнгмюровской частоты плазменных колебаний в короне  $\nu_L = (e^2 N_e / \pi m)^{1/2}$ , (где  $e$  и  $m$  — заряд и масса электрона, а  $N_e$  — их концентрация в короне, равная примерно  $10^8 \text{ см}^{-3}$ ), частоте волн метрового диапазона. Да еще ясное понимание того, что из активных областей через плазму короны «продираются» быстрые заряженные корпускулы, теряющие свою кинетическую энергию на возбуждение плазменных колебаний<sup>4</sup>.

Несколько слов о «спокойном», тепловом компоненте солнечной короны, необходимость существования которого до меня дошла во время доклада Ю. Б. Кобзарева. Когда я стал писать свою первую статью о природе солнечного радиоизлучения, то допустил смешную ошибку,

---

<sup>4</sup> Уже потом я понял, что на основе этой примитивной картины можно было предсказать наблюдаемый эффект — запаздывание момента начала всплеска на низких частотах по сравнению с высокими, вызванный движением пучка в плазме с непрерывно уменьшающейся плотностью. Велика же была моя радость, когда такое запаздывание потом действительно было обнаружено во время гигантского всплеска в марте 1947 г.

на которую впоследствии мне указал В. Л. Гинзбург. Это было уже в 1947 г., на борту «Грибоедова», совершавшего свой памятный рейс в Бразилию. Ошибка состояла в том, что я два раза учитывал в уравнении переноса коэффициент поглощения для радиоволн — один раз в терминах привычного для меня, как для астронома, «свободно-свободного» поглощения, другой — в терминах обычной теории распространения радиоволн в плазме. Между тем, речь шла только о квантовой классической трактовке одного и того же явления.

Конечно, на результат анализа генерации радиоволн в короне эта ошибка не оказала сколь-нибудь заметного влияния, но она неплохо иллюстрирует уровень теоретических исследований того времени. Независимо и почти в то же время теорию теплового радиоизлучения короны разработал В. Л. Гинзбург. Будучи высококвалифицированным физиком-теоретиком и крупным специалистом по распространению радиоволн в ионосфере, он, конечно, не допустил подобного «ляпа». Однако спорадического радиоизлучения Солнца Виталий Лазаревич не касался.

В конце 1946 г. по предложению академика Н. Д. Папалекси стала организовываться экспедиция в Бразилию для наблюдений полного солнечного затмения 20 мая 1947 г. Я был по горло занят хлопотами по организации экспедиции, носившими преимущественно снабженческий характер. Эту тяжелую и неблагодарную работу со мной разделяли техник ФИАН Г. И. Гофман и сотрудник НИЗМИРАН И. Б. Дахновский. Главной научной задачей экспедиции была проверка вытекающего из теории вывода о том, что радиоизлучение Солнца на метровых волнах генерируется в его короне. Отсюда следовало, что во время полной фазы затмения поток радиоизлучения от Солнца не должен падать до нуля, а только сравнительно немного уменьшиться.

Руководил этим принципиальной важности экспериментом выдающийся физик и обаятельный человек С. Э. Хайкин, которого по справедливости следует считать основоположником советской экспериментальной радиоастрономии. Мне особенно приятно было тогда работать вместе с этим замечательным человеком еще и потому, что он был деканом в годы моего студенчества на физическом факультете МГУ. Уместно здесь за-

метить, что ни в одной другой стране аналогичный эксперимент тогда не ставился. Приходится только удивляться, как в разрушенной и разоренной страшной войной стране могла быть организована такая довольно сложная и дорогостоящая экспедиция.

Ни минуты не сомневаясь в исходе эксперимента, я им совершенно не интересовался. Мои научные интересы были по-прежнему в области оптической астрономии, и я под руководством Н. Н. Парийского готовил аппаратуру для спектральных исследований солнечной короны. Увы, погода в Араше (где была наша площадка) сделала оптические наблюдения невозможными. В будущем я еще два раза испытал подобную горечь от сознания своей отвратительной беспомощности перед слепой стихией. А вот радиоастрономические наблюдения, которые велись с борта «Грибоедова» в порту Байя, увенчались полным успехом.

Сопровождение антенной Солнца во время довольно длительных наблюдений достигалось сложным маневрированием всего корпуса корабля, что блистательно было выполнено замечательным моряком, нашим многоопытным капитаном В. С. Гинцбергом. Этот эксперимент вошел в историю радиоастрономии, как и порт Байя, который еще и до этого был знаменит тем, что там делал свои первые наблюдения Ч. Дарвин во время экспедиции на «Бигле».

Вообще, воспоминания о «Бразильской экспедиции» — едва ли не ярчайшие в моей жизни. Там я, в частности, близко познакомился с замечательным грузинским астрономом, ныне покойным, М. А. Вашакидзе, который впоследствии прославил нашу науку пионерскими наблюдениями Крабовидной туманности, доказавшими, что ее оптическое излучение имеет синхротронную природу. Эта работа имела важнейшее значение для радиоастрономии.

Через несколько лет после экспедиции в Бразилию начиная с 1950 г. мы с незабвенным С. Б. Пикельнером занялись, как сейчас ясно, довольно важной работой о радиоизлучении Солнца. Нашей целью было найти распределение яркости солнечного радиоизлучения по диску Солнца на разных волнах. Результаты расчетов оказались далеко не тривиальными. Во-первых, был получен важный результат: на волнах дециметрового диа-

пазона, где оптическая толща короны значительно меньше единицы, следует ожидать уярчения диска к краю. Это было довольно неожиданным для астрономов, так как в оптическом диапазоне давно наблюдается классический эффект потемнения диска к краю. Предсказанный нашей теорией эффект впоследствии многократно подтверждался наблюдениями, в частности, во время солнечных затмений. Согласие теории и наблюдений было полным.

Во-вторых, в нашей работе впервые учитывалось преломление радиолучей в короне на низких частотах, что приводит к их значительному искривлению, — ситуация совершенно необычная для оптической астрономии.

Радость от этой добротной сделанной работы была несколько омрачена тем, что, как мы потом узнали, аналогичное исследование независимо и практически одновременно было выполнено С. Смердом в Австралии, которая около 1950 г. стала ведущей «державой» в радиоастрономических исследованиях. К этому времени область моих научных интересов сдвинулась от Солнца (точнее, его короны) к Галактике и Метагалактике.

Как хорошо известно, космическое радиоизлучение обнаружил К. Янский еще в 1931 г. Если открытия практически в те же времена нейтрон и позитрон вызвали взрыв новых исследований, приведших к фундаментальным открытиям, то пионерская работа К. Янского не обратила на себя ни малейшего внимания астрономов-профессионалов. А между тем ее значение для науки было ничуть не меньше, чем упомянутые открытия физиков.

Это просто поразительно, что в последующие 13 лет только молодой американский астроном-любитель, талантливый инженер Г. Рибер продолжил исследования К. Янского, так сказать, «в домашних условиях». Ситуация коренным образом изменилась в послевоенные годы, когда резко улучшилось качество радиоприемной аппаратуры и появились кадры молодых активных исследователей, причем отнюдь не астрономов, а радиофизиков. Еще долго отношение к радиоастрономии «классиков»-астрономов определялось формулой, высказанной А. А. Михайловым: «...в электричестве сидит черт».

Мне посчастливилось стать одним из первых астрономов-оптиков как в нашей стране, так и за рубежом, который подошел к новому явлению космического радиоизлучения как астроном-профессионал. Конечно, по своему образованию и навыкам я никак не мог осваивать и тем более развивать экспериментально-радиотехническую часть новой науки. Вначале я даже не всегда ясно понимал ее экспериментальные возможности и специфику, так сильно отличающиеся от «привычной» оптической астрономии. Эта «детская болезнь» длилась довольно долго, сильно мешая мне работать и временами приводя к смешным и досадным недоразумениям.

Постепенно, однако, трудности преодолевались. Жить стало веселее и легче, когда к середине 50-х годов появилась и в полный голос заявила о своем существовании молодая поросль только что закончивших университет людей, сразу же и безоговорочно посвятивших себя новой науке. У них уже не было тех проблем, которые меня мучили. Кстати, в это же время (около 1951 г.) мною был прочтен первый (во всяком случае, в нашей стране) систематический курс радиоастрономии.

Но вернемся к тем проблемам космического радиоизлучения, которые стояли перед немногочисленными исследователями в те далекие годы. Сам К. Янский космическое радиоизлучение связывал с тепловым излучением ионизованного межзвездного газа. Однако к 1948 г. стало уже ясно, что во всяком случае большая часть космического радиоизлучения не связана с этим механизмом. Тепловое излучение ионизованного газа — привычный для астрофизиков процесс. Сразу же на ум приходил тривиальный вывод о том, что интенсивность теплового радиоизлучения от областей межзвездной среды, где водород ионизован (так называемых областей III), должна быть (для не слишком низких частот) строго пропорциональна интенсивности оптического излучения в бальмеровских водородных линиях. При этом, конечно, надо было учитывать межзвездное поглощение света.

В эти первые годы работы над проблемами космического радиоизлучения я много внимания уделял вопросу о тепловом радиоизлучении межзвездного газа. Прежде всего пытался обнаружить связь между пространственным распределением галактического теплового ра-

диоизлучения и распределением горячих звезд ранних спектральных классов, ионизирующих облака межзвездного газа. Такая связь действительно была найдена: вторичные максимумы интенсивности радиоизлучения в созвездиях Лебедя и Парусов (в направлении которых луч зрения идет вдоль спиральных рукавов) совпадают со сгущениями горячих звезд, впоследствии получившими название О-ассоциаций. Основная работа в этом направлении была посвящена разделению наблюдаемого радиоизлучения на два компонента — тепловой и нетепловой. Материалом для такого разделения послужили опубликованные тогда изофоты космического радиоизлучения на частоте 100 МГц (Дж. Болтон и К. Вестфолд) и 200 МГц (К. Аллен и С. Гам). Спектры обоих компонентов значительно различаются, что и позволяет их разделить.

Этот анализ показал, что спектр упомянутых вторичных максимумов интенсивности галактического радиоизлучения соответствует тепловому компоненту. Кроме того, из выполненного анализа следовало, что распределение источников нетеплового радиоизлучения носит необычный характер: они локализованы в гигантской квазисферической области со слабой концентрацией источников к центру, которую назвали гало. Проблема гало Галактики очень долго стояла перед астрономией. Последующие, более совершенные наблюдения значительно «уменьшили» вклад гало в общее радиоизлучение Галактики. Все же вывод о наличии гало у нашей Галактики, так же как и у многих других спиральных галактик, представляется сейчас достаточно хорошо обоснованным.

Другой работой этого цикла является выполненное совместно с Г. А. Шайном исследование, посвященное обнаруженным незадолго до этого австралийскими радиоастрономами крупным структурным деталям галактического радиоизлучения, находящимся в полосе Млечного Пути. Было показано, что эти протяженные источники, спектр которых указывает на их тепловое происхождение, в ряде случаев отождествляются с ассоциациями горячих звезд.

К этому времени я уже работал на Крымской астрофизической обсерватории в Симеизе, неподалеку от которой С. Э. Хайкин в 1948 г. организовывал одну из

первых в нашей стране радиоастрономических обсерваторий<sup>5</sup>. Официально она называлась Крымской экспедицией ФИАН. Ее владения были обширны: изрядный кусок горы Кошки рядом с территорией старой Симеизской обсерватории, база на Севастопольском шоссе над Алупкой, а с 1959 г. обширная территория в Качивели около ЧОМГИ (некогда основанная В. В. Шулейкиным лаборатория физики моря). Кроме того, был еще кусок земли с базой в Рабочем уголке, около Алушты. Увы, никакого серьезного развития эти базы в последующие годы не получили, а с 1960 г. все пришло в полное запустение. А тогда, в 50-х годах, жизнь была ключом...

Естественно, я попытался в 50-х годах оказать влияние на программу работ этого, по тем временам довольно солидного радиоастрономического учреждения, во всяком случае крупнейшего в нашей стране. Увы, несмотря на все мои усилия, по разным причинам ничего существенного из этого не вышло. Слишком велика тогда была пропасть между «чистыми» астрономами и «чистыми» радиофизиками, занимавшимися экспериментальной радиоастрономией. У радиофизиков, интересовавшихся преимущественно солнечной радиоастрономией — делом вполне надежным (благо сигнал от дневного светила всегда достаточно велик, а большая переменность солнечного радиоизлучения оправдывает необходимость неопределенно большой длительности наблюдений), всегда был ворох своих забот. А тут еще приходят какие-то оторванные от реальности «звездочеты» и хотят заставить их заниматься какими-то еле обнаруживаемыми сигналами...

Неприятно и обидно это говорить, но, по-моему, увлечение сравнительно легкими и доступными солнечными исследованиями при слабой подготовке экспериментаторов-радиофизиков в области астрономии серьезно тормозило развитие большой, настоящей экспериментальной радиоастрономии в нашей стране. Исключение составляла позиция самого С. Э. Хайкина, со стороны которого я всегда встречал полное понимание, но его возможности были ограничены.

На таком безрадостном фоне у меня возникла идея

---

<sup>5</sup> Первая радиоастрономическая обсерватория в нашей стране, оборудованная весьма скромно, была организована В. С. Тронцим в 1947 г. в Зимёнках, недалеко от Горького.



пронаблюдать несколько близких и ярких областей НЦ, и прежде всего туманность Ориона. В качестве подходящего инструмента был выбран небольшой (диаметром 3 м), довольно точный радиотелескоп, работавший на волне 3 см. По наблюдавшемуся потоку в линии водорода  $H\alpha$  я оценил ожидаемый поток теплового радиоизлучения, который оказался достаточно большим, чтобы его можно было наблюдать на радиотелескопе ФИАНа. Организовал эти наблюдения Н. Л. Кайдановский.

Наблюдения проводились урывками, при полном равнодушии и даже враждебности хозяйственников станции. Никогда не забуду реплик заведующего «кошкинским» хозяйством Ковалевского: «Опять пошли солярку жечь!» А речь шла о важном новом этапе в радиоастрономии: впервые в мировой практике сознательно проводились наблюдения важного класса космических объектов, выделившиеся в будущем в целое направление в радиоастрономии.

Эти отрывочные наблюдения, как и следовало ожидать, ни к каким положительным результатам не привели. Только в 1954 г. при активном участии молодого Н. С. Кардашева наблюдения ионизованных газовых туманностей возобновились на длине волны 3,2 м при помощи 4-метрового радиотелескопа ФИАН в селе Трясь около Обнинска. Уверенно удалось измерить радионизлучение от туманности Ориона. Даже тогда эти работы были пионерскими. В дальнейшем эти исследования не получили у нас развития.

Далее последуют воспоминания о едва ли не самом драматическом и ярком эпизоде развития отечественной радиоастрономии. Летом 1947 г. в английском журнале «Обзервэтори» я прочел небольшую заметку о радиоастрономии, написанную Дж. Гринстейном и Г. Риббером. Следует заметить, что закончившаяся незадолго до этого война совершенно разрушила международные научные связи, и мы имели самые смутные представления о прогрессе и развитии астрономической науки за рубежом. Жадно прочитав небольшую заметку, я не нашел особых новостей, кроме одной, которая поразила мое воображение.

Буквально в нескольких строках сообщалось, что никому неизвестный тогда голландский студент Х. ван де Хюлст на руководимом Я. Оортом семинаре в Лей-

дене выдвинул идею, что в принципе можно ожидать в радиоспектре Галактики линию излучения с частотой 1420 МГц, которая соответствует длине волны 21 см. Никаких деталей не сообщалось. Помню ощущение радостного удивления от этой поразившей меня идеи, высказанной еще летом 1944 г. 23-летним студентом.

Я буквально ею загорелся. Прежде всего надо было провести вычисления Х. ван де Хюлста самостоятельно, ведь в заметке кроме числа «21» фактически ничего не было. А главное — можно ли эту линию при существующем уровне радиофизики наблюдать? Мне отчетливо представлялись те грандиозные перспективы, которые открыло бы превращение этой поразительной линии в метод астрономических исследований. Сама возможность буквально пересчитать все водородные атомы межзвездной среды, найти температуру ее облаков, их кинематику и динамику действовала завораживающе. Дальнейшее развитие событий, однако, показало, что, будучи преисполнен энтузиазмом, я все же недооценил революционизирующее значение этого удивительного открытия.

Вернемся, однако, к событиям лета 1948 г., когда я погрузился в расчеты и прежде всего вычислил вероятность перехода, связанного с магнито-дипольным излучением в линии 21 см. Эти переходы происходят между компонентами сверхтонкой структуры атома водорода<sup>6</sup>. Результаты вычисления оказались удивительными: продолжительность жизни атома водорода в возбужденном состоянии (конечно, при отсутствии внешних возмущений) оказалась равной около 11 млн. лет, т. е. порядка времени эволюции достаточно массивных звезд. Ведь у оптических разрешенных линий, вроде H и K (ионизованного кальция), время жизни возбужденных атомов примерно  $10^{-8}$  с, а у сильно запрещенных «небулярных» линий — порядка 1 ч. И все же, даже при такой чудовищно малой вероятности переходов, радиолиния водорода с длиной волны 21 см вполне может

---

<sup>6</sup> Эта структура обусловлена дополнительной энергией магнитного взаимодействия между спинами ядра (протона) и электрона. Поскольку магнитный момент протона примерно в 1000 раз меньше, чем у электрона, энергия этого взаимодействия (а следовательно, и величина расщепления уровня) мала.

наблюдаться! Более того, как показали расчеты, кванты этой линии в межзвездной среде должны претерпевать заметное поглощение. Помню то странное ощущение, которое испытал, когда мне стало ясно, что линия 21 см должна быть вполне наблюдаема (этот вывод был получен впервые<sup>7</sup>).

Эти расчеты были опубликованы в 1949 г., после чего я приложил максимум усилий, чтобы линия 21 см была открыта экспериментально в нашей стране. Я не жалел слов, чтобы зажечь экспериментаторов энтузиазмом и направить свои усилия в этом направлении. На первых порах мне это удалось: С. Э. Хайкин, вполне оценив значение идеи Х. ван де Хюлста и проверив мои расчеты о наблюдаемости этой линии, направил меня к тогда еще незнакомому мне В. В. Виткевичу, бывшему в сравнительно недавнем прошлом офицеру флота. Очень быстро Виктор Витольдович стал одним из ведущих наших радиоастрономов-экспериментаторов. Это, безусловно, был очень талантливый, самобытный ученый, немало сделавший для отечественной радиоастрономии. В. В. Виткевич был волевой человек с сильным характером, умевший «гнуть свою линию». Его безвременная кончина — тяжелый удар для нашей науки.

Поначалу Виктор Витольдович горячо взялся за экспериментальную реализацию «проекта 21 см». Довольно скоро он разработал блок-схему по тем временам весьма оригинального приемника водородного монохроматического радиоизлучения Галактики. В этом приемнике, насколько мне известно, впервые в радиоастрономии был предложен метод частотной модуляции.

Короче говоря, я почувствовал определенное «шевеление» в направлении реализации проекта. И вдруг все изменилось — все работы по «проекту 21 см» были фактически прекращены. Это произошло в начале 1950 г. На мои неоднократные недоуменные вопросы

---

<sup>7</sup> Только в январе 1981 г., благодаря любезности доктора В. Салливана, я получил английский перевод статьи Х. ван де Хюлста, опубликованной на голландском языке в декабре 1945 г. В ней излагался доклад, зачитанный ван де Хюлстом в июне 1944 г. на семинаре Я. Оорта в Лейдене. Идея о линии 21 см занимает чуть больше одной страницы (для интенсивности этой линии пишется обычное простое выражение — в предположении, что межзвездная среда прозрачна). «Пока не выполнены точные вычисления, существование этой линии остается спекулятивным», — заключает эту часть своей статьи голландский студент.

В. В. Виткевич отвечал, что де «легко вам, теоретикам, рассуждать, а каково нам, экспериментаторам... А почему, собственно говоря, я должен реализовывать твою идею? У меня и своих достаточно...».

Так тянулось почти полтора года. Я ломал себе голову, как бы убедить В. В. Виткевича продолжить работу. Часто мечтал о том, как будет выглядеть радиоастрономия, вооруженная методом исследования в водородной радиолнии 21 см. Помню, как в очередной раз, возвращаясь поездом в Москву осенью 1950 г. после окончания сезона работы в Крыму, я всю дорогу, лежа на верхней полке, грезил об этом.

Весной 1951 г. линия 21 см была обнаружена в радиоспектре Галактики сперва в США (Х. Юэном и Э. Парселлом), а через несколько недель независимо в Австралии и Голландии. Новая эра в астрономии началась. Однако мы имели реальную возможность первыми наблюдать эту знаменитую радиолнию. Все предпосылки для этого были налицо, что непосредственно видно хотя бы из того, как спустя сравнительно короткое время, после открытия радиолнии 21 см за рубежом, группа радиоастрономов из ФИАН во главе с Б. М. Чихачевым и Р. Л. Сороченко в 1954 г. изготовила соответствующую приемную аппаратуру и успешно привела первые наблюдения.

Так в чем же дело? Истину я узнал только спустя почти два десятилетия после описанных событий. Эта печальная истина глубоко поучительна и заслуживает того, чтобы о ней сказать пару слов, хотя бы в «назидание потомству».

Во время банкета по случаю защиты некоей докторской диссертации, где мы с В. В. Виткевичем были оппонентами, Виктор Витольдович усадил меня рядом с собой на диван и сказал: «Помнишь это дело с 21 см? Хочешь знать правду, почему я прекратил тогда работу?» И он поведал мне поразительную историю.

Дело в том, что изредка Виктор Витольдович бывал на квартире Л. Д. Ландау (их жены состоят в родстве). В этом высокоинтеллектуальном доме Виктор Витольдович обычно скромно помалкивал. Но однажды он рассказал авторитетнейшему академику про «проект 21 см» и спросил мнение Л. Д. Ландау.

Академик сказал тогда В. В. Виткевичу буквально следующее: «Подумаешь — вычислить вероятность маг-

нито-дипольного излучения! Соответствующие формулы есть в моей книге, и такие вычисления может выполнить любой студент. Но откуда Шкловский взял плотности водорода в межзвездной среде? Это же чистая патология».

Такой «рецензии» для В. В. Виткевича оказалось вполне достаточно. Все работы по «проекту 21 см» были немедленно прекращены — велик был авторитет Ландау... В. В. Виткевич, пожалуй, виноват в том, что не сообщил мне об «отзыве» Ландау. Но, конечно, главная причина такого печального поворота событий — это схоластический дух слепого преклонения перед авторитетами, довольно часто наблюдаемый в мире науки. По видимому, Л. Д. Ландау потом осознал свою ошибку потому что всегда обращался ко мне в обычно не свойственной ему весьма уважительной манере.

Одновременно с работой по расчету возможностей наблюдений радиолинии 21 см меня заинтересовала проблема возможности наблюдений других радиолиний в спектрах космических радиоисточников. Быстро убедившись, что такие распространенные элементы, как гелий, кислород, углерод, никаких радиолиний в основных своих состояниях не дают (спины их ядер равны нулю), я остановился на дейтерии, спин ядра которого равен единице. Мне удалось вычислить длину волны линии дейтерия, возникающей при переходах между компонентами сверхтонкой структуры его основного состояния, которая оказалась равной 91,6 см при продолжительности жизни возбужденного состояния порядка миллиарда лет! Через несколько лет горьковские радиоастрономы сделали специальный приемник для поисков этой линии, не давших, впрочем, результатов, — ожидаемая интенсивность линии дейтерия была очень мала.

Эта линия, возможно, была обнаружена американцами только через 14 лет, в 1963 г., но и сейчас это открытие следует считать весьма сомнительным.

Кроме того, обращал на себя внимание азот, у которого основное состояние по причине сверхтонкой структуры расщепляется на три уровня. Соответствующие две линии имеют длины волн около 15 и 30 м с ничтожно малой вероятностью перехода. До сих пор эти линии еще не обнаружены, хотя харьковские радиоастрономы анонсировали недавно их открытие. Увы, от-

крытые в Харькове линии имеют совершенно другую природу. Таким образом, эти две рекордно длинноволновые линии остаются единственными пока необнаруженными из предсказанных мною.

В той же работе, опубликованной в 1949 г., был сделан оказавшийся впоследствии очень важным вывод о возможности наблюдений космических радиолиний, принадлежащих межзвездным молекулам. Их содержание по отношению к водороду в десятки миллионов раз меньше, но зато можно было ожидать, что эти линии — разрешенные, а это в значительной степени могло компенсировать столь ничтожное содержание межзвездных молекул (линия 21 см запрещена правилами отбора для дипольного излучения). Я начал поиски подходящих переходов у молекул, прежде всего двухатомных радикалов. К этому времени оптическими методами были обнаружены в межзвездной среде всего лишь три молекулы:  $\text{CN}$ ,  $\text{CN}^+$  и  $\text{CN}$ .

Переходы между уровнями вращательной структуры молекулярных спектров пришлось сразу же отбросить: соответствующие линии лежат в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах, которые тогда еще не были освоены радиоастрономией. Иное дело в наши дни, когда обнаружено большое количество таких линий, принадлежащих, как правило, сложным молекулам и их изотопам. Тогда, в 1949 г., пришлось сосредоточить свое внимание на тонких эффектах в спектроскопии молекул. Надо сказать, что молекулярную спектроскопию я тогда почти не знал — на ее «прохождение» в университетском курсе обычно не остается времени... Пришлось учить это непростое дело заново, и притом «в темпе».

Скоро я обратил внимание на так называемое «лямбда-удвоение» вращательных уровней некоторых молекул, у которых проекция момента, связанного с электронными движениями на ось двухатомной молекулы — «гантель», отлична от нуля<sup>8</sup>. Далекое не все молекулы обладают этой особенностью. К счастью, эффект можно было ожидать у таких распространенных молекул, как  $\text{OH}$ ,  $\text{CN}$ ,  $\text{SiH}$  и  $\text{CN}$ . Замечу, что никто до этого не опре-

<sup>8</sup> Это расщепление вращательных уровней обусловлено дополнительной (малой) энергией взаимодействия вращения ядер молекулы и электронов, образующих ее оболочку.

делял частоты переходов между компонентами «лямбда-удвоения». Никому не приходило в голову, что это может представлять какой-либо интерес.

Вновь возникшая после войны и бурно развивавшаяся тогда область физики — радиоспектроскопия молекул — также оставила эти переходы без внимания. Поэтому расчеты, которые пришлось выполнять в конце 1953 г., я проводил на основе старой теории «промежуточной связи» Гунда, разработанной еще в конце 20-х годов. Для числового значения вычисляемых частот линий, естественно, необходимо было по возможности более точное знание молекулярных констант. Надежнее всего они были известны для молекул  $\text{OH}$ , и вычисленная длина волны, соответствующая переходу между компонентами «лямбда-удвоения» для этой молекулы оказалась равной 18 см<sup>9</sup>.

Гораздо сложнее обстояло дело с вычислением частоты радиолинии для молекул  $\text{CN}$ . Во-первых, в этом случае уровни оказались «вырожденными». Во-вторых, знание молекулярных констант оставляло желать лучшего. Все же вычисленная тогда частота линии  $\text{CN}$  с длиной волны 9,45 см всего лишь на 5% отличалась от наблюдавшейся через много лет, что делало поиск этой линии вполне реальной задачей еще в 1953 г. Значительно хуже определялись частоты для других молекул.

Спустя примерно год после публикации моих расчетов появилась известная работа Ч. Таунса, содержащая расчеты частоты линии  $\text{OH}$  на основе новых молекулярных констант. При этом Ч. Таунс учитывал расщепление сверхтонкой структуры каждого из уровней «лямбда-удвоения», так что им были вычислены близкие друг другу частоты четырех линий  $\text{OH}$ . Через много лет после описываемых событий я с удовольствием беседовал с выдающимся американским физиком, нобелевским лауреатом Ч. Таунсом, и мы вспоминали давно прошедшие героические времена...

Советские радиоастрономы-экспериментаторы довольно живо откликнулись на предложение начать ра-

---

<sup>9</sup> Так в астрономии впервые появилась эта знаменитая цифра «18». Сейчас без преувеличения можно сказать, что в истории астрономии эта линия сыграла выдающуюся роль. Достаточно того, что на этой линии впервые были обнаружены космические мазеры.

боту по обнаружению молекулярных радиолний. Это относится к сотрудникам Горьковского НИРФИ, а также Крымской экспедиции ФИАН. Однако несмотря на мои настойчивые просьбы они сосредоточили свои усилия не на линии 18 см (ОН), а на линии 9,45 см (СН). Их логика была проста: оптическая линия СН уже обнаружена в спектре межзвездных облаков, между тем еще «вилами на воде писано», есть ли там молекулы гидроксила. Кроме того, большое, может быть, даже решающее значение имела чисто аппаратная сторона дела: блоки приемника в диапазоне 10 см были, а для длины волны 18 см аппаратуру надо было разработать.

Поиски линии СН успехом не увенчались. А вот в 1963 г. в США была обнаружена линия ОН с длиной волны 18 см, и уже через два года при наблюдении линий ОН были открыты поразившие весь астрономический мир космические мазеры. Кстати, я сразу же, в 1966 г., обратил внимание на связь этих космических мазеров с процессом звездообразования. Эта идея получила в настоящее время полное признание, хотя многое еще тут остается неясным.

Линия СН, оказавшаяся довольно слабой, после нескольких безуспешных попыток была открыта только в 1973 г. Вскоре после этого начался бурный расцвет молекулярной астрорадиоспектроскопии, приведший к открытию свыше 50 различных молекул (преимущественно многоатомных) и их изотопов. Этот прогресс связан с быстрым развитием техники, приведшей к освоению миллиметрового диапазона. Сейчас это одно из важнейших направлений в радиоастрономии, существенно изменившее наши представления о межзвездной среде, для изучения которой молекулы оказались незаменимыми «зондами».

Увы, достижения советской наблюдательной радиоастрономии в этой области более чем скромны, хотя пионерские работы были выполнены в нашей стране. Зато в другой важнейшей области астрорадиоспектроскопии были достигнуты выдающиеся результаты. Речь идет об исследованиях в рекомбинационных линиях водорода, которые можно было ожидать при переходах между высоковозбужденными уровнями водорода и водородоподобных атомов. Хотя сама эта идея была высказана за рубежом (Ж. Уайлд), она там серьезного



развития не получила (причем сам Ж. Уайлд не считал возможным наблюдать эти линии<sup>10</sup>).

Только благодаря исследованиям тогда еще молодого Н. С. Кардашева, выполненным в 1958 г., было с полной строгостью показано, что рекомбинационные линии вполне могут быть наблюдаемы. Этот результат отнюдь не был тривиальным. Например, в плазме облаков межзвездного газа линии по причине эффекта Штарка могли замыкаться. Непривычны были также большие значения сил осцилляторов, значительно превышающих единицу. Наряду с рекомбинационными линиями водорода Н. С. Кардашев рассчитал такие же линии для гелия и других химических элементов. Эти линии не «сливаются» с водородными потому, что их частоты зависят от масс соответствующих атомных ядер.

На этот раз «история» линии 21 см не повторилась. Первые успешные наблюдения рекомбинационных линий были успешно осуществлены в 1964 г. в Пулковской обсерватории ФИАН. В дальнейшем подобные наблюдения проводились в нашей стране неоднократно. Особенно следует подчеркнуть длительные и успешные наблюдения Р. Л. Сороченко.

Перейду теперь к краткому изложению событий, которым суждено было сыграть решающую роль в дальнейшем развитии радиоастрономии. Как уже отмечалось, лишь незначительная часть космического радиоизлучения объясняется тепловым излучением облаков ионизованного межзвездного газа. Основная часть космического радиоизлучения с характерным степенным спектром  $I_\nu \sim \nu^{-\alpha}$  (где  $\alpha$  — так называемый спектральный индекс)

<sup>10</sup> Идея существования рекомбинационных линий в радиоспектре Галактики впервые была высказана Х. ван де Хюлстом в той же самой статье, где он выдвинул идею о существовании линий 21 см. Интересно, что он сосредоточил свое внимание преимущественно на метровом диапазоне — это соответствовало уровню радиофизики того времени. В частности, он обратил внимание на «альфа-переходы» (его термин, сохранившийся до сих пор) 341→340, 342→341 и т. д. Ван де Хюлст, в частности, обсуждал различные факторы, приводящие к уширению межзвездных рекомбинационных радиолиний.

В результате выполненных расчетов голландский студент пришел к выводу, что рекомбинационные линии нельзя наблюдать. Этот вывод в значительной степени был обусловлен пренебрежением сантиметровым диапазоном в сочетании с недооценкой скорости прогресса радиотехники в этом диапазоне. Но не будем так уж требовательны к замечательному голландскому астроному.

ральный индекс, примерно равный единице) до 1951 г. оставалась необъяснимой.

Одно время я придерживался ошибочной гипотезы о существовании особого класса звезд, ответственных за это радиоизлучение. В частности, тогда предполагалось, что ярчайшие космические радиоисточники Кассиопея А и Лебедь А являются ближайшими к нам «радиозвездами»<sup>11</sup>. Это, конечно, было ложной идеей, однако появление такой гипотезы для астрономов следует считать вполне закономерным — недаром тогда ее придерживался самый авторитетный астроном Западной Европы Я. Оорт.

Но вот в 1950 г. почти одновременно появились две небольшие статьи, которые сыграли решающую роль для всего дальнейшего развития радиоастрономии. Речь идет о работах К. Киппенхойера, а также Х. Альвена и К. Герлофсона, в которых впервые выдвигалась идея об излучении релятивистских электронов в слабых космических магнитных полях, чтобы объяснить причины наблюдаемого нетеплового космического радиоизлучения. В то же время работа Х. Альвена и К. Герлофсона совершенно ошибочно приписывала космическим магнитным полям околозвездное происхождение и в астрономическом отношении была совершенно беспомощной. Однако статья немецкого теоретика К. Киппенхойера, специалиста по Солнцу, была совершенно корректна и схватывала саму суть.

Киппенхойер рассматривал излучение релятивистских электронов в реальных межзвездных магнитных

---

<sup>11</sup> В связи с чем хочу отметить следующее. Я тоже считал тогда Кассиопею А и Лебедь А ближайшими к нам «радиозвездами». К этому времени (1950 г.) англичанами было обнаружено, что поток радиоизлучения от этих источников довольно быстро и беспорядочно меняется. Так были открыты мерцания космических радиоисточников, но я принял наблюдаемую переменность их потоков за истинные вариации радиосветимости. Это, конечно, было ошибкой, но она позволила, сравнивая вариации потока на разных частотах, предложить метод вычисления расстояний до радиоисточников по их так называемой мере дисперсии, определяемой из наблюдений. Примерно через 20 лет этот метод с большим успехом был применен к определению расстояний до только что открытых тогда пульсаров, переменность потока радиоизлучения от которых связана с самими источниками.

Этот пример, рисующий уровень теоретической радиоастрономии того времени, вместе с тем показывает, что иногда даже совершенно ошибочные работы содержат рациональное зерно...

полях, для которых уже тогда были получены совершенно правильные оценки напряженности ( $10^{-5}$ – $10^{-6}$  Гс). Из простых расчетов Киппенхойера следовало, что для объяснения наблюдаемой интенсивности галактического радиоизлучения требуется плотность релятивистских электронов, не противоречащая нашим знаниям о первичных космических лучах. Следует подчеркнуть, что релятивистские электроны в составе первичных космических лучей тогда еще не были обнаружены.

Ознакомившись с работами Киппенхойера и Альвена—Герлофсона, В. Л. Гинзбург понял их выдающееся значение для радиоастрономии и проявил энергичную деятельность по развитию этих новых тогда идей. Удивительно, но за рубежом замечательные работы немецкого и шведских авторов на первых порах совершенно не обратили на себя внимания. Развитие «синхротронной» теории космического радиоизлучения В. Л. Гинзбургом и его учениками и сотрудниками в начале 50-х годов, безусловно, является крупнейшим достижением советской науки. В результате работ советских физиков идеи Киппенхойера и Альвена—Герлофсона превратились в количественную теорию<sup>12</sup>.

Исключительная важность новых представлений о природе нетеплового космического радиоизлучения была сразу же мною оценена. И дело здесь не в «уверовании» в синхротронную теорию, а в осознании ее абсолютной естественности и неизбежности. Не претендуя на разработку чисто физической части теории, я сосредоточил внимание на астрономических последствиях синхротронного (как тогда называли его у нас «магнитотормозного») механизма космического радиоизлучения. И прежде всего применил этот механизм к эмпирически найденному незадолго до этого радиоизлучающему гало Галактики, о котором говорилось раньше.

Естественным образом удалось связать концепцию

---

<sup>12</sup> Особое значение для всего дальнейшего развития радиоастрономии имела знаменитая формула, связывающая показатель степенного энергетического спектра релятивистских электронов  $dN(E) = KE^{-\gamma} dE$  со спектральным индексом синхротронного радиоизлучения  $I_\nu \sim H^{(\gamma+1)/2} \nu^{(1-\gamma)/2} \sim \nu^{-\alpha}$ , откуда следует, что спектральный индекс  $\alpha = (\gamma-1)/2$ . Насколько мне известно, эту формулу впервые получил А. А. Корчак, и было бы справедливо, чтобы она называлась его именем (см.: Корчак А. А. Научный студенческий сборник МГУ, 1951, № 4).

«радиогало» с развитыми в это же время С. Б. Пикельнером новыми представлениями о квазисферическом распределении межзвездных магнитных полей, необходимым для удержания в Галактике космических лучей сверхвысоких энергий. При такой ситуации «радиогало» можно было трактовать как отражение распределения космических лучей в нашей звездной системе. В общем, непринужденно получалась естественная картина, связывающая в единое целое космические лучи и космическое радиоизлучение.

Прежде чем изложить дальнейшие впечатляющие успехи в приложении синхротронной теории к конкретным астрономическим объектам, следует остановиться на важнейшем направлении радиоастрономии — исследованиях дискретных источников космического радиоизлучения. В 1949 г. были известны только два таких источника — Лебедь А (открытый в 1946 г.) и Кассиопея А (открытый двумя годами позже<sup>13</sup>). Весной 1949 г., исходя, как вскоре выяснилось, из ошибочных предположений, я пришел к выводу, что Крабовидная туманность должна быть источником теплового радиоизлучения, которое можно наблюдать.

В то время на горе Кошка была установлена довольно большая синфазная антенна, работавшая на волне 1,5 м в качестве радиоинтерферометра. Этот интерферометр предназначался исключительно для солнечных исследований. Я заинтересовал С. Э. Хайкина своим проектом наблюдений «Краба» и он дал согласие на их проведение. Но предварительно надо было вычислить азимут восхода этой туманности, так как морской радиоинтерферометр может наблюдать источники только вблизи горизонта. Велико же было мое разочарование, когда в результате вычислений оказалось, что Крабовидная туманность восходит и заходит не над морем, а над Крымскими горами (не хватало всего каких-нибудь  $10^\circ$ ).

Через несколько месяцев я узнал, что в Австралии с помощью почти такого же морского радиоинтерферо-

<sup>13</sup> Впрочем, эти источники выявляются уже на первых изофотах радиоизлучения Галактики, полученных Риббером на длине волны 187 см еще в 1944 г. Никто, однако, тогда не подозревал, что это есть «точечные» источники, «размазанные» широкой диаграммой радиотелескопа.

метра Дж. Болтон и его сотрудники обнаружили, по видимому, случайно Крабовидную туманность (и несколько других радиоисточников) еще за несколько месяцев до того, как подобные наблюдения предполагалось провести у нас.

В январском номере «Астрофизикэл Джорнэл» за 1954 г. наконец-то была опубликована классическая работа В. Бааде и Р. Минковского по отождествлению некоторых ярких радиоисточников с оптическими объектами. Смутные слухи о достижении американских астрономов доходили и раньше, что, конечно, не уменьшило огромного впечатления от этой публикации. Кассиопею А, ярчайший после Солнца радиоисточник, Бааде и Минковский считали каким-то уникальным объектом, подчеркивая, что это заведомо не остаток вспышки Сверхновой. С этим я решительно не мог согласиться и считал Кассиопею А остатком вспышки Сверхновой, но только непохожей на другие аналогичные объекты.

На страницах популярного журнала «Скай энд Телескоп» разгорелась полемика. Только через три года Р. Минковский согласился, что Кассиопея А действительно является остатком вспышки Сверхновой. К этому времени (1954 г.) и относится мое увлечение историческими хрониками, содержащими упоминания о вспышках очень ярких звезд, наблюдавшихся среди бела дня. Я хотел попробовать отождествить их с некоторыми уже наблюдавшимися радиоисточниками, ведь два таких источника («Краб» и Кассиопея А) отождествлялись с остатками вспышек Сверхновых.

Эти изыскания были волнующи и увлекательны. Не передаваемо прекрасен стиль древних летописцев, лаконично повествующих о появлении «небесных знамений», поражающих воображение людей того времени. Очень трогательна была переключка древних эпох с новейшими исследованиями. Изыскания эти, однако, далеко не всегда приводили к успеху. Так, например, выполненное мною (совместно с П. П. Паренаго) отождествление Кассиопеи А со «звездой-гостьей» (по видимому, сомнительной), вспыхнувшей в 369 г., как скоро выяснилось, оказалось ошибочным. Все же я был первым радиоастрономом, обратившим внимание на вспышки Сверхновых 185 г. (созвездие Центавра) и 1006 г. (созвездие Волка) и предложившим искать там радио-

источники. Последние и были обнаружены в указанных местах неба в течение следующих 10 лет.

После меня «исторические» изыскания проводились и другими астрономами (например, П. П. Псковским и особенно Ф. Стефенсоном и Ф. Кларком). Пожалуй, наиболее важным результатом этих изысканий было отождествление «плериона» ЗС 58 со Сверхновой 1181 г. Но это произошло значительно позже описываемых событий.

В начале 1953 г. у меня появилась идея применить синхротронную теорию к источникам — остаткам вспышек Сверхновых. Необходимо было оценить энергетику этих явлений, т. е. найти полную энергию релятивистских частиц и магнитных полей, находящихся в остатках Сверхновых. В качестве основы таких расчетов была взята формула Корчака. Результаты были весьма впечатляющими: при каждой вспышке Сверхновой должны образовываться релятивистские частицы (т. е. космические лучи!), суммарная энергия которых в среднем составляет около  $10^{48}$  эрг. Когда остаток вспышки примерно через  $10^5$  лет рассеивается в межзвездной среде, туда попадают и «плененные» магнитными полями (и поэтому не имеющие возможности свободного выхода) космические лучи.

Таким образом, радиоастрономические наблюдения прямо указывали на вспышки Сверхновых как на инжекторы космических лучей в Галактике. Для оценки эффективности этого процесса надо было знать частоту вспышек Сверхновых в Галактике. Тогда существовала только одна оценка этой частоты, полученная еще до войны В. Бааде из статистики вспышек Сверхновых в близких галактиках: одна вспышка примерно за 300 лет. Привлекая данные об «исторических» вспышках, я повысил это значение почти на порядок. Многочисленные исследования, выполненные в последующие годы различными методами, подтвердили высокую частоту вспышек Сверхновых в нашей Галактике.

Теперь можно было составить «баланс» космических лучей в Галактике, которые в среднем по причине ядерных столкновений должны «возобновляться» каждые несколько сот миллионов лет. И вот оказалось, что вспышки Сверхновых полностью компенсируют эту убыль, тем самым поддерживая динамическое равновесие космиче-

ских лучей. Так возникла «радиоастрономическая» теория происхождения космических лучей, ознаменовавшая собой принципиально новый этап в изучении этого важнейшего явления природы. Конечно, отдельные авторы (например, Ф. Хойл) и до этого связывали происхождение космических лучей со вспышками Сверхновых, но эти попытки были только на уровне умозрительных соображений, связывающих между собой два на первый взгляд различных явления природы.

Между тем только радиоастрономия впервые сделала возможным наблюдения космических лучей во Вселенной, в частности, в местах их генерации. Значение этого факта трудно переоценить. В последующие годы эти исследования получили большой размах. В значительной степени под влиянием радиоастрономов (и прежде всего В. Л. Гинзбурга) в составе первичного компонента были обнаружены релятивистские электроны, что стало прямой экспериментальной проверкой всей концепции синхротронной природы для основной части космического радиоизлучения.

В 70-е годы на помощь радиоастрономии пришла гамма-астрономия, и сейчас изучение природы и происхождения первичных космических лучей превратилось в богатую и разветвленную область астрофизики, имеющую, как и всякая развивающаяся «живая» наука, свои достижения и трудности.

Перейду теперь к знаменитой истории открытия природы оптического излучения Крабовидной туманности. Эта проблема меня занимала с 1949 г., когда на основе оказавшейся неверной теории этого излучения, развитой Р. Минковским, я пришел к выводу, что «Краб» должен быть довольно ярким источником теплового радиоизлучения. Теория Минковского была из области глубоко «классической» астрофизики и трактовала «Краб» как обычную планетарную туманность. Но при этом для объяснения очень яркого оптического континуума (т. е. непрерывной части) в спектре Крабовидной туманности необходимо было приписать ей массу больше 100 солнечных, а температуру, превышающую 100 000 К, что не «лезло ни в какие ворота». За период 1949—1953 гг. у меня было несколько попыток разрешить головоломные осложнения, возникавшие при такой интерпретации спектра. И каждый раз, потерпев очередную неудачу,

я переходил к решению более «доступных» проблем. И в начале 1953 г., дав «синхротронную» интерпретацию радиоизлучения Крабовидной туманности, я как-то перестал думать о ее оптическом континууме.

В один из солнечных апрельских дней 1953 г. я довольно долго стоял на Пушкинской площади, ожидая трамвай № 17. Тот должен был довезти меня до Останкино, где я вместе с женой и двумя детьми ютился в бараке, в одной комнатке (как принято говорить, «без всяких удобств»). В ожидании трамвая я обратил внимание на стенд с газетой, где прочел заметку, которая очень меня обрадовала.

Подошел трамвай, конечно, переполненный. Когда я, будучи почти в сомнамбулическом состоянии, «ввинтился» в трамвай, меня как молнией ожгло: я понял природу оптического излучения Крабовидной туманности с непрерывным спектром: если нельзя считать радиоизлучение «Краба» продолжением его оптического (теплого) спектра (как это я пытался раньше сделать, исходя из модели Минковского), то можно и даже необходимо считать оптический спектр продолжением синхротронного радиоспектра!

Но это означает, что оптический континуум «Краба» вовсе не обусловлен «свободно-свободными» переходами в ионизованном газе, а, подобно радиоспектру, имеет синхротронную природу. Если там имеются релятивистские электроны с энергией около  $10^8$ — $10^9$  эВ, ответственные за ее синхротронное радиоизлучение, то почему бы не быть там электронам с энергиями  $10^{11}$ — $10^{12}$  эВ, синхротронное излучение которых в тех же магнитных полях находится в оптическом диапазоне? Ведь находящиеся в «Крабе» релятивистские электроны должны иметь широкий энергетический спектр со степенным законом.

Весь расчет оптического синхротронного излучения Крабовидной туманности я проделал «в уме», в невероятной давке, за те 45 мин, которые трамвай шел в Останкино. Сразу же по приезде домой я в один присест написал статью, которую очень скоро Г. А. Шайн, быстро оценивший новую теорию, представил в «Доклады АН». Это была, конечно, редкая удача — забить такой «гол» в ворота неведомого...

Я очень люблю эту работу, хотя и не считаю самой



лучшей<sup>14</sup>. Впервые в оптическую астрономию был введен принципиально новый «неклассический» механизм излучения. До этого времени астрономы имели дело только с тепловым излучением различных космических объектов. Тем самым в астрономию «вторгся» совершенно новый элемент, что повлекло за собой в будущем самые неожиданные последствия.

То, что синхротронное излучение должно быть поляризовано, я, конечно, знал. Однако в работе о новой интерпретации оптического континуума «Краба» ни слова об этом не сказал и притом совершенно сознательно. Дело в том, что, как и все астрофизики того времени, я молчаливо считал, что магнитное поле в таком объекте, как Крабовидная туманность, должно иметь мелкоячеистую структуру (скажем, по причине запутывания силовых линий локально изотропной колмогоровской турбулентностью плазмы).

Мне так же, как и С. Б. Пикельнеру (крупнейшему нашему специалисту по космической магнитной гидродинамике), и в голову не могло прийти, что магнитное поле «Краба» может быть квазирегулярным. Идея о том, что оптический континуум «Краба» если имеет синхротронную природу, то должен быть линейно поляризован, была высказана после публикации моей работы независимо и почти одновременно И. М. Гордоном и В. Л. Гинзбургом. Отсутствие ненужной эрудиции в области астрономии и космической магнитной гидродинамики сыграло в этом случае, несомненно, положительную роль.

Вскоре после описанных событий сперва М. А. Вашакидзе фотографическим методом и чуть позднее В. А. Домбровский фотоэлектрическим нашли очень сильную поляризацию оптического излучения Крабовидной туманности, достигающую 10%. Эти выдающиеся дости-

---

<sup>14</sup> Лучшей своей работой я считаю цикл из двух статей о планетарных туманностях, напечатанный в 1955 г. в «Астрономическом журнале». Там я чисто астрономическими методами доказал, что планетарные туманности есть закономерный этап эволюции красных гигантов и что ядра этих туманностей быстро эволюционируют в белые карлики (причем основная часть последних образуется именно таким образом). Кроме того, был разработан новый метод определения расстояний до планетарных туманностей. Эта работа опередила свое время по крайней мере лет на 10 и фактически осталась незамеченной в отличие от эффектной работы о «Крабе».

жения, вошедшие в золотой фонд отечественной науки, были получены с помощью очень скромных инструментальных средств. Вскоре после этого в нашей стране было выполнено еще несколько аналогичных наблюдений (Э. Е. Хачикян; Г. А. Шайн, Р. Н. Ихсанов и С. Б. Пикельнер и др.).

Триумф синхротронной теории был полный. Представления о природе Крабовидной туманности подверглись радикальной ревизии. Прежде всего ее масса уменьшилась в 100 раз по сравнению с моделью Минковского и по-существу свелась только к массе разлетающихся после взрыва газовых волокон. Вместе с тем перед астрономами встала новая проблема: какова же природа магнитного поля Крабовидной туманности, неожиданно оказавшегося почти однородным? Потребовалось 12 лет для того, чтобы эта важная проблема была решена советским радиоастрономом нового поколения — Н. С. Кардашевым<sup>15</sup>.

Он был первым, кто за три года до открытия пульсаров убедительно показал, что нейтронные звезды, образовавшиеся после вспышек Сверхновых, должны обладать огромным магнитным полем и вращаться вокруг своей оси с периодом, меньшим 1 с. Причем это магнитное поле, которое «наматывает» связанная с нейтронной звездой оболочка, и является магнитным полем Крабовидной туманности. Пионерская работа Н. С. Кардашева вплотную подвела астрономов к пониманию явления пульсаров. Последние, что называется, «стучались в дверь». Например, известный с 1962 г. «точечный» источник радиоизлучения в «Крабе» с очень крутым спектром оказался впоследствии пульсаром NP 0532.

Работа Н. С. Кардашева существенно перекрывает результаты появившейся значительно позже статьи Ф. Пачини, которого на Западе почему-то считают астрономом, предсказавшим феномен пульсаров. Кстати, Ф. Пачини даже не касался проблемы происхождения магнитного поля «Краба». В связи с проблемой пульсаров стоит заметить, что явление исключительно мощного радиоизлучения нейтронных звезд было полной неожиданностью для всех астрономов и физиков. Кста-

<sup>15</sup> Ближкие идеи одновременно и независимо от него развивал австралийский теоретик Дж. Пиддингтон,

ти, и сегодня количественная теория этого феномена отсутствует.

Вернемся, однако, к событиям, последовавшим после обнаружения синхротронной природы оптического континуума Крабовидной туманности советскими исследователями. Летом 1954 г. состоялось торжественное открытие восстановленной из руин Пулковской обсерватории. По этому случаю в Ленинград приехали из-за рубежа выдающиеся астрономы, в том числе директор обсерватории Лейденского университета Я. Оорт, много занимавшийся проблемами остатков вспышек Сверхновых.

Естественно, мне захотелось обсудить с ним свою интерпретацию «Краба». Хотя прошел год со времени выхода в свет моей работы, никакой реакции со стороны зарубежных исследователей не замечалось, что скорее всего объяснялось ее публикацией в практически не читаемых там «Докладах АН». Встреча с Я. Оортом состоялась в гостинице «Европейская», в номере В. А. Амбарцумяна, куда меня по моей просьбе привел покойный Б. В. Кукаркин. Я. Оорт очень внимательно, совершенно молча меня выслушал и внешне не проявил особенного интереса.

Однако должное впечатление на него наша встреча все же произвела. Вскоре я узнал, что по приезде в Лейден он полностью изменил программу работ своей обсерватории и целиком занялся новым направлением исследований Крабовидной туманности. Кроме того, Я. Оорт со своим огромным авторитетом стал пропагандировать новую концепцию, разработанную впервые в нашей стране. В результате в 1956 г. появились классические исследования, посвященные поляризации оптического континуума «Краба», — сперва Я. Оорта и Т. Вальравена, использовавших фотоэлектрическую методику, а затем В. Бааде, который на 5-метровом телескопе Маунт-Паломар получил свои знаменитые фотографии Крабовидной туманности в поляризованном свете. Эти фотографии продемонстрировали почти 70%-ную линейную поляризацию отдельных областей этой туманности.

Выяснилось также, что задолго до этого В. Бааде обнаружил удивительное явление исключительно быстрых вариаций фотометрической структуры этой туман-

ности (пораженный этим явлением, В. Бааде никогда свои результаты не публиковал!). А еще раньше, в начале 20-х годов, аналогичные вариации были обнаружены Ш. Лампландом, но не привлекли к себе внимания и были прочно забыты. В свете новой интерпретации эти, казавшиеся трансцендентными явления сразу же получили разумное объяснение.

Через несколько лет у нас в стране были выполнены новые исследования, развившие синхротронную теорию излучения Крабовидной туманности. В частности, в нашей совместной работе с В. Л. Гинзбургом и С. Б. Пикельнером был развит метод определения магнитного поля «Краба» по частоте перелома спектра его синхротронного излучения. Этот метод впоследствии неоднократно использовался нашими и зарубежными учеными при анализе космических радиоисточников. Примерно к этому же времени относится изящная интерпретация С. Б. Пикельнером давно известного явления векового ускорения системы волокон «Краба».

С. Б. Пикельнер объяснил это ускорение давлением магнитных полей и релятивистских частиц, заключенных в Крабовидной туманности. Отсюда удалось сделать очень важную оценку массы волокон этой туманности — чисто динамическим методом. Насколько мне известно, это было первой и притом очень наглядной демонстрацией существенной роли космических лучей как динамического фактора. Глубокая идея выдающегося советского астрофизика впоследствии многократно применялась и продолжает применяться для многих и притом разнообразных космических объектов.

Без всяких преувеличений можно теперь сказать, что в итоге этих исследований советская теоретическая астрофизика заняла ведущее положение, что неоднократно подчеркивалось объективными зарубежными учеными. Так продолжалось вплоть до конца 60-х годов, когда новое поколение зарубежных теоретиков восстановило позиции западной науки в этой области.

К проблемам остатков вспышек Сверхновых я вернулся в 1960 г. На этот раз мое внимание сосредоточилось на самом ярком источнике — Кассиопея А. Он отождествлялся с весьма пекулярной туманностью — остатком вспышки Сверхновой, случившейся около

300 лет назад. Следовательно, Кассиопея А — самый молодой из остатков вспышек.

Сразу же возникла идея: не потому ли этот остаток так ярк, что очень молод? Ведь вот, например, довольно протяженный источник радиоизлучения, отождествляемый со знаменитой системой тонковолокнистых туманностей в созвездии Лебедя, — несомненног остатка Сверхновой, вспыхнувшей десятки тысяч лет назад, — имеет радиосветимость примерно в 2000 раз меньшую, чем Кассиопея А.

Я вдруг осознал, что по мере эволюции этого остатка, определяемой его расширением (вследствие сохранения магнитного потока), магнитное поле  $H$  будет уменьшаться пропорционально  $R^{-2}$  ( $R$  — радиус туманности), а энергия каждого релятивистского электрона — уменьшаться по адиабатическому закону пропорционально  $R^{-1}$ . По этим причинам можно было строго доказать, что мощность расширяющегося источника должна уменьшаться как  $R^{-2}$ . Поскольку туманность еще не успела сколь-нибудь затормозиться, то  $R$  пропорционально  $t$ , т. е. возрасту туманности. И поэтому можно показать, что относительное годовое уменьшение радиосветимости, а следовательно потока  $\Delta F_\nu / F_\nu$ , составляет около 1,7% в год, т. е. весьма значительную величину. Результат представлялся просто поразительным — Кассиопея А должна буквально таять на глазах!

Придя к такому довольно неожиданному выводу, я написал об этом трем выдающимся зарубежным специалистам по экспериментальной радиоастрономии и просил проверить предсказание теории, для чего необходимо было на той же самой аппаратуре, что и 10 лет назад, измерить отношение потоков двух ярчайших на небе радиосточников — Кассиопея А и Лебедь А. Последний, будучи внегалактическим объектом, как можно было полагать, практически не должен меняться со временем.

К счастью, письмо, направленное в Кембридж, дошло благополучно, а это было очень важно, ведь именно там в 1948 г. М. Райл и его сотрудники открыли Кассиопею А. Англичане немедленно на той же самой старой антенне приступили к реализации предложенной мной программы наблюдений и быстро подтвердили предсказание: за 12 лет, прошедших после открытия

этого источника, поток от него уменьшился почти на 20%. В последующие годы аналогичные наблюдения Кассиопеи А были проведены на разных радиочастотах как за рубежом, так и в нашей стране (горьковским астрономом С. С. Станкевичем и другими, которые выполняли абсолютные измерения потоков).

Вековое уменьшение потока радиоизлучения от Кассиопеи А наблюдалось на всех частотах, причем были обнаружены новые интересные эффекты, которые моя простая теория не могла предсказать (например, вековое «уплощение» спектра). Так или иначе открытие предсказанного теорией нового эффекта дало еще одно убедительное подтверждение справедливости синхротронного механизма радиоизлучения. Кассиопея А была первым космическим радиоисточником (не считая Солнца), для которого была обнаружена переменность радиоизлучения, что имело принципиальное значение.

Экстраполируя расширение Кассиопеи А, можно было убедиться, что, когда линейные размеры этого радиоисточника станут сравнимыми с размерами системы волокнистых туманностей в созвездии Лебедя, мощность радиоизлучения его уменьшится в несколько тысяч раз, т. е. станет примерно такой же, как у остатка вспышки, отождествляемого с этими туманностями. Это обстоятельство навело меня на мысль разработать картину эволюции подобных радиоисточников. Можно было провести глубокую аналогию между эволюцией остатков вспышек Сверхновых и эволюцией планетарных туманностей, которой я занимался за 5 лет до этого.

В обоих случаях поверхностная яркость объектов быстро убывает по мере роста их радиусов. Мною впервые была построена диаграмма  $\Sigma \sim R^{-\beta}$ , где  $\Sigma$  — поверхностная радиояркость остатка Сверхновой, а  $\beta \approx 3-4$  — сложная функция его спектрального индекса. Исходя из этой диаграммы, оказалось возможным построить систему расстояний до остатков с помощью метода, вполне аналогичного развитому раньше для планетарных туманностей. Это чисто радиоастрономический метод, и им неоднократно пользовались и пользуются разные исследователи.

Почти одновременно в качестве причины эволюции остатка Сверхновой я стал рассматривать распространение сильной сферической ударной волны в межзвездной среде, описываемое известным из механики автомобиль-

ным решением Седова (предварительно пришлось доказать квазидиабатичность такого процесса). Из этой теории непосредственно следовало, что за фронтом ударной волны у «старых» остатков температура должна достигать нескольких миллионов и даже десятков миллионов кельвинов. На этом основании я рассчитал мощность мягкого рентгеновского излучения остатков и предсказал возможность его наблюдения за несколько лет до того, как оно было обнаружено с помощью спутников. Комбинируя автомодельное решение с диаграммой  $\Sigma-R$ , можно было получить зависимость средней радиояркости источника от времени, что было важно для уточнения частоты вспышек Сверхновых в Галактике.

Без всякого преувеличения можно теперь сказать, что эти работы по-новому поставили проблему остатков Сверхновых и их эволюции. Сейчас уже насчитывается несколько сот работ, наблюдательных и теоретических, радиоастрономических и рентгеноастрономических, посвященных дальнейшему развитию этой важнейшей проблемы. Такие понятия, как диаграмма  $\Sigma-R$ , автомодельное решение Седова, являются неизменной основой подобных исследований.

Перейдем теперь к исследованиям синхротронного излучения внегалактических объектов. Прежде всего остановимся на сравнительно близкой к нам радиогалактике M 87 (NGC 4486), с которой Дж. Болтон еще в 1949 г. отождествил один из ярчайших радиоисточников — Деву А. В упоминавшейся выше классической работе В. Бааде и Р. Минковского по отождествлению радиоисточников с оптическими объектами впервые была опубликована фотография знаменитого яркого выброса из ее ядра, наблюдавшегося Г. Кертисом еще в 1918 г.

Само явление такого выброса представлялось совершенно непонятным. И прежде всего надо было установить — какова природа излучения выброса?

В конце 1954 г., заинтересовавшись этой проблемой, я довольно быстро нашел ее решение. За год до этого, дав «синхротронную» интерпретацию оптического континуума Крабовидной туманности, я, естественно, применил ее к внегалактическому объекту (в данном случае к выбросу M 87). Однако масштаб явления и его

энергетика были теперь на несколько порядков больше.

На этот раз, учитывая опыт с Крабовидной туманностью, я указал на необходимое существование поляризации оптического выброса М 87. Хорошо помню, как через несколько месяцев после этого В. А. Амбарцумян сказал мне, что они в Бюракане пытались обнаружить эту поляризацию, но безуспешно. Но уже в следующем, 1956 г., В. Бааде с помощью 5-метрового рефлектора Маунт-Паломар открыл сильнейшую (до 60%) поляризацию<sup>16</sup>.

Открытие синхротронного излучения от внегалактического объекта имело принципиальное значение. Тот простой факт, что явно «выстреливаемый» из ядра выброс наполнен огромным количеством релятивистских частиц, сдерживаемых магнитными полями, явно указывал на какие-то грандиозные физические процессы, происходящие в очень маленькой области около галактического ядра. Хронологически первым свидетельством в пользу существования активности в галактических ядрах было открытие К. Сейфертом широких эмиссионных линий в ядрах некоторых спиральных галактик. Однако в течение почти 20 лет открытие Сейферта совершенно не привлекало к себе внимания: это была, как говорится, «слишком ранняя пташка». В этом отношении оно было вполне подобно открытию Ш. Лампландом вариаций фотометрической структуры Крабовидной туманности. Кроме того, само по себе наличие «обычных» оптических эмиссионных линий явно не указывало на существование каких-либо «экзотических» процессов в ядрах галактик. Другое дело — синхротронное излучение, связанное с исключительно мощным процессом генерации космических лучей.

Только «новая» астрономия, ставшая всеволновой (радиорентгеновская, гамма-астрономия), дала неопровержимые доказательства исключительной активности некоторых галактических ядер. Следует заметить, что общая, так сказать, «философская» постановка вопроса о решающем значении активности галактических

<sup>16</sup> Отрицательный результат армянских астрономов объясняется тем, что в соседних «узлах» выброса позиционный угол электрического вектора отличается почти на 90°, что делает невозможным определить «результлирующую» поляризацию с помощью телескопа умеренных размеров.



ядер принадлежит В. А. Амбарцумяну, который обратил на это внимание в 1958 г.<sup>17</sup>

В период 1953—1956 гг., пользуясь «синхротронной» теорией, я оценил энергию релятивистских частиц и магнитных полей, заключенных в некоторых радиогалактиках. Полученные значения ( $10^{58}$ — $10^{60}$  эрг) поражали воображение и остро ставили вопрос об источниках такой энергии. Несколько позже аналогичные расчеты осуществил Дж. Бербидж, который с самого начала исходил из равенства плотности энергии релятивистских частиц (в том числе и протонов) и плотности магнитной энергии (неявно этим условием пользовался и я). Результаты расчетов, моих и Дж. Бербиджа, практически совпадают.

К этому же времени относится и моя ошибочная работа, интерпретирующая двойственность радиоисточника Лебедь А как столкновение двух галактик с протяженными гало. Следует напомнить, что после публикации работы В. Бааде и Р. Минковского по отождествлению источников большое распространение получила гипотеза этих авторов, согласно которой радиогалактики — это сталкивающиеся галактики. Последовательным ее противником всегда выступал В. А. Амбарцумян, который с самого начала связывал феномен радиогалактик с активностью их ядер, причем механизм образования «радиоизлучающей субстанции» им практически не рассматривался. С начала 60-х годов эта концепция постепенно вытеснила «столкновительную» и стала господствующей.

Хотя активность ядер несомненно является решающим фактором для возникновения самого феномена радиогалактик, в последнее время наметился своеобразный возврат к концепции столкновения галактик. Имеются достаточно веские основания считать, что две из трех ближайших к нам радиогалактик (NGC 5128, отождествляемая с весьма протяженным радиобисточником Центавр А, и NGC 1316, которую мы совместно с П. Н. Холоповым еще в 1952 г. отождествили с радиоисточником Печь А) представляют собой сталкивающиеся звездные системы. Точнее сказать, наблюдается процесс «поглощения» одной галактикой другой.

<sup>17</sup> Задолго до В. А. Амбарцумяна на важнейшее значение галактических ядер указал Дж. Джинс, рассматривавший ядра как «особые точки» в звездных системах.

Причиной радиоизлучения здесь, по-видимому, является аккреция межзвездного газа одной галактики ядром другой. Роль аккреции межзвездного газа, образующегося при эволюции звезд, на ядро сфероидальной галактики для генерации «радиоизлучающей субстанции» (т. е. релятивистских частиц и магнитных полей) была мною выявлена в работе, опубликованной в свое время в «Астрономическом журнале». Из нее следует, что для «активизации» компактного массивного ядра, каким-то способом образовавшегося в центре галактики, его надо «питать» межзвездным газом, т. е. должна существовать аккреция этого газа на ядро.

Перехожу теперь к воспоминаниям, связанным с одним из наиболее выдающихся открытий в астрономии XX в. Речь пойдет о квазарах. Их обнаружению предшествовало (хронологически, конечно) принципиальное усовершенствование радиоинтерференционной методики, предложенное советскими радиоастрономами Н. С. Кардашевым, Л. И. Матвеевко и Г. Б. Шоломицким. Имеются в виду интерференционные наблюдения на независимых (т. е. несвязанных кабелем) радиоантеннах, допускающих сверхдлинные (например, межконтинентальные) базы, что в принципе позволяет реализовать высокое угловое разрешение вплоть до  $0,0001''$ , т. е. в тысячи раз выше, чем в оптическом диапазоне волн.

Ввиду больших технических трудностей, связанных с реализацией этого смелого проекта, мы решили пойти на международное сотрудничество, в первую очередь с англичанами, у которых уже давно радиоинтерференционная техника была на очень высоком уровне. Как раз в это время (1963 г.) в СССР приехал известнейший английский радиоастроном, пионер строительства больших радиотелескопов, директор обсерватории Джордэлл-Бэнк профессор Б. Ловелл. На специально организованной встрече наши молодые радиоастрономы объяснили английскому гостю суть своей идеи и сделали предложение о совместной работе.

Сэр Бернард, первоклассный радиофизик, хорошо разобрался в нашем проекте, но сделал очень любопытное критическое замечание, ставящее под сомнение весь его смысл. Суть возражения Б. Ловелла состояла в том, что все известные радиоисточники — туманности и галактики. Между тем предлагаемый советскими радиоастрономами метод годился только для «точечных» (вер-

нее, с очень малыми размерами) источников. «Для вашей интерференционной системы не будет подходящих радиоисточников», — резюмировал Б. Ловелл. Тем не менее он скоро прислал в Москву для дальнейших переговоров своего сотрудника — Дж. Палмера. Сотрудничество, однако, по разным причинам дальше этого визита не продвинулось.

Развитие науки довольно ядовито посмеялось над скептицизмом профессора Ловелла и притом гораздо скорее, чем это можно было ожидать. В том же 1963 г. были открыты квазары. Это буквально всколыхнуло астрономов во всем мире. Радиоисточники, отождествляемые с квазарами, были выявлены несколькими годами раньше, кстати, на родине профессора Ловелла. Довольно скоро выяснилось, что линейные размеры квазаров не превышают нескольких сотых долей парсека. Это впервые было доказано методами оптической астрономии.

Тогда же, в 1963 г., я пришел к выводу, что самый яркий квазар 3С 273, хронологически открытый первым (М. Шмидтом на обсерватории Маунт-Паломар), может менять свою яркость. По моему предложению, сотрудники ГАИШ А. С. Шаров и Ю. И. Ефремов изучили старые фотографии этого объекта и впервые доказали его переменность. Вскоре открытие московских астрономов было подтверждено на значительно более обширном материале американскими астрономами. Так было доказано, что линейные размеры квазаров не могут превышать нескольких световых месяцев. Следовательно, можно было ожидать, что при огромных расстояниях до квазаров (определяемых из их беспрецедентно большого красного смещения, трактуемого как космологическое) их угловые размеры должны быть меньше  $0,001''$ .

Поэтому можно было думать, что квазары должны быть исключительно компактными объектами. При таких условиях следовало ожидать самопоглощения синхротронного радиоизлучения от этих объектов. Исходя из этого обстоятельства, В. И. Слыш<sup>18</sup> в том же 1963 г.

<sup>18</sup> В. И. Слыш является видным астрономом нового поколения, его работы отличает независимость и нетривиальность. Будучи по образованию инженером-радиофизиком и первоклассным экспериментатором, он в равной степени владеет и астрономией и понимает ее «дух» гораздо лучше многих астрономов-оптиков. Другого такого случая я не знаю.

получил исключительно изящную формулу для определения углового диаметра этих источников  $\theta$  на основе только радиоастрономических наблюдений.

Знаменитая формула Слыша записывается так:

$$\theta = \text{Const} \cdot \nu_m^{-5/4} F(\nu_m)^{1/2} H^{1/4},$$

где  $\nu_m$  — частота, на которую приходится максимум потока  $F(\nu_m)$ ;  $H$  — магнитное поле. Эта формула для радиоастрономии сыграла, примерно, такую же роль, как формула Корчака. Ее применение к компактным источникам синхротронного излучения (не обязательно в радиодиапазоне) позволило получить ряд важнейших результатов.

Хронологически первое доказательство малости угловых размеров у компактных источников радиоизлучения, связанных с квазарами, было получено как раз с помощью формулы Слыша. У ряда таких источников обусловленный эффектом синхротронного самопоглощения «завал» спектра в сторону низких частот начинался с дециметрового диапазона (потом были открыты такие спектры, у которых «завал» начинался с сантиметрового диапазона).

Здесь, пожалуй, необходимо сделать одно важное отступление. Начиная приблизительно с 1960 г. волновавшая многие века мыслителей и ученых старая проблема множественности обитаемых разумными существами миров как бы обрела «вторую молодость». Этому решающим образом способствовали успехи космонавтики и радиоастрономии. Пионерская работа К. Коккони и М. Моррисона о принципиальной возможности установления с помощью уже существующих радиотелескопов односторонней межзвездной радиосвязи буквально всколыхнуло умы, особенно молодые. Вскоре появилась знаменитая статья Д. Дайсона, за ней другие работы. Увлеченный этими смелыми, даже фантастическими идеями, я в 1962 г. опубликовал книгу «Вселенная, жизнь, разум», выдержавшую за минувших два десятилетия пять изданий и переведенную на многие языки.

Этими идеями зажегся и Н. С. Кардашев, в 1962 г. предложивший свою известную классификацию внеземных цивилизаций. Из этой классификации, в частности, следовала принципиальная возможность существования во Вселенной сверхцивилизации третьего типа, использующей для своих нужд энергетические ресурсы целой

звездной системы. Возникла идея найти какие-нибудь признаки необычности внегалактического источника, которую (т. е. необычность!) никак нельзя было бы объяснить естественными причинами.

В начале 1965 г. у наших молодых радиоастрономов, работавших на антенне в Евпатории, вспыхнул ажиотаж в связи с обнаружением Г. Б. Шоломицким, очень способным радиоастрономом ГАИШ (сейчас он работает в области субмиллиметровой радиоастрономии), слабой переменности источника СТА-102 (тогда еще не было доказательства, что это — квазар). Был даже найден намек на 100-суточный период. По поводу переменности этого «таинственного» источника выдвигались различные гипотезы, в том числе и самые смелые — отождествление со сверхцивилизацией третьего типа. Это, конечно, вполне естественно — народ был молодой, а энтузиазм бил ключом... Пожалуй, только сам Г. Б. Шоломицкий сохранял трезвое спокойствие<sup>19</sup>.

В это время я занялся совсем другим вопросом — обоснованием ожидаемой переменности квазаров и активных ядер галактик в связи с их неизбежной нестационарностью. Можно было ожидать, что под воздействием некоторых сил (например, внутреннего давления) облака релятивистских частиц, время от времени возникающие по каким-то пока не известным причинам в этих сравнительно малых областях, будут неограниченно расширяться. С совершенно аналогичной проблемой я столкнулся в случае Кассиопеи А, поток радиоизлучения от которой по причине неограниченного расширения источника должен непрерывно убывать.

Разница между активными ядрами галактик (в частности, квазарами!) и Кассиопеей А состоит в том, что первые на сравнительно низких частотах непрозрачны. Это должно приводить к качественно новому эффекту: на низких частотах поток радиоизлучения от такого расширяющегося источника должен до поры до времени расти со временем (так как размеры излучающей по-

---

<sup>19</sup> Переменность СТА-102 не была тогда подтверждена за рубежом, и вскоре другие события того бурного времени привлекли внимание исследователей на новые проблемы. Однако спустя много лет, открытие Г. Б. Шоломицкого было подтверждено. Это явление еще не понято до конца, но несомненно имеет большое значение для понимания природы квазаров, а может быть, и тонких эффектов в межзвездной среде.

верхности растут), в то время как на низких частотах по мере расширения источника поток должен был убывать по тому же закону, который я за пять лет до этого получил для Кассиопеи А.

Мною была построена полная количественная теория, которая, в частности, давала зависимость  $v_m$  от времени. Таким образом, в этой работе содержится не только предсказание принципиально нового эффекта, но и дана подробная теория ожидаемых вариаций основных параметров источников со временем.

Через несколько месяцев предсказание теории было полностью подтверждено Д. Дентом, который наблюдал переменность нескольких квазаров. Дальнейшие долготлетние наблюдения многих радиоастрономов (прежде всего К. Келлермана и его сотрудников в Национальной радиоастрономической обсерватории США) до деталей подтвердили существование найденной мною зависимости  $v_m(t)$  и  $F_m(t)$ . Сама теория стала основой этих важнейших исследований.

К сожалению, моя радость по этому поводу была омрачена обстоятельством, весьма типичным для развития науки в новейшее время. Вскоре после открытия Дентом переменности квазаров в «Нэйчер» появилась статья голландского радиоастронома П. ван дер Лаана, содержащая теорию этого явления. Голландский радиоастроном получил в точности те же формулы, что и я, с тем единственным различием, что вместо показателя энергетического спектра релятивистских электронов  $\gamma$  он пользовался спектральным индексом радиоизлучения  $\alpha$ .

Все это тем более удивительно, что ван дер Лаан в этой «работе» ссылался на мою статью, которая была опубликована в том же журнале «Нэйчер» почти за год до этого. По установившемуся печальному обычаю во всем потоке дальнейших экспериментальных и теоретических исследований по этой проблеме зарубежные (и, к сожалению, некоторые советские) авторы ссылались, конечно, на П. ван дер Лаана.

Все это было бы, конечно, очень смешно, если бы не было так досадно. Корректность при ссылках — необходимый критерий научной добросовестности. Но в конце концов — «сочтемся славою...». Главное, чтобы работа была хорошая и открывала новые перспективы.

Важное обобщение теории синхротронного излучения

расширяющихся сферически симметричных источников на случай релятивистских скоростей расширения было получено видным английским теоретиком Р. Рисом. В 1974 г. я применил некоторые результаты этой теории для объяснения односторонности выброса NGC 4486, которую трактовал как последовательное выбрасывание с релятивистской скоростью намагниченных облаков плазмы — «плазмонов» из активного ядра галактики. Направление выбрасывания «плазмонов», совпадающее с осью вращения ядра, образует сравнительно небольшой ( $\sim 10\text{--}20^\circ$ ) угол с лучом зрения. Из-за релятивистского эффекта Доплера интенсивность радиоизлучения плазмонов, движущихся в направлении наблюдателя, будет резко усилена, а в диаметрально противоположном направлении — подавлена.

Эта идея оказалась весьма плодотворной. Ряд зарубежных авторов (особенно успешно Дж. Шейер и его сотрудники), исходя из близких представлений, успешно объяснили важные особенности радиоизлучения квазаров и активных ядер галактик, в частности, парадоксальные наблюдения кажущихся сверхсветовых скоростей разлета компактных компонентов некоторых радиоисточников. Здесь, однако, предстоит еще проделать большую работу как в наблюдательном, так и в теоретическом плане.

В 1965 г. было сделано открытие фундаментальной важности. В США А. Пензиас и Р. Уилсон обнаружили квазизотропное радиоизлучение, спектр которого соответствует излучению абсолютно черного тела с температурой около 3 К. Такое излучение было еще в 1948 г. предсказано известным физиком Г. А. Гамовым как следствие его модели горячей Вселенной.

Естественно, что данное открытие привлекло к себе всеобщее внимание. Почти сразу же после обнаружения этого феномена я откликнулся небольшой статьей, в которой содержались, на мой взгляд, два небезынересных момента. Во-первых, я окрестил это необычное излучение, назвав его «реликтовым». Сейчас этот действительно удачный, отражающий суть дела термин стал общепринятым. (В истории развития науки правильная терминология играет далеко не малую роль. Тому можно привести немало примеров.) Во-вторых, в этой статье впервые был предложен метод определения температуры реликтового излучения из вращательной температу-

ры некоторых межзвездных молекул, в частности CN.

Пользуясь случаем, хочу сказать, что большую помощь в работе над этой статьей мне оказал В. И. Слыш. Именно он обратил мое внимание на старые работы Э. Мак-Келлара, который наблюдал две линии молекулы CN<sup>+</sup>, у одной из которых нижний уровень является вращательно возбужденным. Таким образом, первым, кто увидел (но не понял) реликтовое излучение, был еще в 1939 г. канадский астроном Мак-Келлар... После моей работы появился целый ряд исследований, посвященных определению температуры реликтового излучения «молекулярным» методом.

Советские астрофизики-теоретики (в первую очередь Я. Б. Зельдович и Р. А. Сюняев), а также радиоастрономы-наблюдатели (прежде всего Ю. Н. Парийский) сделали очень много для исследований реликтового излучения. Я. Б. Зельдовичем и Р. А. Сюняевым был предсказан эффект малого изменения яркостной температуры реликтового излучения в области скоплений галактик. Последние, как показали рентгено-астрономические наблюдения, наполнены очень горячей, сравнительно плотной межгалактической плазмой, которая, взаимодействуя с квантами реликтового излучения (комptonовское рассеяние), как бы их «охлаждает». На этом следует, пожалуй, поставить точку.

Еще раз подчеркнем, что главной задачей этих воспоминаний было осветить развитие радиоастрономии в нашей стране в первый период, который довольно условно можно датировать «героическим» двадцатилетием (1945—1965 гг.), — до открытия пульсаров. В процессе их написаний я не всегда выдерживал эту хронологию и в отдельных, правда, редких случаях упоминал и о более поздних исследованиях. Из-за хронологических ограничений не мог рассказать и сколько-нибудь подробно о строительстве и вводе в эксплуатацию наших крупных радиотелескопов — РАТАН-600 и в Пушино, а также о важных научных результатах, которые были на них получены в последние годы. Об этом пусть лучше расскажут те, кто проделал эту очень тяжелую и часто неблагодарную работу.

Как уже подчеркивалось в начале моих воспоминаний, эти заметки с неизбежностью носят субъективный характер. Я полагаю, что это не так уж плохо — во всяком случае читатель имеет дело с повествованием, ос-



нованным на подлинных событиях. Мемуары и воспоминания всегда субъективны.

Мне в жизни крупно повезло — я принял активное участие в развитии важной области знаний, фактически с момента возникновения этой области. Это — редкое счастье и удача. В своей научной работе я был «крайним индивидуалистом». — у меня почти нет работ, написанных в соавторстве. В наше время «индивидуальность» в науке — это большая редкость, если не роскошь. Такая ситуация возможна и тогда, когда новая наука развивается «с пеленок», причем только «в начальный», «героический» период. Дальше романтика кончается, неожиданностей становится все меньше и меньше и вступают в силу так называемые «постоянно действующие факторы»...

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

*Ниже приводится список книг, брошюр и статей с сопроводительной краткой аннотацией, которые, по мнению издательства, помогут читателям всесторонне познакомиться с историей развития и современными достижениями радиоастрономии.*

**Борисов О. И** весь мир окажется в «ближней зоне». — Знание—сила, 1981, № 1, с. 12—16.

В статье подробно и вместе с тем популярно рассказывается о крупнейшем советском радиотелескопе РАТАН-600, о его уникальных характеристиках и преимущественных достоинствах по сравнению со всеми остальными радиотелескопами мира, существовавшими ранее. Приводятся результаты первых радиоастрономических исследований, ведущихся по обширной программе с помощью этого радиотелескопа. Излагаются пути дальнейшего совершенствования этого инструмента и возможные перспективы развития радиоастрономии в ближайшем будущем.

**Каплан С. А.** Элементарная радиоастрономия. — М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1966. — 276 с., ил.

Приводится краткая история развития радиоастрономии и ее инструментального оснащения. Подробно освещаются различные направления радиоастрономических исследований и популярно описываются физические процессы, приводящие к возникновению радиоизлучения в космических радиоисточниках.

**Колесников Ю.** КРТ — бесконечно наращиваемый. — Знание—сила, 1980, № 4, с. 17—18.

В статье популярно описывается выдающийся советский кос-

мический эксперимент — установка радиотелескопа КРТ-10 на борту научного орбитального комплекса «Салют-6»—«Союз». Подчеркивается значение реализации этого эксперимента для дальнейшего развития радиоастрономических исследований, обсуждаются преимущества использования бортового радиотелескопа вместе с наземными в целях увеличения разрешения структуры далеких радиисточников. Отмечается перспектива применения бортовых радиотелескопов, размеры которых могут увеличиваться за счет наращивания новыми секциями.

**Матвеевко Л. И.** Радионтерферометры. — М.: Знание, 1974. — 64 с., ил. — (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Космонавтика, астрономия»; 3).

Подробно и достаточно популярно излагается важный этап в развитии радиоастрономии — использование радионтерферометрических систем. С их появлением резко возросла разрешающая способность радиоастрономических методов, что привело к различным открытиям в области астрономии и более глубокому проникновению в природу космических радиоисточников.

**Пановкин Б. Н.** Радиоастрономия. — М.: Знание, 1973. — 64 с., ил. — (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Радиоэлектроника и связь»; 11).

Популярный обзор достижений в области радиоастрономии и различных направлений радиоастрономических исследований. Особое внимание уделяется описанию современных радиотелескопов, действующих в нашей стране, и перспективам дальнейшего совершенствования радиоастрономической аппаратуры.

**Рудницкий Г. М.** Радиоастрономия. — Физика в школе, 1978, № 3, с. 77—82; № 5, с. 87—93.

Популярно излагается история развития радиоастрономических исследований, в частности, радиолокационных методов при изучении планет Солнечной системы. Отмечаются основные достижения радиоастрономии, связанные с обнаружением неизвестных ранее астрофизических объектов и явлений, расширившим наши представления о составе и строении Метагалактики.

**Саломонович А. Е.** 25 лет советской радиоастрономии. — М., 1972. — 31 с. — (Физ. ин-т им. П. Н. Лебедева АН СССР).

Рассказывается об истории и развитии радиоастрономических исследований в нашей стране, подробно освещаются открытия советских ученых в области радиоастрономии. Приводятся сведения о разработке первых отечественных радиометров и радиотелескопов. Кратко описывается программа радиоастрономических исследований в крупнейших радиообсерваториях нашей страны.

**Саломонович А. Е.** Первые шаги советской радиоастрономии. — Вестн. АН СССР, 1973, № 3, с. 122—136.

Освещается начальный этап отечественной радиоастрономии и

подчеркивается вклад С. Э. Хайкина в развитие радиоастрономических исследований в нашей стране. Подробно рассказывается о первых радиоастрономических наблюдениях и открытиях, о появлении радиоастрономических школ Горьковского университета и Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР, о первых радиоастрономических экспедициях и создании центров радиоастрономических исследований. Особое внимание уделяется разработке и введению в строй в нашей стране первых радиотелескопов.

**Шкловский И. С.** Вторая революция в астрономии подходит к концу. — Вопросы философии, 1979, № 9, с. 54—69.

Бурный период развития астрономии в послевоенные годы, приведший к возникновению всеволновой астрономии, автор сравнивает с революционным воздействием, которое оказало на дальнейшее развитие астрономии изобретение телескопа. Особое место уделяется достижениям радиоастрономии, связанным с открытием квазаров и других объектов.

**Бова Б.** Новая астрономия: Пер. с англ. — М.: Мир, 1977. — 231 с., ил.

Излагаются основные этапы развития астрономии, ставшей в настоящее время всеволновой. Дается обзор современных достижений в области астрономических исследований. Отдельно рассматриваются развитие радиоастрономических методов исследования и различные открытия, сделанные с помощью этих методов.

**Вилебинский Р.** Радиоастрономические исследования галактик: Пер. с англ. — Природа, 1978, № 4, с. 101—111.

Освещается история возникновения и развития радиоастрономии, создание первых телескопов и обнаружение космических радиоисточников. Особое внимание уделяется обнаружению радиоизлучения от других галактик и развитию методов исследования этого радиоизлучения. Описываются физические процессы, приводящие к возникновению радиоизлучения в галактиках.

**Райл М.** Радиотелескопы с большой разрешающей силой/Нобелевская лекция. — В сб.: Современные проблемы астрофизики. М.: Знание, 1976, с. 3—27.

В доступной для массового читателя форме описываются возникновение и развитие метода апертурного синтеза в радиоастрономии, что привело к повышению разрешающей способности радиотелескопов при исследовании структуры далеких радиоисточников. Автор, удостоенный Нобелевской премии за разработку такого метода, подчеркивает преимущества его использования в радиоастрономических исследованиях и наглядно демонстрирует это результатами изучения радиоструктуры внегалактических источников.

**Уилсон Р.** Космическое микроволновое фоновое излучение/Нобелевская лекция. — В сб.: Современные проблемы астрофизики. М.: Знание, 1980, с. 18—40.

Подробно рассказывается об открытии космического микроволнового фонового излучения и используемой при этом аппаратуре. Автор, который совместно с А. Пензиасом получил Нобелевскую премию за это открытие, кратко описывает и теоретические работы (в том числе советских ученых), в которых предсказывалось существование такого излучения.

Хей Дж. Радиовселенная: Пер. с англ. — М.: Мир, 1978. — 283 с., ил.

Один из пионеров радиоастрономических исследований освещает становление радиоастрономии как науки, прослеживает основные этапы ее развития. Популярно описываются механизмы генерации радиоизлучения в космических объектах и физические принципы, заложенные в устройство радиоастрономических инструментов.

Херрман Д. Открыватели неба: Пер. с нем. — М.: Мир, 1981. — 231 с., ил.

Обозревая основные этапы развития астрономии с древнейших времен до наших дней, автор подробно останавливается на огромной роли, которую сыграла радиоастрономия. Отмечается вклад радиоастрономических исследований в изучение распределения нейтрального водорода во Вселенной. Отражается деятельность различных пионеров радиоастрономии и других ученых, работы которых способствовали развитию радиоастрономии.

Ходж П. Революция в астрономии: Пер. с англ. — М.: Мир, 1972. — 149 с., ил.

Рассматриваются основные этапы развития астрономии. Рассказывается об открытии радиоизлучения Галактики, приведшем к появлению радиоастрономии, о деятельности пионера радиоастрономических исследований Г. Рибера и его телескопе. Освещаются открытия, сделанные радиоастрономами, в частности, таких объектов, как квазары и пульсары.

Хьюиш Э. Пульсары и физика высоких плотностей/Нобелевская лекция: Пер. с англ. — В сб.: Современные проблемы астрофизики. М.: Знание, 1976, с. 28—42.

Подробно и доступно для широкого круга читателей описываются радиоастрономические исследования, приведшие к обнаружению пульсаров. Автор, удостоенный Нобелевской премии за открытие пульсаров, рассказывает о возглавлявшейся им группе ученых, освещает суть метода, использовавшегося этими учеными при своих исследованиях.

## 20 ЛЕТ РЕНТГЕНОВСКОЙ АСТРОНОМИИ

*В качестве приложения предлагаем статью И. С. Шкловского, напечатанную в журнале «Природа» № 9 за этот год. Нам кажется, что тема статьи в некотором роде созвучна с основной статьей автора, поскольку охватывает новый аспект «второй революции» в астрономии, сделавшей ее всеволновой.*

**Рентгеновское излучение Солнца.** Собственно говоря, рентгеновская внеатмосферная астрономия имеет возраст не двадцать лет, как сейчас принято считать, а все тридцать шесть. Ведь рентгеновское излучение Солнца было открыто сразу же после войны, в 1946 г., когда для научных исследований стали использовать немецкие трофейные ракеты Фау-2. Нельзя сказать, чтобы это открытие было неожиданным. Ему предшествовало радикальное изменение представлений астрономов о природе самых наружных слоев солнечной атмосферы — короны. После того как У. Гротриан и Б. Эдлен отождествили эмиссионные корональные линии с запрещенными переходами в спектре высокоионизированных атомов железа, никеля, аргона и кальция (этот вопрос оставался нерешенным в течение 70 лет), впервые было доказано существование космической плазмы с температурой порядка  $10^6$  К у ближайшей к нам ординарнейшей звезды. Столь высокая температура непосредственно следовала из того факта, что энергия, необходимая для образования ионов, ответственных за излучение корональных линий, составляет несколько сот электронвольт, между тем как ионизация в условиях солнечной короны может происходить только за счет неупругих столкновений с электронами плазмы. Современная теория ионизации плазмы солнечной короны была развита автором этой статьи как раз в 1945 г. Тогда же мною был сделан вывод, что корона обязательно должна давать жесткое фотонное излучение, в том числе и рентгеновское; этим непринужденно объяснялось образование ионосферных слоев земной атмосферы.

Обнаружение рентгеновского излучения солнечной короны, предсказанного теорией, имело важное принципиальное значение: именно в этот момент и возникла внеатмосферная астрономия, достигшая в последующие десятилетия столь поразительных успехов. Вначале были примитивные наблюдения жесткого излучения Солнца, проводившиеся на маленьких ракетах и длившиеся всего несколько минут, но они уже содержали, как в зародыше, будущую рафинированную технику, обеспечившую в наши дни подлинный расцвет внеатмосферной астрономии. При этом уже тогда исследователи пользовались такого же типа детекторами — счетчиками квантов, что и в наши дни; возникали те же специфические проблемы «бортовой» астрономии на автоматических платформах, что и сейчас, и прежде всего проблемы ориентации и наведения приборов на объект исследования. Однако несмотря на большие трудности, неизбежно сопровождающие всякое новое дело, достигнутые результаты были весьма обнадеживающими: к началу космической эры, датируемой историческим запуском первого советского спутника 4 октября 1957 г., рентгеновское излучение Солнца было уже довольно хорошо исследовано.

**Обнаружение галактических и метagalактических источников.** 1962 г. ознаменовал собой новый этап в развитии внеатмосферной, прежде всего рентгеновской, астрономии. С помощью все тех же

ракет, благодаря серьезному усовершенствованию приемников радиации, впервые было обнаружено рентгеновское излучение от космических источников, находящихся далеко за пределами Солнечной системы. Вот с этого момента — и, пожалуй, справедливо — обычно и датируется возникновение рентгеновской астрономии.

Мы находимся достаточно близко от карликовой звезды спектрального класса G2 — нашего дневного светила, поэтому Солнце можно изучать так детально, как ни одну ближайшую к нам звезду. Если бы все звезды (вернее, их короны) излучали в рентгеновском диапазоне тем же «способом», что и Солнце, то их излучение можно было бы обнаружить никак не раньше 1975 г. Дело в том, что рентгеновское излучение звездных корон составляет  $10^{-5}$ — $10^{-4}$  их полного излучения. Потоки мягкого рентгеновского излучения от ближайших звезд не превышали бы  $10^{-10}$  эрг/см<sup>2</sup>·с и в те времена их невозможно было бы обнаружить. Между тем открытый в 1962 г. первый галактический источник рентгеновского излучения посылал поток в тысячи раз больший, а его положение на небе вблизи Млечного пути явно указывало, что он находится от нас на расстоянии, значительно превышающем несколько сот парсек. В те времена разрешающая способность рентгеновских счетчиков была очень низкой, порядка  $10^\circ$ , поэтому координаты этого космического источника можно было определить лишь очень грубо. Нельзя было, например, исключить возможности того, что объект находится в центре Галактики, расположенном, как известно, в направлении созвездия Стрельца. Вскоре, однако, выяснилось, что источник рентгеновского излучения находится в созвездии Скорпиона, причем расстояние до него меньше, чем до галактического центра.

Вновь открытый рентгеновский источник получил название Скорпион X-1. Это самый яркий (после Солнца) из «перманентно» излучающих рентгеновских источников на небе. Оговорка насчет «перманентности» существенна, так как время от времени на небе вспыхивают и излучают в течение десятка секунд источники значительно более жестких квантов, потоки от которых в сотни и даже тысячи раз больше, чем от Скорпиона X-1. Их природа еще не вполне ясна.

В том же 1962 г. было открыто рентгеновское излучение от знаменитой Крабовидной туманности, с которой связаны многие открытия в астрономии. Одновременно в созвездии Лебедь были открыты два новых рентгеновских источника, получивших название Лебедь X-1 и Лебедь X-2. В последующие восемь лет, т. е. до конца 1970 г., удалось обнаружить еще около 30 рентгеновских источников, среди них несколько метагалактических.

Наблюдения проводились с борта небольших ракет, которые запускались довольно редко. Тем не менее даже такие далекие от совершенства наблюдения выявили важный факт переменности излучения многих источников и дали ценную информацию об их спектрах. Усовершенствование техники наблюдений позволило в 1967—1968 гг. определить координаты источников с точностью до нескольких угловых минут, после чего их можно было отождествлять с оптическими объектами. Так, самый яркий источник, Скорпион X-1, удалось отождествить с переменной звездой 12—13-й величины, довольно необычный спектр которой содержит яркие линии. Поток (а следовательно, и мощность) рентгеновского излучения этого источника в тысячу раз больше его оптического излучения. Уже один этот факт означал, что механизм излучения ничего об-

щего с солнечным (корональным) не имеет. Другой источник, Лебедь X-1, был отождествлен с довольно яркой звездой 9-й величины (т. е. на пределе видимости невооруженным глазом), оказавшейся весьма удаленным от нас горячим голубым гигантом спектрального класса В.

В эти первые годы развития рентгеновской астрономии, разумеется, не было недостатка в гипотезах о природе рентгеновских источников. В 1966 г., сразу же после отождествления Скорпиона X-1 с пекулярной звездой 12—13-й величины, я выдвинул гипотезу, согласно которой «рентгеновские звезды» представляют собой тесные двойные системы, одним из компонентов которых является нейтронная звезда. Следует иметь в виду, что радиопульсары тогда еще не были открыты. До этого делались попытки связать рентгеновские источники с одиночными нейтронными звездами, однако они оказались несостоятельными. Дело в том, что время остывания поверхности нейтронных звезд до температуры ниже  $10^6$  К короче нескольких сотен лет и только ничтожное количество «новорожденных» нейтронных звезд могут излучать рентгеновские кванты. Поэтому делались предположения, что такие объекты должны быть погружены в особые туманности — остатки вспышек сверхновых. Однако в случае Скорпиона X-1 и сходных с ним объектов этого не наблюдалось.

Между тем для тесной двойной системы, одним из компонентов которой является нейтронная звезда с огромным гравитационным потенциалом, можно ожидать выпадения (т. е. аккреции) газа на эту звезду, а аккреция должна сопровождаться сильным нагревом поверхности нейтронной звезды. Астрономам уже давно известно, что в такой системе вокруг компактной звезды в соответствии с законом сохранения вращательного момента должен образоваться плазменный диск. (Такие диски и «питающие» их газовые струи уже давно наблюдаются в оптическом диапазоне.) В случае когда компактным компонентом двойной системы является нейтронная звезда, температура газа в диске должна быть порядка несколько десятков миллионов градусов, а плотность его достаточно велика, чтобы излучать рентгеновские кванты с наблюдаемой мощностью. Согласно моим тогдашним оценкам, размеры излучающей области плазмы (диска) должны составлять около 1000 км, а плотность плазмы будет порядка  $10^{16}$  см<sup>-3</sup>. Кроме того, я отмечал также, что рентгеновское излучение диска будет сильно разогревать обращенную к нему полусферу сравнительно протяженного оптического компонента системы<sup>1</sup>.

Запуск «Ухуру». В декабре 1970 г. началась новая эпоха в развитии рентгеновской астрономии — был запущен первый специализированный американский рентгеновский астрономический спутник, получивший название «Ухуру»<sup>2</sup>. Пожалуй, это был один из наиболее успешных космических экспериментов в 70-х годах, столь богатых выдающимися достижениями в этой области науки. «Ухуру» был оснащен совершеннейшим для своего времени оборудованием: в качестве приемников рентгеновских квантов использовались счетчики фотонов; разрешающая способность двух его де-

<sup>1</sup> Несколькими месяцами раньше сходные идеи в самом общем виде были высказаны Я. Б. Зельдовичем и И. Д. Новиковым.

<sup>2</sup> На языке суахили это слово означает «свобода».

текторов была соответственно  $5' \times 5'$  и  $5' \times 0,5'$ ; основные наблюдения проводились в диапазоне энергий 2—6 кэВ.

Если до запуска «Ухуру» было обнаружено всего около 30 космических источников рентгеновского излучения, то в результате выполнения программы исследований на первом специализированном спутнике их количество увеличилось до 200. При этом предельная величина регистрируемого потока в диапазоне 1—10 кэВ была около  $10^{-11}$  эрг/см<sup>2</sup>·с, т. е. в  $10^4$  раз меньше, чем от Скорпиона X-1.

Наиболее впечатляющие результаты, однако, были получены при дальнейшем исследовании уже открытых ранее источников. Самый важный из них — доказательство двойственности ряда таких источников. Как хорошо известно, в тесных двойных звездных системах, где расстояния между компонентами в десятки раз меньше астрономической единицы (1 а. е. =  $1,5 \cdot 10^{13}$  см — среднее расстояние Земли от Солнца), часто наблюдаются затмения, т. е. возникает ситуация, когда один компонент при своем орбитальном движении закрывается другим. Это бывает, когда угол между плоскостью орбиты и лучом зрения достаточно мал. Очевидно, если сравнительно протяженный оптический компонент закроет компактный компонент, излучающий рентгеновские кванты, источник рентгеновского излучения как бы «выключится». Именно такое явление наблюдалось «Ухуру» при исследовании рентгеновских источников Центавр X-3 и Геркулес X-1. Из «кривых блеска», полученных для этих источников, были определены орбитальные периоды этих систем: 2,087 и 1,70 сут соответственно. В настоящее время известно уже довольно много «затменных» рентгеновских источников. Тем самым наша гипотеза о природе этих объектов (нейтронная звезда в тесной двойной системе) получила серьезное подтверждение.

Однако решающим подтверждением этой гипотезы было обнаружение у ряда источников «пульсационной» периодичности, на которую накладывается «орбитальная» периодичность, обусловленная затмениями. У Центавра X-1 период таких пульсаций равен 4,84239 с, а у Геркулеса X-1 — 1,24 с. Сейчас известно около 20 рентгеновских пульсаров, причем до недавнего времени самым короткопериодическим источником такого типа (с периодом около 0,7 с) считался объект в Малом Магеллановом Облаке. Столь короткие периоды, которые так же, как и у радиопулсаров, объясняются осевым вращением, могут быть только у нейтронных звезд.

Были обнаружены также изменения периодов пульсаций. Интересно, что в отличие от радиопулсаров, представляющих собой, как правило, одиночные нейтронные звезды, периоды пульсаций рентгеновских источников обычно уменьшаются. У сильно намагниченных одиночных нейтронных звезд энергия мощного магнитно-дипольного излучения черпается из запаса кинетической энергии вращения, поэтому такие нейтронные звезды могут только замедлять свое вращение. Между тем в тесных двойных системах из-за аккреции газа нейтронные звезды могут, наоборот, «раскручиваться» сильнее. Как правило, изменение периода пульсаций носит довольно неправильный характер. Самый длинный из известных периодов пульсации — 835 с — наблюдается у источника 4U 0352+30.

Полученные из наблюдений значения параметров рентгеновского, а также оптического излучения источников в ряде случаев по-



зволили определить основные характеристики соответствующих двойных систем: формы и размеры орбит, величины масс нейтронных и оптических звезд.

Таким образом, в результате большого количества исследований был выделен довольно однородный класс источников, представляющих собой тесные двойные системы, одним из компонентов которых является весьма компактный объект, обычно (хотя и не всегда) представляющий собой нейтронную звезду, в то время как оптический объект — достаточно массивный голубой сверхгигант. Нейтронные звезды быстро вращаются, что является причиной пульсаций их рентгеновского излучения, а само излучение возникает из-за аккреции на нейтронные звезды малой доли ( $\sim 0,1\%$ ) вещества звездного ветра от горячих сверхгигантов. Детальная теория явления была разработана в ряде работ главным образом советскими исследователями Р. А. Сюняевым, Н. И. Шакурой, А. Ф. Илларионовым (Институт космических исследований АН СССР и Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга).

Для объяснения деталей явления необходимо было ввести представление о сильных магнитных полях у нейтронных звезд порядка  $10^{12}$ — $10^{13}$  Э. Такие же поля присутствуют и у одиночных нейтронных звезд — радиопульсаров. Сильное магнитное поле у нейтронных звезд естественно объясняется сохранением магнитного потока у катастрофически сжимающегося ядра звезды в процессе вспышки Сверхновой II типа. Образование нейтронной звезды в процессе эволюции тесной звездной системы представляет собой естественный и даже неизбежный процесс, вполне поддающийся теоретическому анализу.

В Галактике насчитывается примерно  $10^3$  массивных голубых сверхгигантов, причем большинство из них входит в тесные двойные системы. Из того факта, что длительность стадии сверхгиганта при эволюции массивной звезды составляет несколько сотен тысяч лет, т. е. около  $1/30$  времени жизни этих звезд, следует, что полное число рентгеновских источников такого типа в Галактике должно быть порядка 30, что как раз и наблюдается. Мощность рентгеновского излучения таких источников составляет  $10^{37}$ — $10^{38}$  эрг/с, т. е. в  $10^4$  раз превышает болометрическую светимость Солнца! Столь мощные рентгеновские маяки видны с огромных расстояний. Однако следует иметь в виду, что мощность оптического и ультрафиолетового излучения голубых сверхгигантов, чей звездный ветер «питает» рентгеновское излучение связанных с ними нейтронных звезд, вполне сравнима и иногда даже превосходит рентгеновское излучение от этих источников.

Среди немногочисленных объектов этого типа особый интерес представляет Лебедь X-1. Дело в том, что, как следует из анализа характеристик этой двойной системы, масса компактного объекта, на которой идет аккреция газа, во всяком случае превосходит шесть солнечных масс. Между тем не может быть нейтронных звезд столь большой массы. Отсюда был сделан вывод, что этот компактный объект — не нейтронная звезда (как у других подобных рентгеновских источников), а черная дыра. Существование таких объектов давно уже предсказано теоретиками; но все же сто процентной уверенности, что в двойной системе Лебедь X-1 один из компонентов является черной дырой, пока нет.

Другой выявленный с помощью «Ухуру» класс галактических рентгеновских источников — объекты со сравнительно низкой опти-

ческой светимостью, наблюдаемые в галактическом диске и сильно концентрирующиеся к галактическому ядру. По своему пространственному распределению они сходны со старыми объектами II типа населения Галактики. Весьма вероятно, что к этому классу объектов относится и самый яркий источник, Скорпион X-1, обнаруженный первым. Среди них выделяются своими специфическими свойствами так называемые барстеры, открытые в 1975 г. на голландском астрономическом спутнике АНС. Рентгеновское излучение от этих источников обычно каждые несколько часов дает всплеск длительностью около 10 с. Строгой периодичности у таких всплесков нет, можно говорить только о квазипериодах, характерных для каждого источника.

Существенно, что энергия, излученная барстерами за время между всплесками, примерно в 100 раз превышает энергию, излученную при всплесках. Это обстоятельство имеет решающее значение для понимания природы рентгеновского излучения барстеров. Они представляют собой тесные двойные системы, оптическим компонентом которых является красный карлик, а компактным — нейтронная звезда. Так же как и в случае источников, получающихся в результате эволюции двойных систем с большой массой компонентов, стационарное излучение барстеров обусловлено аккрецией. Однако по мере накопления вещества на поверхности нейтронной звезды возникают благоприятные условия для термоядерной вспышки на ее поверхности и генерации мощного короткого всплеска излучения. Так как при такой вспышке выделяется энергия порядка  $\alpha c^2$  эрг на грамм вещества (где  $\alpha = 10^{-3}$  — «упаковочный эффект» при синтезе ядер), а при аккреции на нейтронную звезду выделяется  $0,1 c^2$  эрг/г, то становится понятным, почему энергия, излученная между всплесками, примерно в 100 раз превышает энергию, излученную во всплесках.

Итак, всплески рентгеновского излучения барстеров объясняются термоядерным сгоранием выпадающего на поверхность нейтронной звезды аккреционного вещества. В этом отношении барстеры аналогичны Новым звездам, вспышки которых обусловлены термоядерными взрывами водорода, скопившегося на поверхности белого карлика. Оптической астрономии уже давно известны пекулярные звездные объекты, являющиеся тесными двойными системами, один из компонентов которых представляет собой белый карлик. Можно провести интересную аналогию между такими системами и системами, содержащими нейтронную звезду. Заметим, кроме того, что свойства тесных двойных систем зависят еще от характера перетекания вещества на компактный компонент; оно может происходить либо за счет звездного ветра от некомпактного компонента, либо через так называемую лагранжеву точку. В этом случае компоненты должны быть достаточно близки.

У классических Новых звезд некомпактным компонентом является красный карлик, а компактным — белый карлик, причем перетекание вещества осуществляется через лагранжеву точку. Если же компонентом белого карлика является красный гигант, то наблюдаются «новоподобные» звезды. Их рентгеновским аналогом могут служить некоторые из уже давно известных так называемых транзиентных источников. У карликовых новых, представителем которых является известная система U Близнецов, ядерных вспышек на поверхности белого карлика не происходит. Поэтому рентгеновским аналогом таких систем являются «старые» источники га-

лактического диска, а также излучение барстеров между вспышками.

Едва ли не самая примечательная особенность барстеров заключается в том, что 10 из 30 таких объектов наблюдаются в шаровых звездных скоплениях. Такая ситуация весьма удивительна, так как полное количество звезд в шаровых скоплениях (которых в нашей Галактике насчитывается 130) в тысячи раз меньше числа всех старых звезд диска. Похоже, что такие тесные двойные системы (комбинация красного карлика и нейтронной звезды) могут образовываться в шаровых звездных скоплениях путем взаимного захвата звезд при их близком прохождении. Захват возможен только тогда, когда часть энергии звезд расходуется на возбуждение колебаний красного карлика.

Важным направлением в рентгеновской астрономии было исследование остатков вспышек сверхновых звезд. Первым из отождествленных космических рентгеновских источников была Крабовидная туманность — остаток вспышки сверхновой 1054 г. По этой туманности было выполнено много работ. В частности, была обнаружена поляризация ее рентгеновского излучения, доказывающая его нетепловую синхротронную природу. «Звездным» остатком взорвавшейся в 1054 г. звезды является знаменитый пульсар NP 0525, находящийся в центре Крабовидной туманности. Среди известных пульсаров он имеет самый короткий период — 0,033 с. Этот источник испускает пульсирующее излучение в очень широком диапазоне энергий — от радиоволн до жестких гамма-квантов. Его рентгеновское излучение было предметом многочисленных исследований. Другие остатки вспышек сверхновых также являются мощными источниками мягкого рентгеновского излучения, возникающего при распространении в межзвездной среде сильной ударной волны от выброшенной при взрыве наружной оболочки звезды, которая движется со скоростью около 10 тыс. км/с. Теория этого важнейшего в современной астрофизике явления была развита нами еще в 1960 г. На ее основе удалось предсказать необходимость мягкого рентгеновского излучения, которое и наблюдается с большим успехом начиная с 1965 г.

Наконец, большое развитие получила внегалактическая рентгеновская астрономия. Первые внегалактические источники — знаменитая радиогалактика NGC 4486 (Дева А) и сейфертовская галактика NGC 4151 — были открыты еще на заре рентгеновской астрономии. Из величины потока следовало, что мощность рентгеновского излучения этих галактик вполне сравнима с мощностью оптического излучения. С помощью «Ухуру» был открыт ряд внегалактических источников. Но, пожалуй, самым выдающимся открытием в области внегалактической астрономии, сделанным с помощью этого спутника, было обнаружение рентгеновского излучения от скопления галактик. Довольно скоро было убедительно доказано, что это излучение имеет тепловую природу и обусловлено очень горячим ( $T \sim 10^8$  К) газом, заполняющим межгалактическое пространство в скоплении<sup>3</sup>. Детальное изучение этого феномена, а также многих других проблем галактической и мегагалактической рентгеновской астрономии настоятельно требовали новых, более совер-

<sup>3</sup> Главное доказательство — наличие в спектрах рентгеновского излучения скоплений галактик линии двадцатипятикратно ионизированного железа Fe XXVI с энергией квантов 6,7 кэВ.

шесных средств исследования. Нужны были рентгеновские телескопы нового поколения — и они были разработаны.

**Запуск ХЕАО-2.** В конце 1978 г. в США был запущен специальный рентгеновский спутник ХЕАО-2, получивший название «Обсерватория им. Эйнштейна», в ознаменование 100-летия со дня рождения А. Эйнштейна. Он был оснащен значительно более совершенным оборудованием, чем «Ухуру»; его основной прибор — тщательно разработанный рентгеновский телескоп косоугольного падения, который позволил строить в фокальной плоскости изображение точечного рентгеновского источника с «кружком рассеяния» порядка  $2''$ ; поле телескопа составило  $1^\circ \times 1^\circ$ . Прибор работает в мягком диапазоне энергий 0,1—4,5 кэВ.

Телескоп был рассчитан на два режима работы: получение изображений источников с помощью счетчиков (угловое разрешение  $1'$  и поле  $1^\circ \times 1^\circ$ ) и затем грубый спектральный анализ приходящего излучения; а также получение изображений источников с угловым разрешением  $2''$  без информации о спектральном составе излучения; поле зрения в этом случае раза в три меньше.

Чувствительность рентгеновских телескопов, установленных на борту ХЕАО-2, почти в 1000 раз выше, чем на «Ухуру». Следует иметь в виду, что такая высокая чувствительность получается при очень длительном времени экспозиции (или лучше сказать — времени накопления квантов), порой достигающем суток. При таких экспозициях и наведении на произвольную «пустую» площадку, достаточно удаленную от Млечного Пути, как правило, наблюдаются 3—4 слабых источника с потоками порядка  $3 \cdot 10^{-14}$  эрг/см<sup>2</sup>·с. Все источники — квазары, причем весьма удаленные, с красным смещением  $z \approx 2$ —2,5. Однако столь длительными временами экспозиции приходилось распорядиться очень экономно, так как обсерватория работала всего около двух лет. За это время удалось осмотреть примерно 1% всего неба. Большая часть времени, естественно, ушла на изучение отдельных интересных объектов.

Колоссальное увеличение чувствительности рентгеновских телескопов прежде всего открыло возможность изучать жесткое фотонное излучение от обычных, «нормальных», одиночных звезд. Результаты превзошли самые смелые ожидания. Следует иметь в виду, что детекторы ХЕАО-2 на пределе своей чувствительности могут принимать от звезд в 10 млн. раз меньше потоки рентгеновского излучения, чем от Скорпиона X-1, рентгеновская мощность которого в  $10^9$  раз превышает мощность рентгеновского излучения Солнца.

Всего было обнаружено свыше 140 звезд, излучающих рентгеновские кванты. Почти все исследованные «нормальные» звезды — это сравнительно близкие к нам объекты до 8,5-й видимой величины. На основании существовавших до последнего времени теоретических представлений следовало ожидать рентгеновское излучение от звездных корон. Сам феномен «короны», т. е. нагрев наружных слоев звездной атмосферы до температуры в несколько миллионов градусов, связывался с генерацией ударных акустических волн, возникающих при конвективной турбулентности в подфотосферных слоях. Отсюда делался вывод, что нагрев наружных слоев атмосферы звезды происходит только в случае звезд «солнечного» типа, т. е. спектральных классов G и F, что он не зависит от вращения звезды и звездного магнетизма.

Однако уже первые наблюдения опровергли эти теоретические предположения. Оказалось, что почти все «нормальные» звезды раз-

ных спектральных классов и светимостей являются источниками рентгеновского излучения. Излучают все звезды главной последовательности, гиганты до спектрального класса К включительно, сверхгиганты класса G, субкарлики и даже белые карлики. Очень слабо излучают только красные сверхгиганты класса M. В ближайшей к нам кратной системе  $\alpha$  Центавра, оба компонента которой являются звездами главной последовательности спектральных классов G<sub>2</sub> и K0, компонент класса K оказался в рентгеновских лучах, вопреки старой теории, ярче.

Особый интерес представляет обнаружение рентгеновского излучения от третьего компонента этой системы, знаменитой Проксимы Центавра, ближайшей к нам звезды. Это красный карлик типа Me, на котором (как и на других звездах этого типа) происходят вспышки. Мощность рентгеновского излучения от него во время вспышек достигает  $10^{29}$  эрг/с, что всего лишь в несколько десятков раз меньше его болометрической мощности, а температура короны во время вспышек превышает  $10^7$  К. Такие вспышки можно наблюдать, даже когда звезда-карлик удалена от нас на расстоянии до 100 пс, а Проксима Центавра удалена всего лишь на 1 пс.

Полное несогласие этих результатов со старыми теориями заставляет радикально пересмотреть последние. Необходимо понять, какие свойства «нормальных» звезд определяют мощности их корон. Похоже, что такими свойствами должны быть их осевое вращение и магнетизм. Этот вопрос имеет исключительно важное значение для актуальной проблемы солнечной активности, основы теории которой также должны быть пересмотрены.

Важные результаты были получены при изучении уже известных рентгеновских источников: пульсаров, транзитных источников, источников в шаровых звездных скоплениях и т. д. Одно из таких наблюдений относится к очень интересному транзитному источнику A0 538—66, вспышки которого проявляются как в рентгеновском, так и в оптическом диапазонах и следуют с периодом около 17 сут. Оказалось, что этот источник является пульсаром с периодом 0,069 с. Он вышел на третье место по короткопериодичности среди всех известных пульсаров, пропустив вперед только пульсар NP 0535 в Крабовидной туманности (0,033 с) и двойной радиопульсар PSR 1913+16 (0,059 с), и на первое место среди рентгеновских пульсаров в двойных системах.

Выше речь уже шла об открытии мягкого рентгеновского излучения от остатков вспышек сверхновых звезд. На обсерватории Эйнштейна оказалось возможным выполнить систематические исследования этих важных для астрофизики источников. Было получено свыше 100 их рентгеновских изображений, т. е. столько, сколько их известно в Галактике. Благодаря изучению остатков вспышек сверхновых удалось получить много новых важных результатов. В частности, построена эволюционная последовательность таких остатков, основанная на анализе их морфологий. Особый интерес представляет редкий тип остатков вспышек сверхновых, называемых «плерионами», к числу которых принадлежит и Крабовидная туманность. Обнаружен точечный (размерами меньше 1') рентгеновский источник в центре «плериона» 3C 58, отождествляемого со сверхновой, вспыхнувшей в 1181 г. Весьма важно, что в спектре источника не наблюдается никаких линий. Это означает, что его жесткое излучение, так же как и у Крабовидной туманности, имеет не тепловую, а синхротронную природу. В Большом Магеллановом

облаке обнаружено около 20 остатков вспышек, возраст которых колеблется от 1 до 20 тыс. лет. Тем самым подтверждается вывод, что в этой ближайшей к нам галактике сверхновые вспыхивают примерно раз в 1000 лет.

Особый интерес представляет вопрос о «звездных» остатках вспышек сверхновых, связываемых с нейтронами звездами, образовавшимися при таких вспышках. Как мы уже говорили, к числу таких остатков принадлежит пульсар в Крабовидной туманности. Пока, кроме него, обнаружены еще два точечных, скорее всего звездных источника: один находится внутри остатка Паруса X, второй — внутри RCW 103. В рентгеновских лучах эти остатки имеют оболочечную структуру. Важно, что у других молодых «исторических» остатков (вспыхнувших за последние 2000 лет и зарегистрированных в различных хрониках) никаких звездных остатков не обнаружено, хотя вполне можно было ожидать тепловое излучение от еще не успевших остыть нейтронных звезд. Очень похоже, что там вообще нет звездных остатков, т. е. что соответствующие звезды взорвались полностью. Согласно современным теориям, этого можно ожидать в случае взрывов маломассивных звезд, так называемых сверхновых I типа. Однако при взрывах этих звезд должно образовываться огромное количество ядер железа — до 30% от массы взорвавшейся звезды.

С помощью установленного на борту ХЕАО-2 специального кристаллического спектрометра удалось получить превосходные рентгеновские спектры остатков сверхновых. Их анализ (особенно у остатка вспышки сверхновой 1272 г.) выявил интересные аномалии в концентрациях ряда распространенных химических элементов, однако — увы! — никакой аномально высокой концентрации ядер железа обнаружено не было. Астрономия столкнулась с трудной проблемой, которая, можно надеяться, будет решена в ближайшие годы.

Совершенно уникальные результаты были получены при исследовании рентгеновских источников в ближайших галактиках. Так, в туманности Андромеды обнаружено около сотни рентгеновских источников, самые слабые из которых, регистрируемые на пределе чувствительности аппаратурой ХЕАО-2, имеют мощность  $10^{37}$  эрг/с; 17 из них отождествляют с шаровыми скоплениями, которых в туманности Андромеды 225 — почти в 2 раза больше, чем в нашей Галактике. Любопытно, что мощность рентгеновского излучения таких источников заметно выше, чем у их «братьев» в шаровых скоплениях нашей Галактики. (При сравнении рентгеновских источников в Галактике и туманности Андромеды следует иметь в виду, что полная масса последней раза в два больше.) Пока трудно сказать, к какому классу объектов относятся эти источники. Так как в туманности Андромеды скорость образования звезд из межзвездной среды в несколько раз меньше, чем в Галактике, там должно быть мало массивных голубых сверхгигантов, а следовательно, — источников рентгеновского излучения типа Центавр X-1, Лебедь X-1 и пр.

Не меньший интерес представляет выполненное с помощью ХЕАО-2 детальное исследование рентгеновских источников в двух ближайших галактиках — Большом и Малом Магеллановых облаках. Масса Большого Магелланова облака (БМО) примерно в 10 раз меньше, чем туманности Андромеды, но зато оно в 10 раз ближе к нам. По характеру звездного населения эта галактика

значительно отличается как от туманности Андромеды, так и от нашей Галактики. Всего в БМО обнаружено около 200 рентгеновских источников. По-видимому, большая их часть связана с массивными двойными системами. В Малом Магеллановом облаке обнаружено свыше 20 источников.

Рентгеновские источники наблюдались и в других галактиках Местной системы, например в М 83 (10 источников). У гигантской спиральной галактики М 101 обнаружено на удивление мало источников — всего 4, в то время как у карликовой галактики М 33 — 9 источников, причем эта галактика имеет очень яркое рентгеновское ядро, мощность излучения которого  $5 \cdot 10^{38}$  эрг/с в десятки раз больше, чем у М 31. Что касается нашей Галактики, то рентгеновская мощность его ядра совершенно ничтожна, меньше  $5 \cdot 10^{35}$  эрг/с. У более удаленных галактик уже нет возможности наблюдать отдельные рентгеновские источники. «Интегральное» рентгеновское излучение обнаружено у 35 из 43 обследованных галактик. Мощность этого излучения составляет  $10^{-3}$ — $10^{-4}$  от оптической мощности, но бывает и меньше.

Ядра некоторых нормальных галактик аномально сильно излучают в рентгеновском диапазоне, в котором их мощность уже начинает сравниться с мощностью активных ядер сейфертовских галактик. Наиболее сильно этот феномен выражен у квазаров. Как уже упоминалось выше, чувствительность детекторов рентгеновского излучения, установленных на ХЕАО-2, позволяет зарегистрировать десятки тысяч квазаров, удаленных от нас на космологические расстояния, соответствующие красному смещению  $z \approx 2$ — $2,5$ . Поэтому многие квазары были открыты сначала в рентгеновском диапазоне, а уж потом подтверждены оптическими наблюдениями. В этом отношении методы рентгеновской астрономии уже сегодня вполне конкурируют с радиоастрономическими методами. Статистика рентгеновских источников, отождествляемых с квазарами и сейфертовскими галактиками, позволяет сделать вывод, что изотропный фон в мягком рентгеновском диапазоне объясняется суммарным излучением этих метagalacticких источников. Рентгеновское излучение от них есть важная часть фундаментальной проблемы активности галактических ядер. Естественно, мы не можем здесь останавливаться на этом подробнее.

Точно так же мы не можем останавливаться сколько-нибудь подробно и на важных исследованиях весьма горячей плазмы, заполняющей межгалактическое пространство в скоплениях галактик. Результаты, полученные на эйнштейновской обсерватории, позволили развить классификацию этих объектов, основанную на их морфологических признаках. Были получены серьезные аргументы в пользу существования невидимой, «скрытой» массы, сосредоточенной в галактических «коронах». Наконец, тщательно исследовался важный процесс взаимодействия межгалактической плазмы и породивших ее «материнских» галактик.

Приходится только удивляться невероятно быстрому прогрессу рентгено-астрономических исследований. За 20 истекших лет разрешающая способность телескопов в этой спектральной области увеличилась от  $10^\circ$  до  $2''$ , т. е. примерно в 10 000 раз! Чувствительность по потоку (в диапазоне энергий квантов 1—10 кэВ) возросла от  $10^{-8}$  до  $3 \cdot 10^{-14}$  эрг/см<sup>2</sup>·с, т. е. в 300 000 раз. Качество рентгеновских спектров от таких объектов, как остатки вспышек сверхновых, достигло «лабораторного» уровня. Количество космических источ-

ников, которое потенциально может быть исследовано, увеличилось от немногих единиц до сотен тысяч. Все это означает, что несмотря на огромные трудности, которые пришлось преодолеть, достигнутый уровень рентгеновской астрономии вполне сравним с уровнем оптической и радиоастрономии.

Интересно более детально сопоставить темпы развития рентгеновской и радиоастрономии. За первые 20 лет своего развития — от открытия ярчайших космических источников Лебедь А и Кассиопея А — до рубежа 1966 г., когда начались первые интерференционные наблюдения на межконтинентальных базах, угловое разрешение радиотелескопов улучшилось с  $10^\circ$  до немногих секунд, т. е. так же, как и в рентгеновской астрономии; чувствительность приемников (по потоку) — от 100 до 0,1 Ян ( $1 \text{ Янский} = 10^{-26} \text{ Вн/м}^2 \cdot \text{Гц}$ ), т. е. в 1000 раз. Прогресс в этой области шел медленней, чем в рентгеновской астрономии. Даже сейчас, спустя 35 лет после открытия первых космических радиисточников, лучшая чувствительность радиотелескопов остается на уровне 1 мЯн, т. е. за прошедшие десятилетия она улучшилась в  $10^5$  раз, — так же, как и чувствительность рентгеновских телескопов. Зато по угловому разрешению методы межконтинентальной (а в перспективе и межпланетной) интерферометрии выдвинули радиоастрономию далеко вперед по отношению не только к рентгеновской, но и оптической астрономии. Заметим, однако, что лишь немногие радиисточники могут быть измерены с помощью такой методики.

Современная рентгеновская астрономия — дорогая наука. Первый рентгеновский телескоп «Ухуру» обошелся в  $10^7$  долл. «Обсерватория им. Эйнштейна» стоила уже  $10^8$  долл. Заметим, что 100-метровый высокоточный радиотелескоп сейчас стоит несколько десятков миллионов долларов — столько же, сколько крупнейший оптический телескоп. С другой стороны, стоимость системы автоматических станций «Вояджер», столь успешно исследовавших большие планеты Солнечной системы, составила  $10^9$  долл., а посадки астронавтов на Луну обошлись американскому налогоплательщику в  $3 \cdot 10^{10}$  долл.! Конечно, для самоутверждения человечества последний эксперимент имеет большое значение. Однако для науки куда большее значение имеют блистательные результаты, полученные на «Ухуру», ХЕАО-2, «Копернике» (первый оптический космический телескоп) и КОС-Б (гамма-телескоп). И конечно, не сдают своих позиций могучие наземные средства исследования, которыми располагают современные оптическая и радиоастрономия.

Времена дилевой науки безвозвратно прошли. Но при всей дороговизне современных средств исследования всегда надо помнить, что расходы на разработку и изготовление варварских средств уничтожения неизмеримо превосходят расходы на истинную науку. Ведь суточного военного бюджета США вполне достаточно, чтобы профинансировать несколько проектов более совершенных, чем «Обсерватория им. Эйнштейна»!



**Иосиф Самуилович Шкловский**

**ИЗ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ РАДИОАСТРОНОМИИ В СССР**

Гл. отраслевой редактор *Л. А. Ерлыкин*

Редактор *Е. Ю. Ермаков*

Мл. редактор *Г. И. Родкина*

Обложка художника *А. А. Астрецова*

Худож. редактор *М. А. Гусева*

Техн. редактор *Н. В. Лбова*

Корректор *В. И. Гуляева*

ИБ № 5834

Сдано в набор 16.08.82. Подписано к печати 22.11.82. Т 14771.  
Формат бумаги 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага тип. № 3. Гарнитура  
литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 3,36. Усл. кр.-отт.  
3,57. Уч.-изд. л. 3,89. Тираж 26460 экз. Заказ 1501. Цена 11 коп.  
Издательство «Знание». 101835. ГСП, Москва, Центр, проезд  
Серова, д. 4. Индекс заказа 824211.  
Типография Всесоюзного общества «Знание», Москва, Центр,  
Новая пл., д. 3/4.