

ISSN 0371-6791

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА,
ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. М.В.ЛОМОНОСОВА

ТРУДЫ
ГОСУДАРСТВЕННОГО
АСТРОНОМИЧЕСКОГО
ИНСТИТУТА
им. П.К.ШТЕРНБЕРГА

Том LXVII
Часть 2

2001

Издание осуществлено при финансовой поддержке Российского Фонда
Фундаментальных Исследований (проект № 01-02-30003).

РФФИ

УДК 52(092); 523.9; 524.

Труды Государственного астрономического института
им.П.К.Штернберга. Т.67. ч.II. М.. 2001. — 426 с. 10 с.илл.

Настоящий выпуск Трудов ГАИШ содержит мемориальную и некоторую часть научной сессий международной научной конференции “Современные проблемы астрофизики”, состоявшейся 23-28 сентября 1996 года в г.Москве и посвященной памяти выдающихся астрофизиков члена-корреспондента АН СССР Иосифа Самуиловича Шкловского, профессора МГУ им. М.В.Ломоносова Соломона Борисовича Пикельнера и доктора физико-математических наук Самуила Ароновича Каплана. Содержание тома предназначено для всех, интересующихся астрономией, особенно, конечно, для профессиональных астрономов, студентов и аспирантов астрономических отделений и кафедр университетов и педвузов.

Редактор тома: к.ф.-м.н. В.М.Чепурова.

Рецензенты:

акад. Н.С.Кардашев

к.ф.-м.н. Е.К.Шеффер

Печатается по постановлению Редакционно-издательского совета
Государственного Астрономического института им. П.К.Штернберга

ISSN 0371-6791

ISBN 8037-0068-1

© Издательство “Янус-К”, 2001 г.

Содержание

| | |
|---|-----------|
| I Мемориальная часть | 11 |
| <i>Вступительное слово академика Н.С. Кардашева</i> | 12 |
| <i>В.А. Садовничий (ректор МГУ)</i> | 12 |
| <i>А.М. Черпащук, — председатель местного оргкомитета (директор ГАИШ МГУ)</i> | 14 |
| <i>Н.Г. Бочкарев — сопредседатель ЕААО (ГАИШ МГУ)</i> | 14 |
| <i>Н.С. Кардашев (директор АКЦ ФИАН)</i> | 15 |
| <i>П.В. Щеглов (ГАИШ МГУ)</i> | |
| И.С. Шкловский и преподавание астрономии в ГАИШ . | 16 |
| <i>Э.Н. Кауров (ЕААО)</i> | |
| И.С. Шкловский и пресса | 20 |
| <i>К.И. Никольская (ИЗМИРАН)</i> | |
| Идеи Шкловского в новейших исследованиях солнечной короны | 22 |
| <i>И.С. Веселовский (НИИЯФ МГУ)</i> | |
| “Физика солнечной короны” И.С. Шкловского: вчера и сегодня | 25 |
| <i>А.М. Микиша (ИНАСАН)</i> | |
| Мои учителя | 28 |
| <i>В.М. Чепурова (ГАИШ МГУ)</i> | |
| Мои первые встречи с И.С. Шкловским | 35 |
| <i>Л.В. Ксанфомалити (ИКИ РАН)</i> | |
| И.С. Шкловский: штрихи к портрету | 37 |
| <i>Ф.А. Цицин (ГАИШ МГУ)</i> | |
| И.С. Шкловский и научная фантастика | 45 |
| <i>Т.К. Бреус (ИКИ РАН)</i> | |
| К проблеме приоритета синхротронной концепции в астрономии | 47 |
| <i>В.В. Казютинский (ИФРАН)</i> | |
| Мировоззренческие аспекты SETI в работах И.С. Шкловского | 57 |
| Л.Х. Шаташвили (ИГФ АН Грузии) | |
| Встречи с И.С. Шкловским, С.Б. Пикельнером, С.А. Капланом | 62 |
| <i>Н.С. Полосухина (КраО)</i> | |
| Симеизский период в жизни И.С. Шкловского, С.Б. Пикельнера и С.А. Каплана | 65 |

| | |
|--|------------|
| <i>М.А. Лившиц (ИЗМИРАН)</i> | |
| С.Б. Пикельнер (1921-1975) | 69 |
| <i>Л.Б. Пикельнер</i> | |
| Воспоминания о брате | 72 |
| <i>В.Н. Обриджо (ИЗМИРАН)</i> | |
| Учитель | 74 |
| <i>Р.Е. Гершберг (КраО)</i> | |
| Требуется С.Б. Пикельнер (к 75-летию со дня рождения) | 77 |
| <i>Т.А. Лозинская (ГАИШ МГУ)</i> | |
| Из воспоминаний детства | 82 |
| <i>Б.В. Комберг (АКЦ ФИАН)</i> | |
| О Соломоне Борисовиче Пикельнере | 83 |
| <i>Р.Л. Сороченко (АКЦ ФИАН)</i> | |
| Мои контакты со Шкловским и Пикельнером | 85 |
| <i>В.Г. Горбачкий (СПбГУ)</i> | |
| Воспоминания | 86 |
| <i>В.В. Железняков (ИПФ РАН)</i> | |
| Некоторые замечания по поводу... | 90 |
| <i>Н.С. Петрухин (ННПИ)</i> | |
| Слово о Самуиле Ароновиче Каплане | 91 |
| <i>В.И. Проник (КраО)</i> | |
| Воспоминания о С.А. Каплане (львовский период, дружба с С.Б. Пикельнером) | 94 |
| <i>И.А. Климишин (ПУ), А.А. Логвиненко (ЛНУ)</i> | |
| Научная деятельность С.А. Каплана во Львовском университете (1948-1961 гг.) | 99 |
| <i>А.А. Логвиненко (ЛНУ)</i> | |
| О С.А. Каплане | 106 |
| <i>Рисунки И.С. Шкловского</i> | 111 |
| II SETI | 115 |
| <i>Л.М. Гиндилис (ГАИШ МГУ)</i> | |
| SETI: Шкловский, Каплан и Пикельнер | 116 |
| <i>Н.Т. Петрович (МТУСИ)</i> | |
| Оценка гипотезы: корреспондент SETI помогает обнару- жить его сигналы, тонущие в шумах приемников | 130 |
| <i>В.М. Липунов (ГАИШ МГУ)</i> | |
| О проблеме сверхразума в астрофизике | 139 |
| <i>Л.В. Ксанфомалити (ИКИ РАН)</i> | |
| Возможно ли выполнение межзвездной экспедиции за время жизни одного поколения? | 147 |

| | |
|--|------------|
| <i>Л.В. Ксанфомалити (ИКИ РАН)</i> | |
| Возможность возникновения и развития жизни ограничивается характеристиками планеты | 151 |
| <i>А.В. Архипов (РИАН)</i> | |
| Техногенный компонент межзвездной среды | 163 |
| <i>Э.Н. Кауров (ЕААО)</i> | |
| SETI и проблема древних цивилизаций | 172 |
| <i>Н.С. Кардашев (АКЦ ФИАН)</i> | |
| Космология и цивилизации | 179 |
| <i>М.М. Агрест</i> | |
| Возникновение идеи о палеоконтактах и ее развитие в бывшем СССР | 192 |
| <i>Л.М. Гиндилис, С.А. Каплан</i> | |
| Анкета SETI | 205 |
| III Статьи | 249 |
| <i>В.П. Григорьева, В.Н. Курильчик, В.С. Прокудина (ГАИШ МГУ)</i> | |
| Некоторые результаты измерений длинноволнового радиоизлучения на ИСЗ типа “Прогноз” и “Интербол” . . | 250 |
| <i>В.Н. Карпинский (ГАО РАН)</i> | |
| Судьба Советской стратосферной астрономии | 258 |
| <i>В.Н. Ишков (ИЗМИРАН)</i> | |
| Наблюдательные признаки осуществления жестких рентгеновских вспышек | 264 |
| <i>Р.А. Гуляев (ИЗМИРАН)</i> | |
| Внешняя солнечная корона и гелиосферный токовый слой | 269 |
| <i>Е.А. Макарова (ГАИШ МГУ), А.В. Харитонов (АФИФ)</i> | |
| Описание сводных таблиц основных характеристик солнечного излучения | 279 |
| <i>Л.Н. Князева, А.В. Харитонов (АФИФ)</i> | |
| Солнце на двухцветных диаграммах в разных фотометрических системах | 282 |
| <i>В.С. Прокудина (ГАИШ МГУ)</i> | |
| Физические представления И.С.Шкловского о связи рентгеновского и радиоизлучения солнечной короны и о процессах в геокороне | 287 |
| <i>Е.Н. Виняйкин (НИРФИ)</i> | |
| Вековое уменьшение и случайные вариации плотности по- тока радиоизлучения Кассиопеи А по результатам много- летних наблюдений на частотах 927, 290, 151.5 и 38 МГц | 293 |

| | |
|---|------------|
| <i>Д.В. Бисикало, А.А. Боярчук (ИНАСАН), О.А. Кузнецов, В.М. Чечеткин (ИПМ)</i> | |
| Перенос вещества в симбиотических звездах. Газодинамический подход. | 303 |
| <i>В.П. Долгачев, А.Д. Чернин (ГАИШ МГУ)</i> | |
| Скрытые массы в широких тройных системах галактик . | 312 |
| <i>В.Т. Дорошенко (ГАИШ МГУ), К.К. Чуваев, С.Г. Сергеев, В.И. Проник, Ю.Ф. Мальков (КраО)</i> | |
| Фотометрия и спектрофотометрия сейфертовской галактики Мкп 509 за 23 года | 315 |
| <i>В.П. Гринин (КраО, АИ СПбГУ)</i> | |
| Кометоподобная активность в окрестности молодых звезд | 322 |
| <i>А.Ф. Захаров (ИТЭФ)</i> | |
| Сверхновая как мощный источник гравитационного излучения | 328 |
| <i>К.С. Станкевич, В.П. Иванов, С.П. Столяров (НИРФИ)</i> | |
| Эффект Шкловского в эволюции остатков сверхновых . | 342 |
| <i>А.Е. Дудоров, А.Г. Жилкин (ЧелГУ)</i> | |
| МГД-коллапс протозвездных облаков | 351 |
| <i>Ю.Н. Бондаренко, В.Ю. Гуторов, И.А. Лаптев, П.В. Щеглов (ГАИШ МГУ)</i> | |
| Интерферометр Фабри-Перо с двойным прохождением для линии [OIII]-5007Å | 362 |
| <i>Т.А. Лозинская (ГАИШ МГУ)</i> | |
| Сверхновые и звездный ветер в межзвездной среде . . . | 368 |
| <i>Г.М. Рудницкий (ГАИШ МГУ)</i> | |
| Физические процессы в околозвездных оболочках красных гигантов и сверхгигантов | 380 |
| IV Стендовые доклады | 383 |
| <i>А.Е. Дудоров, Е.Э. Горбенко (ЧелГУ)</i> | |
| Затухание остаточного магнитного поля в звездах типа Т Тельца | 384 |
| <i>И.Л. Андронов, В.И. Марсакова (кафедра астрономии ОГУ)</i> | |
| Анализ переменности характеристик фазовых кривых блеска полуправильной переменной звезды RS Лебеда . | 386 |
| <i>М.А. Воронков (МГУ)</i> | |
| Наблюдения метанольных мазеров на частоте 6.7 ГГц в Медине | 388 |

| | |
|--|-----|
| <i>М.А. Eremin (VolSU)</i> | |
| Instability of spherical accretion with a shock wave onto a point mass. | 390 |
| <i>А.Ф. Захаров (ИТЭФ)</i> | |
| Некоторые свойства уравнения гравитационной линзы вблизи особенностей типа сборки | 392 |
| <i>А.Ф. Захаров (ИТЭФ), М.В. Сажин (ГАИШ МГУ)</i> | |
| Микролинзирование некомпактными объектами | 394 |
| <i>В.И. Кондратьев (МГУ), М.В. Попов, В.А. Согласнов (АКЦ ФИАН)</i> | |
| Анализ частотной мерцательной структуры пульсара PSR 1508+55 | 396 |
| <i>С.Б. Попов, М.Е. Прохоров (ГАИШ МГУ)</i> | |
| Пространственное распределение светимости аккрецирующих нейтронных звезд в Галактике | 398 |
| <i>Д.С. Кривицкий, В.М. Конторович (РИАН)</i> | |
| Моделирование слияний галактик в скоплениях и группах: “взрывная” эволюция | 400 |
| <i>Э.М. Свирская, А.Ю. Шмелёв (ЧелГУ)</i> | |
| Прогнозирование отношений масс контактных двойных систем типа W UMa. | 402 |
| <i>А.А. Степанян, Н.Н. Чаленко (КрАО)</i> | |
| Подтверждение структуры магнитного поля в Крабовид- ной туманности данными наблюдений гамма-квантов вы- соких и сверхвысоких энергий | 404 |
| <i>О.И. Шарова (НИРФИ)</i> | |
| Состояние проблемы расстояний до галактических планетарных туманностей | 405 |
| <i>А.В. Хоперсков, С.С. Храпов (ВолГУ)</i> | |
| Диссипативные неустойчивости в тонком аккреционном диске | 408 |
| <i>Е.Ф. Ризов (АКЦ ФИАН)</i> | |
| Геометрооптические ошибки в больших апертурно-сплошных телескопах микроволнового диапазона | 410 |
| <i>С.В. Каленский, А.М. Дзюра, А.В. Алакоз (АКЦ ФИАН), Р. Бус, А. Виннберг (OSO)</i> | |
| Наблюдения областей звездообразования в линиях сложных молекул | 413 |

| | |
|--|-----|
| <i>А.Е. Дудоров, К.Е. Степанов (ЧелГУ)</i> | |
| Тепловая неустойчивость | |
| в замагниченных межзвездных облаках | 416 |
| <i>В.В. Мусцевой (ВолГУ), А.А. Соловьев (КалмГУ)</i> | |
| Природа волокнистой структуры | |
| полутени солнечных пятен | 418 |
| <i>В.М. Ефименко, У.М. Лейко (АО КГУ)</i> | |
| О пространственно-временном распределении | |
| активных областей на Солнце | 421 |
| <i>В.Г. Сурдин (ГАИШ МГУ)</i> | |
| Эволюция молодого звездного агрегата | 423 |

Список сокращений

Перечень институтов (с расшифровкой аббревиатур), сотрудники которых участвовали в международной научной конференции “Современные проблемы астрофизики” в сентябре 1996 г. в Москве.

- АИ СПбГУ — Астрономический институт им. В.В.Соболева Санкт-Петербургского государственного университета
- АКЦ ФИАН — Астрокосмический центр Физического института им.П.Н.Лебедева Российской академии наук, г.Москва
- АО КДУ — Астрономическая обсерватория Киевского державного университета им. Т.Г.Шевченко
- АФИФ — Астрофизический институт им.В.Г.Фесенкова Академии наук Казахстана, г.Алма-Ата
- ВолГУ (VolSU) — Волгоградский государственный университет
- ГАИШ МГУ — Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова
- ГАО РАН — Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской академии наук, г. Санкт-Петербург
- ЕААО — Международное евразийское астрономическое общество, г.Москва
- ИГФ АН Грузии — Институт геофизики им.М.З.Нодиа Академии наук Грузии, г.Тбилиси
- ИЗМИРАН — Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн Российской академии наук, г.Троицк
- ИКИ РАН — Институт космических исследований Российской академии наук, г.Москва
- ИНАСАН — Институт астрономии Российской академии наук, г.Москва
- ИФРАН — Институт философии Российской академии наук, г.Москва
- ИПМ РАН — Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша Российской академии наук, г.Москва

- ИПФ РАН — Нижегородский институт прикладной физики Российской академии наук
- ИТЭФ — Государственный научный центр Российской Федерации — “Институт теоретической и экспериментальной физики”, г.Москва
- КалмГУ — Калмыцкий государственный университет, г.Элиста
- КраО — Крымская астрофизическая обсерватория
- ЛНУ — Львовский национальный университет им.Ивана Франко
- МГУ — Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова
- МТУСИ — Московский технический университет связи и информатики
- НИИЯФ МГУ — Научно-исследовательский институт ядерной физики Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова
- ННПИ — Нижегородский политехнический институт (с 1992 г. — Нижегородский государственный технический университет)
- НИРФИ — Научно-исследовательский радиофизический институт, г.Нижний Новгород
- ОГУ — Одесский государственный университет им. И.И.Мечникова
- ОИЯИ — Объединенный институт ядерных исследований, г.Дубна
- OSO — Космическая обсерватория Онсала (Швеция), The Onsala Space Observatory
- ПУ — Прикарпатский университет им.В.С.Стефаника, г.Иваново-Франковск
- РИАН — Радиоастрономический институт Национальной академии наук Украины, г.Харьков
- СПбГУ — Санкт-Петербургский государственный университет
- ЧелГУ — Челябинский государственный университет

I Мемориальная часть

Вступительное слово академика Н.С. Кардашева

Дорогие коллеги, дорогие друзья! Глубокоуважаемые родные, близкие и знакомые Иосифа Самойловича Шкловского (ИСШ), Самуила Ароновича Каплана (САК), Соломона Борисовича Пикельнера (СБП), мы отмечаем сегодня их юбилеи и вспоминаем те времена, когда мы были очень тесно с ними знакомы, вместе работали, вместе отдыхали, ездили на конференции. Они начинали путь свой по-разному, в разных городах. Двое из них учились в Московском университете. Их судьбы были очень тесно связаны с ГАИШ.

После Отечественной войны астрономия в нашей стране получила очень большое развитие. Это развитие было связано с тем, что техника позволила наблюдать звездное небо во всех диапазонах и одновременно физика достигла понимания того, что собой представляют многие объекты в Космосе. Но чтобы все это объединить, нужны были очень яркие люди, активно стоящие на передовых границах современной физики и астрономии. Именно к такому типу ученых принадлежали трое людей, память которых мы сегодня отмечаем. Одновременно они были очень тесно лично связаны. Двое из них — СБП и ИСШ — просто работали здесь в здании ГАИШа в одной комнате. И очень часто здесь бывал и участвовал во многих конференциях, семинарах САК.

Они были связаны с самыми передовыми, с самыми новейшими направлениями современной астрономии и физики в то время и очень многое сделали. Поэтому очень важны для понимания вклада в науку их и той школы, которую они создали, воспоминания тех людей, которых они вырастили, об их отношениях с молодежью и их взаимоотношениях, являющихся ярким наставлением на будущее.

Наряду с воспоминаниями, мы поговорим также о новейших достижениях астрономии, в основе которых во многих случаях лежат работы, сделанные ими.

В.А. Садовничий (ректор МГУ)

Дорогие коллеги, я с удовольствием принял приглашение прийти на открытие конференции, хотя я не являюсь астрономом, я математик. Но я это делаю с огромным удовольствием, потому, что, наверное, для ученых нет ничего более приятного, более полезного, более нужного, чем проведение конференций, общение, и это все вместе составляет научную деятельность или качество научной деятельности ученого.

Приятно, что конференция проходит в это непростое для науки время. И, конечно, замечательно, что она посвящена выдающимся ученым-астрономам, и, по-современному если сказать, создателям новой научной школы, целого научного направления, ученым, чьи имена вошли в историю науки навсегда и записаны золотыми буквами.

Сейчас очень принято поддерживать научные школы, даже на правительственном уровне пытаются дать точное определение, что это такое — научная школа, чтобы потом выделять гранты на поддержку этих школ. А Московский университет всегда реально создавал научные школы, создавал научные направления — и в этом сила нашей науки и, конечно, Московского Университета.

Сейчас пытаются анализировать, появляется много публикаций в зарубежных журналах, — что это за феномен такой нашей российской науки был, почему она получила такое огромное развитие в 50-х годах. На мой взгляд, этот феномен состоял в том, что наши предшественники сумели к новейшим фундаментальным исследованиям привлечь учебный процесс, воспитывать молодежь, воспитывать следующее поколение и, как-то даже не отдавая себе отчета в том, что происходит, вводили их в большую науку.

Люди, которым посвящена данная конференция, являются очень яркими представителями таких ученых. Мне очень приятно, что ГАИШ, институт Московского университета, регулярно проводит научные конференции. Одна из предыдущих конференций была посвящена памяти выдающегося нашего ученого Я.Б. Зельдовича. И вновь совместно с Академией наук, с Астрономическим обществом институт проводит такую конференцию. Ученые института имеют возможность приобщиться, сплотиться вокруг некой научной идеи, научной конференции и испытать тот хороший глоток воды или воздуха, который даст толчок дальнейшему развитию науки.

Я с удовольствием приветствую участников конференции в Московском университете. Мы постарались сделать все, что могли, для иностранных гостей, почтивших нас своим вниманием и приехавших сюда. Я очень благодарен организаторам за то, что они местом проведения избрали Московский университет. Я благодарен всем, кто хочет выступить с докладами, поскольку в этом наша сила, сила Московского университета — служить науке, постигать истину, добро, служить справедливости. Я еще раз приветствую участников конференции.

*А.М. Черепашук, — председатель местного оргкомитета
(директор ГАИШ МГУ)*

Я хочу приветствовать дорогих коллег и всех присутствующих от имени местного организационного комитета нашей конференции, от коллектива Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга и от себя лично.

Хочу выразить большую благодарность всем коллегам за то, что они приехали к нам, хочу выразить огромную благодарность родственникам наших выдающихся ученых, памяти которых посвящена данная конференция, друзьям. Я считаю, что эта конференция проходит очень своевременно. Потому что сейчас настало время, когда мы можем осмыслить то, что происходило в астрономии и в науке в целом в те времена — в 60-70-80-е годы. ИСШ назвал это время второй революцией в астрономии, потому что в эти годы — с 60 по 80-й — открытия следовали одно за другим: квазары, пульсары, реликтовое микроволновое излучение, черные дыры, мазеры, молекулярные облака и т.д., и т.д. И в этой революции наша когорта ученых принимала самое непосредственное участие, именно творила эту революцию. И наше счастье — более молодых — в том, что мы были учениками этих выдающихся ученых. Я лично слушал лекции СБП по теоретической астрофизике, сдавал ему экзамены и зачеты; слушал лекции по радиоастрономии ИСШ, сдавал ему экзамены. Я учился по учебникам САК, в частности, “Межзвездная среда”. Я горжусь тем, что я являюсь в какой-то степени учеником этих выдающихся ученых. И большинство из наших выпускников — астрономов Московского университета, и многие астрономы России, бывшего Советского Союза, считают себя учениками этих выдающихся ученых. Я думаю, что наша конференция — это небольшая доля той благодарности, которую мы испытываем по отношению к ним.

Я очень хочу, чтобы конференция прошла хорошо, и местный организационный комитет постарается сделать все, чтобы дорогие докладчики и гости здесь чувствовали себя достаточно комфортно и спокойно. Я хотел бы поблагодарить Российский фонд фундаментальных исследований за финансовую поддержку нашей конференции, а также ректора МГУ В.А. Садовниченко за материальную поддержку конференции и за то, что, несмотря на свою огромную загруженность, он нашел время посетить и поприветствовать ее участников. Я желаю всем участникам конференции хорошего самочувствия и плодотворной работы.

Н.Г. Бочкарев — сопредседатель ЕААО (ГАИШ МГУ)

Прежде всего я приветствую от имени Астрономического общества собравшихся в этом зале. Конференция, которую мы открываем, посвящена памяти трех по настоящему выдающихся ученых-астрофизиков современности. Наиболее известным среди них был, пожалуй, ИСШ. Для широкой публики он был очень широко известен работами по внеземным цивилизациям, поскольку он поставил их на научную основу, разбив спекуляции. Но, разумеется, основной его научный вклад лежал в очень многих других областях современной астрофизики. Это основополагающие работы, которые всем известны и которые будут вспоминать сегодня и на продолжении всей этой конференции. Но по так называемому “Гамбургскому” счету — счету во внутренней среде астрофизиков — особое место занимает СБП. Он работал в тесной связи не только с ИСШ, находясь с ним в одной комнате в ГАИШ, но и с САК. САК был единственный из этой триады, которого цитировал Эйнштейн.

Они были не только выдающимися учеными, но и прекрасными людьми, воспитателями молодых кадров. Все мы, здесь сидящие, в той или иной степени являемся прямыми или косвенными учениками этих трех ученых.

К сожалению, ни один из них не был членом нашего Астрономического общества, поскольку они ушли из жизни раньше, чем это Общество было создано. Но, учитывая их огромную роль в науке, в воспитании кадров, учитывая, что основная часть создателей Астрономического общества были их учениками, мы уже пять лет назад самую первую свою конференцию посвятили памяти двух из них — СБП и САК. Это было в Нижнем Новгороде в 1991 г., и осенью того же года в Москве мы провели второй съезд Общества, посвятив его памяти ИСШ.

В этом году возобладало мнение, что надо провести совместное заседание памяти всех троих. Эту конференцию мы открываем. Я желаю от имени Астрономического Общества всем собравшимся плодотворной работы.

Н.С. Кардашев (директор АКЦ ФИАН)

В адрес нашей конференции получено около двух десятков приветствий. Я просто перечислю организации и имена тех, кто знали наших юбиляров, тесно с ними сотрудничали и используют их труды в настоящее время. Поздравления прислали:

1. Большое коллективное послание из крупнейшей в Южном полушарии радиообсерватории в Австралии (более 20 подписей).

2. Один из выдающихся астрофизиков Соединенных Штатов, один из открывателей сверхсветового движения радиоисточников проф. Маршал Коэн из Калифорнийского Технологического института.

3. Профессор Герберт Фридман, основоположник рентгеновской астрономии в США, тесно сотрудничавший с ГАИШем в то время, когда проводились совместные исследования, в частности, открывший рентгеновское излучение от Крабовидной туманности.

4. Профессор ван де Холст, основоположник многих направлений современной астрофизики, тоже тесно сотрудничавший и очень тепло вспоминающий о совместных работах с нашими юбилярами.

5. Профессор сэр Бернард Ловэлл из Англии, основатель радиообсерватории Джодрелл Бэнк, тоже тесно работавший в прошлом с юбилярами и вспоминающий об этих работах в настоящее время.

6. Профессор Радхакришнан из Рамановского института Индии, один из основоположников радиоастрономии в Индии.

7. Профессор Сваруп, директор новейшей радиоастрономической обсерватории с гигантским радиотелескопом в Индии.

8. Профессор Питер Мецгер из института Макса Планка в Бонне (Германия), один из директоров этого института.

9. Профессор Пачини — тоже один из основоположников интерпретации наблюдений синхротронного излучения из далеких радиоисточников, в настоящее время директор обсерватории в Арчетри (Флоренция, Италия).

10. Профессор Эдвин Салпитер, известнейший астрофизик США, профессор Корнуэльского университета.

11. Профессор Джордж Сэлстат, в прошлом директор радиообсерватории Грин-Бэнк, в настоящее время декан Центра космических исследований университета штата Сев. Дакота (США).

12. Профессор Ерванд Терциан — глава департамента астрономических и космических исследований Корнуэльского университета.

И, наконец, известный профессор Чарльз Таунс, лауреат Нобелевской премии, один из основных исследователей космических мазеров (США, университет Беркли).

Все они просили передать самые лучшие пожелания нашей конференции и отметить, что они чтут память наших выдающихся ученых.

Теперь мы переходим к мемориальной части нашей конференции.

П.В. Щеглов (ГАИШ МГУ)
**И.С. Шкловский и преподавание
астрономии в ГАИШ**

Рассказать о том, как ИСШ занимался педагогической работой — тема почти необозримая. Как говорил он сам, сначала я сообщу некоторую преамбулу, а потом будет “амбула”.

Нужно вспомнить, как он сам стал астрономом. Как хорошо известно, ИСШ попал в астрономию случайно. Рассказывал он об этом так: его распределили в город Березов, известный по картине “Меньшиков в Березове”...Ему очень не хотелось туда ехать. Поэтому он пошел по институтам, спрашивая, нет ли где-нибудь аспирантского местечка. В химфизике его “послали”, в физхимии то же самое. Потом он попал к нам на Пресню. — “Выходит”, — говорит, “цветущая, как роза, наша кадровичка Елена Андреевна Сорокина и говорит: “А у нас как раз есть одно аспирантское место”. Вот он и попал в астрономию, причем попал к замечательному руководителю Николаю Николаевичу Парийскому, который, пожалуй, его только одного и подготовил.

А нравы были суровые. Экзаменов было много — все общественные дисциплины, два языка — правда, учили плохо, говорить по-английски ИСШ научился сильно позже, и вся астрономия: астрофизик сдавал небесную механику, серьезный курс обработки наблюдений и т.д., и т.д. Он все это выдержал, и тут начался у него, по-видимому, процесс интеграции в астрономию. Довольно быстро он вышел на то, что потом составило цикл его работ по солнечной короне. Это такая нестационарная астрофизика, совсем непохожая на теорию звездных атмосфер, которая у нас читалась прекрасно. Высоковозбужденные состояния, высокие температуры, отчасти радиоизлучение — все это были абсолютно новые вещи. А то, что температура короны равна 6 000 градусов ни у кого (в Москве) не вызывало сомнения. Следовательно, это дело встречалось с большим скепсисом. Помню, на каких-то средних курсах я случайно попал в конференц-зал старого ГАИШ, где шло обсуждение проблемы горячей короны, причем вопрос решался чуть ли не голосованием — кто за то, что она горячая, кто за то, что она холодная. ИСШ один, по моему, имел правильную точку зрения, и зрелище было как в басне Крылова — он забился в угол и на него насакивали всякие солидные товарищи классики... Но все обошлось. Тут же, по-моему, где-то находился его первый аспирант, Григорий Александрович Лейкин, который долго потом работал в Астросовете, но, правда, не по той части, по которой ИСШ его готовил. А он ему дал в общем тему по солнечной короне,

которая его интересовала, — кажется, один из механизмов нагрева.

Тогда-то ИСШ понял, по-видимому, — я пытаюсь восстановить ход его мыслей, — что нельзя подготовить астрофизика в этой новой области из имеющихся, пусть даже очень хороших, астрономов, скажем, прошедших курс классической астрофизики. Курс читал Мустель, блестяще читал, а экзамены как он принимал! — Это я до сих пор помню, как он меня 40 минут гонял, потом говорит, — “Придется вам поставить 4, раз вы не знаете основного факта, который тут есть”. Тогда он был очень живым и хорошо объяснял. До сих пор помню, что надо было сказать, что вся эта теория работает только в условиях когерентности, когда нет изменения частоты.

Значит, новых астрофизиков надо готовить с самого начала так же, как сейчас готовят пилотов реактивных самолетов: курсанта сразу сажают на быстрый самолет и дальше он на нем учится. Ну, чтобы не было ошибок, ИСШ завел семинар... Народ ходил, кто хотел — просто слушал, а мы, чтобы слушать, узнавать и сдавать. Называлось это то ли теоретическая физика для астрономов, то ли радиоастрономия, то ли еще как-то... Но, во всяком случае, как говорится, на занятиях получить балл выше тройки было очень трудно. Вырабатывался некоторый подход, — понимание тех факторов, которые нужно учитывать, и тех, которые не нужно учитывать, умение быстро прикинуть, что получается, что важно, что не важно. Это была очень хорошая школа. Из участников семинара — когда лектор читает, он смотрит и видит, кто его как понимает, а тем более, когда разговор идет около доски — появлялись люди, которым потом можно было пойти в аспирантуру тем или иным путем. А эти пути достаточно хорошо изложены в красной книге, которая сейчас всем нам выдается (*ред.- речь идет о сборнике воспоминаний о ИСШ “И. Шкловский: разум, жизнь, вселенная”, она в красном переплете*). Что дальше? Дальше ИСШ понял, что нельзя, да и не нужно было ему, чтобы у него были какие-то помощники, которые бы его теории развивали. Он говорил так: — “Я вам теорий напишу сам, сколько хочешь”. А всех он ориентировал на наблюдения. По-видимому, где-то в 50-м году у него установилась твердая точка зрения: он сам для себя решил, что астрономия — наука наблюдательная, нужно иметь хорошие наблюдения, они что-то покажут, дадут основу.

Нельзя не сказать два слова о том, в какой атмосфере он работал. Краснопресненская обсерватория при всей своей, как говорится, поэтичности, была каким-то берендеевым царством. Вот сейчас немножко подбили статистику и выяснилось, что на этой маленькой территории, в этих полутора зданиях было подготовлено за время существования об-

серватории, то есть с 1831 по 1953 гг., 21 человек членов-корреспондентов АН СССР. Из них пять прошли в академики. И вышло оттуда — я говорю только об ушедших с обсерватории — четыре директора крупных обсерваторий: фактический основатель Киевской обсерватории Митрофан Хандриков, Пулковские директора Ф.А. Бредихин, А.А. Белопольский, А.А. Михайлов. Ну, Пулково обладает таким свойством, что свои директора у них не растут. А в ГАИШе долго росли исключительно свои, чем и объясняется его тогдашнее процветание. Фантастическая добросовестность и невозможность делать какую-нибудь халтуру была там возведена в ранг закона...

ИСШ тоже был абсолютно бескомпромиссен в научной сфере и пытался изо всех сил этому же научить и нас. Понимание этой идеи пришло сильно позже. Как вы знаете, большие проекты обладают таким удивительным свойством, что они притягивают людей не всегда, будем говорить, достаточно добросовестных. Это и на Западе так. Возьмите Хаббловский телескоп: запустили — изображения нет. Пришлось еще пятьсот миллионов долларов затратить, чтобы ставить туда корректирующую систему: люди разобрались по телеметрии, что там происходит, а вот в лаборатории не могли!

...Возвращаясь к ИСШ, скажу, что этот его подход к делу сыграл довольно большую роль и принес множество неприятностей ему и тем из его учеников, которые пытались следовать идеалам добросовестной науки, — потому что, когда дело доходит до крупных денег, там любые средства идут в ход...

Итак, довольно быстро появилось примерно человек десять, которых ИСШ подготовил. Сначала о том, как он их готовил. Он стремился, чтобы у людей были свои темы. Ему не нужно было, чтобы кто-то чего-то ему делал. Мне попала такая вещь: сделать ромбовидную антенну, на декаметровый диапазон, навести ее на Солнце и писать динамический спектр выбросов. Тема очень хорошая. По-моему, до сих пор подобной систематически работающей установки (если не считать спутниковой) у нас нет, лишь в Иркутске, кажется что-то есть. Ну вот, я взялся за это дело, а тут ИСШ и говорит: “Вы отвлекитесь на минутку. Вот я рассчитал одну корональную линию — 10 747 ангстрем... Попробуйте это снять...” Я говорю — это не получится: пленки не чувствуют. Мы тогда хорошо учили астрофотографию и знали, что можно снимать, что нет. А ИСШ говорит: “Это будет новая техника — электронно-оптические преобразователи”. С помощью Красовского, второго моего учителя, я это дело быстренько освоил. Но на затмении погоды не было. А опыт остался, и этим же летом удалось снять созвездие Лебедя на той же

трубке... Выглядело оно в ИК-лучах поразительно. ИСШ мгновенно поменял тему: и тема пошла по инфракрасным делам, в конце концов по электронно-оптическим преобразователям. Это было очень удачное решение, поскольку это один из многочисленных подарков Сергея Ивановича Вавилова — министра видения в темноте (уполномоченного ГКО по приборам ночного видения).

Ну вот, и другие так же работали, и сколько этих аспирантов было, всего говорят, около 50. ...Так что авторы-составители красной книги все-таки немножко не выполнили свою задачу. Надо было дать хотя бы список тех, кто формально был аспирантом у ИСШ. И раз эта работа не сделана, то надо будет составить анкету, которая годится и для тех, кто формально был аспирантом, и для тех, кто формальным аспирантом не был. Разницы, между прочим, в общем большой не было. Ибо ИСШ говорил, что аспирант просто получает деньги в другой кассе и в рабочий день не должен отбиваться на вахте. ...Но анкету надо составить с умом, чтобы из нее было видно то, что происходило на самом деле. И в какой-то степени сохранить память об этом. Ну, и двигаться вперед. Я пока у нас здесь не вижу какой-либо деградации человеческого материала, который каждый год приходит в Московский университет для того, чтобы изучать астрономию, и мы должны всячески помочь этим людям.

Э.Н. Кауров (ЕААО)
И.С. Шкловский и пресса

Взаимоотношения ИСШ с прессой были весьма своеобразны. Они характеризуются известной сентенцией, сформулированной им в 1963 году в процессе подготовки первой Бюраканской конференции: “Никакой прессы, иначе вместо конференции будет балаган”.

Эта сентенция ИСШ, надо полагать, относится, в основном, к нашей прессе, она актуальна и сейчас. И если раньше, в силу существовавшей административной системы, науке и, в частности, астрономии, отводилось определенное, хотя и скромное, постоянное место на страницах прессы, то ныне ситуация заметно изменилась. В 1995 году в журнале “Огонек” на двух колонках появился материал, посвященный памяти ИСШ. По-видимому, этот материал об ученом, занимавшимся фундаментальной наукой, был уникальным явлением, редчайшим, и не только для журнала “Огонек”. Но в этом же номере журнала, несколькими страницами далее, публиковалась статья (по объему в три раза

превышавшая материал памяти ИСШ), основным лейтмотивом которой была дискредитация науки. Вот концентрат этой апологии антиинтеллектуализма: “Если считать научное понимание мира в том, как понимают физики и математики, то я всегда питал к нему отвращение.” Судя по комментарию, и редакция журнала усомнилась в истинности такой точки зрения. К сожалению, это не меняет общей картины: перекос в сторону иррациональности и антиинтеллектуализма в масс-медиа весьма заметен в последние годы, и это может иметь очень серьезные последствия для судеб науки и общества вообще.

Конечно, соседство этих материалов в журнале могло быть и случайностью. Но неслучайным было одно: материал, противостоящий этому потоку мути, оказался связан с именем ИСШ. Яркость личности и уникальность ИСШ являются весьма действенными для преодоления барьеров непонимания и неприятия, выраженных в вышеприведенной цитате апологии антинауки. Значительная часть материалов, связанных с именем ИСШ, прошла эти барьеры и стала тем ценным средством противостояния антинауке в прессе, которое организовывалось и оформлялось Астрономическим обществом почти с самого начала развала отечественной науки и просвещения в последние годы. Мне довелось участвовать в организации и проведении этой работы, и поэтому меня очень волновал практический вопрос — в чем же причина такой популярности ИСШ. Мне кажется, что вот в чем дело, и это могли почувствовать все, кто хотя бы немного (как я, например) имели возможность общения с этим незаурядным человеком и ученым. Даже моего небольшого опыта достаточно, чтобы понять, какова сила воздействия мощного интеллекта ИСШ, сплавленного с его образным глубоким мышлением, с его дарованиями в различных (в том числе и гуманитарных) областях творчества. Отсвет этого ощущается во всем, что касается ИСШ, и, естественно, и в материалах, связанных с его жизнью и деятельностью.

Мне кажется, что в этом плане, если делать какие-то обобщающие выводы, то можно говорить о том, что ИСШ продолжает и сейчас работать на благо астрономии, астрофизики, помогает в конструктивной и порой очень нелегкой работе — в том, чтобы вернуть науке, в частности астрономии, подобающее ей место.

Потому что в конечном итоге прогресс общества зависит от мировоззрения, а оно связано с просвещением, которое больше, чем что-либо, определяется той ситуацией, в которой общество формируется, то есть — в значительной степени средствами информации. И я думаю, что еще долго будет ИСШ помогать нам в важные моменты жизни нашей астрономии.

К.И. Никольская (ИЗМИРАН)

Идеи Шкловского в новейших исследованиях солнечной короны

Я хотела сказать несколько слов по поводу ИСШ, но сейчас мне пришло на память следующее. СБП мы все считали теоретиком — и это естественно: теоретическая электродинамика, магнитная гидродинамика. Мы все знаем его работы. Но сам СБП очень высоко ценил свою деятельность как экспериментатора. В Крыму, как вы знаете, был так называемый небулярный спектрограф, на котором получали спектры туманностей. И на этом спектрографе работал СБП. И он считал эти наблюдения большой и важной частью своей деятельности в Крымской обсерватории.

Теперь я хочу сказать несколько слов о том, что оставил нам ИСШ в области физики солнечной короны. Я боюсь, что его основные результаты в этой области пройдут незамеченными. Потому что, как кажется, люди просто, видимо, невнимательно читали его книги по солнечной короне, оба издания книги “Солнечная корона”.

Фундаментальный вклад ИСШ в науку о солнечной короне хорошо известен. Это теория ионизации корональной плазмы (докторская диссертация), заложившая основу современной физики короны, и две монографии — “Солнечная корона” (СК), вышедшая в 1951 г., и опубликованная в 1962 г. “Физика солнечной короны” (ФСК). Вторая книга, по существу, была прощанием ИСШ с физикой Солнца. После нее ИСШ уже не обращался к корональным исследованиям, о чем остается только пожалеть.

В монографиях ИСШ сконцентрированы все результаты исследований короны: до 1951 г. — в первой и до 1962 г. — во второй, в т.ч. полученные им лично. В обеих книгах рассеяны страницы, содержащие оригинальный авторский анализ различных проблем физики короны.

Приблизительно в середине 60-х годов началось бурное развитие техники солнечных наблюдений, наземных и заатмосферных. За четыре десятилетия спектральный диапазон регистрируемого излучения короны расширился от радио- до частот жесткого рентгена. Достигнуто субсекундное пространственное разрешение спектров и изображений короны. Сейчас телескопы на КА SOHO и YONKON ежедневно регистрируют изображения короны с высоким пространственным разрешением в белом свете на лимбе и монохроматические, в свете различных корональных XUV — линий — на диске и лимбе. За последние тридцать лет накоплен огромный наблюдательный материал высочайшего качества по

морфологии и феноменологии короны и связи корональных образований со структурой и эволюцией солнечных магнитных полей. Главный результат анализа этих наблюдений — создание физической концепции солнечной короны — может быть оценен как одно из важнейших достижений последних лет во всей физике Солнца:

Солнечная корона представляет собой совокупность горячих плазменных образований, сформированных и удерживаемых около Солнца закрытыми конфигурациями солнечных магнитных полей различных типов.

Эта концепция, однако, не является новой. К такому же пониманию природы солнечной короны сорок лет назад пришел ИСШ в результате изучения скудного наблюдательного материала тех далеких времен. Научные исследования ИСШ в любой области астрофизики всегда поражали глубоко физическим подходом, от выбора проблемы до интерпретации результатов, интуицией и мощным дедуктивным элементом. Заключительным этапом любой работы, как правило, была четкая физическая картина исследуемого процесса или объекта. Эти особенности научного подхода позволили ИСШ обогнать современных ему коллег по исследованиям короны лет на сорок. К сожалению, его в высшей степени прогрессивные представления, разбросанные в виде отдельных фрагментов по разным разделам обеих монографий, не были обобщены в виде физической концепции короны. Я решила собрать эти фрагменты в единое целое, чтобы обратить внимание исследователей на приоритетное значение давних корональных работ ИСШ для настоящего времени.

Следует остановиться особо на наблюдениях и данных обработки наблюдений, которые использовал ИСШ в своих работах по физике солнечной короны. Это были, главным образом, наземные затменные наблюдения белой короны и корональных спектров невысокого пространственного и спектрального разрешения, проведенные в экспедиционных условиях. Фильтровые изображения короны были большой редкостью. Радиоастрономические наблюдения короны только начали развиваться. Внезатменные корональные наблюдения были, главным образом, патрульными и потому мало пригодными для исследования физических процессов в короне. Наблюдения со спутников и ракет делали первые шаги. Исключение составляли высококачественные фотографические изображения белой короны, полученные со стандартными затменными коронографами. В отличие от настоящего времени наблюдения тех лет не были столь наглядными, они требовали серьезного анализа.

ИСШ первый среди исследователей короны ввел в рассмотрение солнечные магнитные поля применительно к объяснению физической природы различных корональных структур и изменчивости корональных форм (СК, гл.1), а также мультитемпературности корональной плазмы. В результате анализа опубликованных ван де Холстом данных фотометрии полярной короны ИСШ приходит к заключению о том, что корональные лучи не являются направленными потоками плазмы (СК, с.378), но имеют иную природу. Он пишет, что наблюдаемые образования белой короны — шлемовидные и другие корональные лучи — несомненно, связаны с общим магнитным полем Солнца или с магнитными полями активных областей (СК, гл.1; с.39). Сосуществование в короне “красных” и “зеленых” областей с разными температурными режимами, как и сами корональные структуры, ИСШ объясняет воздействием на движение корональной плазмы корональных магнитных полей, препятствующих процессам диффузии перпендикулярно магнитным силовым линиям: согласно расчетам ИСШ (СК, с.39), все неоднородности корональной плазмы, в том числе и сами корональные структуры, были бы замыты за время от нескольких часов до нескольких минут за счет быстрых тепловых движений корональных ионов. Тогда же впервые ИСШ выполнены оценки нижней границы напряженности магнитных полей в короне: $\sim 10^{-7} - 10^{-5}$ гаусс (СК, с.39).

Все перечисленные выводы были сделаны в эпоху, когда проблемы солнечного магнетизма в физике Солнца практически не ставились, оставаясь большим белым пятном.

Спустя одиннадцать лет в книге ФСК ИСШ вновь рассматривает вопрос о роли магнитных полей в короне. Он пишет (с. 451-452), что корональные магнитные поля, прикрепленные надежно к фотосфере, образуют “жесткий каркас”, обеспечивающий вращение короны с той же угловой скоростью, что и у нижележащих слоев Солнца. Позже твердость вращения нижней и средней короны была подтверждена наблюдениями. Новые оценки напряженности корональных магнитных полей, выполненные на основе твердотельного вращения короны, дали значения ~ 1 гаусс, что гораздо ближе к действительности (~ 10 гаусс).

В ФСК явления термоизоляции в короне рассмотрены достаточно подробно в связи с существованием среди горячей корональной плазмы холодных протуберанцев (ФСК, с.33). Там же, в разделе, посвященном корональным структурам, ИСШ определяет корональные образования как магнитные ловушки типа ТОКАМАКа, в которых горячая плазма изолируется от окружающей среды магнитными полями.

Итак, нельзя не согласиться с тем, что ИСШ принадлежит приоритет в решении вопроса о природе солнечной короны. Новейшие наблюдения только подтвердили с исключительной наглядностью развитые в работах ИСШ представления о короне. Эти представления настолько опередили свое время, что не были востребованы исследователями, отчего корональная физика часто оказывалась в тупиковых ситуациях.

Работы ИСШ по физике солнечной короны, являясь блестящими примерами астрофизической классики, остаются в высокой степени актуальными даже спустя почти полвека со времени их написания.

И.С. Веселовский (НИИЯФ МГУ)

“Физика солнечной короны” И.С. Шкловского: вчера и сегодня

Большой вклад ИСШ в становление концепции “горячей короны” широко известен. Он отражен в его научных статьях и подытожен во втором издании книги “Физика солнечной короны”, вышедшей на русском языке в 1962 г. и переведенной на английский язык в 1965 г. Книга эта была и по сей день остается одним из немногих испытанных временем руководств, к которым постоянно обращаются как новички, так и опытные специалисты-“солнечники” за необходимой информацией. Научный авторитет ее автора столь высок, что даже сама мысль о каких-либо неточностях в ней воспринимается читателями с трудом. Но почти в любой книге возможны опечатки, и это может привести к некоторым недоразумениям. Например, С.Кучми и Л.Новембер в одной из своих недавних статей, опубликованных в 1997 г. в *Astrophysical Journal*, довольно подробно рассказывают о затруднениях, которые они испытали, когда попытались воспользоваться аппроксимационными соотношениями для оценки плотности в солнечной короне, не зная об опечатке в английском издании книги. Дело просто в том, что в формуле Баумбаха на стр. 7 этого издания в одном из числовых коэффициентов содержится ошибка на порядок величины. К их рассказу можно добавить, что в русском оригинале этой ошибки нет.

Приходится лишь сожалеть, что увлечение новыми астрофизическими объектами оказалось для ИСШ таким сильным, что во второй половине своей научной карьеры он уже практически совсем не публикует работ, непосредственно относящихся к физике солнечной короны, и не возвращается к переработке своей книги. В те годы наступила череда волнующих открытий и острого интереса в радиоастрономии и рентге-

новской астрономии дальних объектов. Талант ИСШ устремился в эти области и проявился там особенно ярко и счастливо.

Теперь же можно уверенно говорить о новой волне более широкого внимания к физике Солнца, в особенности в связи с выполнением новых исследований наземными и космическими средствами. Ожидают своего решения важные проблемы нагрева короны и ускорения солнечного ветра, которые в настоящее время носят чисто структурный характер и рассматриваются взаимосвязанно. Вопросы динамического равновесия между хромосферой и короной, короной и межпланетным газом с наибольшей ясностью были поставлены ИСШ в последних двух главах его книги. Они сегодня звучат в особенности актуально. Поэтому взгляды ИСШ на эти вопросы представляют несомненный интерес, причем не только исторический. Внимательный анализ этих взглядов позволяет лучше понять современную ситуацию и правильно оценить наиболее перспективные направления и подходы в уже проводимых и планируемых экспериментальных и теоретических исследованиях.

ИСШ придерживался мнения, разделявшегося в то время и другими исследователями, о том, что корона греется за счет механической энергии волновых движений. Свой вывод из анализа ситуации он так и сформулировал: “Таким образом, основным механизмом диссипации энергии в короне должна быть обычная вязкость”. Сейчас, видя разнообразные локальные проявления джоулева нагрева в рентгеновских петлях и токовых слоях на Солнце, многие авторы склоняются к мысли не только о локальной важности, но возможно и о преобладающей роли именно этого механизма нагрева солнечной короны в целом. В чем тут дело, и какова причина расхождения во взглядах? Ответ достаточно прост. Вывод ИСШ основан на правильных оценках кинематической и магнитной вязкости. Действительно, кинематическая вязкость корональной плазмы на много порядков больше ее магнитной вязкости. Поэтому магнитогидродинамические структуры с одним и тем же пространственным масштабом для скорости и магнитного поля, например, линейные МГД-волны, действительно будут испытывать в основном вязкое затухание. Однако спектр неоднородностей в короне характеризуется существованием большого набора пространственно-временных масштабов. Крайне важно также и то обстоятельство, что наряду с волновыми типами возмущений, для которых выполняются дисперсионные соотношения и существует вполне определенная связь между относительными пространственно-временными изменениями скорости и магнитного поля, в короне присутствует огромное количество неволновых, конвективных возмущений. К последним следует отнести разнообраз-

ные магнитные структуры, слои, трубки и т.п. Масштаб изменения магнитного поля и электрических токов во многих из них никак не связан с масштабом изменения скорости. Короче говоря, предположение об одинаковости пространственных масштабов для изменения скорости и магнитного поля является слишком сильным и не отражает всего многообразия структур в короне. В том-то и видится сейчас нерешенная структурная проблема нагрева солнечной короны: каковы же основные пространственно-временные неоднородности, доминирующие в переносе и диссипации энергии?

ИСШ довелось в конце 50-х годов участвовать в интерпретации наблюдений, выполненных группой К.И. Грингауза с использованием ионных ловушек, установленных на трех космических ракетах, запускавшихся в сторону Луны. В настоящее время общепризнанно, что это были первые непосредственные измерения потоков солнечного ветра. Именно так оценивал эти наблюдения и сам ИСШ, считая их “серьезным аргументом в пользу представления, что стационарной плазмы в межпланетном пространстве вообще нет.” Любопытно, однако, при этом отметить, что он, по-видимому, не считал этот аргумент окончательным доказательством отсутствия покоящегося межпланетного газа, а теоретические выводы относительно сверхзвукового характера солнечного ветра вообще отвергал и критиковал вслед за Чемберленом, называя этот результат странным, вызывающим удивление и объясняющимся математической небрежностью при обращении с постоянными интегрирования в уравнении Бернулли. Сомнения в “перманентности” солнечного ветра отпали окончательно лишь после более длительных и полных наблюдений в 1962 г. на космическом аппарате “Маринер 2”. Что же касается самого термина “ветер” и сверхзвукового характера течений от Солнца, то об этом весьма обоснованно и уверенно писали другие авторы еще в начале 50-х годов. Подробнее об этом можно прочитать, например, в достаточно полной главе “Солнечная активность”, написанной К. Кипенхойером для книги “Солнце”, вышедшей под редакцией Дж. Койпера на английском языке в 1953 г. и в русском переводе в 1957 г. Там приведены правильные порядки величин для оценки плотности, скорости потока и тепловых скоростей для протонов “ветра”, рассматриваемого как перманентное явление. Оглядываясь назад, можно поэтому сказать, что сомнения ИСШ были в ту пору вполне понятными, но критика представлений о сверхзвуковом расширении короны не имела оснований ни в теории, ни в наблюдениях. Более того, удивителен тот факт, что семейство сверхзвуковых решений, полученное и исследованное Бонди в 1951 г. для случая аккреции политропного газа в центральном поле тя-

жести звезды, не было применено к случаю расширения газа от звезды наружу ни им самим, ни другими авторами после него. Замена знака скорости в уравнении Бернулли не меняет структуры его решений. Поэтому подробный анализ этой структуры, выполненный Паркером в 1958 г., повторяет результаты Бонди. Открытие и признание реальности “солнечного ветра” не было единовременным актом, а произошло постепенно, в конечном счете благодаря усилиям многих исследователей. Внес свой вклад в это дело и ИСШ. Можно напомнить, что в другом, поэтическом контексте “солнечный ветер” встречается в изумительных произведениях И.А.Бунина 30-х годов (“Лирика”).

Сейчас вся эта драматическая история преподносит нам ценный урок озарений и трудного преодоления отживших свой век представлений о статической межпланетной среде. Такие представления все больше входили в противоречие с фактами, но были окончательно оставлены далеко не всеми и не сразу. На примере этой истории может быть хорошо прослежена двоякая роль авторитетов в науке, которые порой ускоряют ее развитие, а порой тормозят. Но это другая тема, не имеющая отношения к данному рассказу.

В заключение стоит отметить еще один небольшой эпизод из книги “Физика солнечной короны”, свидетельствующий о том, что все мы дети своего времени и его заблуждений. Относится это в полной мере и к ИСШ, который писал такие строки: “В настоящее время уже ясно, что общего магнитного поля измеримой напряженности на Солнце нет”. Кто сейчас с этим согласится?

А.М. Микиша (ИНАСАН)
Мои учителя

Я учился на астрономическом отделении механико-математического факультета МГУ. Читатель может представить себе, какие люди учили меня в 1950-55 гг., а еще интереснее осознать, что из себя представлял мехмат МГУ в эти годы. Но такие мемуары увели бы нас в дебри социально-психологических и политических размышлений, а на это нет ни времени, ни места. Каждый из нас, людей, чей возраст потихоньку становится “мемуарным”, мог бы рассказать многое и о многом... Я же хочу поделиться кратко чисто человеческими воспоминаниями о трех астрономах, которые были моими преподавателями, т.е. старались научить меня чему-то, но, кроме этого, оставили глубокий след в моей памяти, как просто люди, общение с которыми было по-человечески приятным. Это — очень личные воспоминания, их не надо воспринимать никак иначе.

Иосиф Самойлович Шкловский

С удивлением, уже после его смерти, я узнал, что официально (по паспорту, а что же еще у нас официальнее!) его отчество звучит как “Самойлович”. Но никогда, никто иначе, чем Иосиф Самойлович, его не звал. Это мелочь, конечно, но какая-то она человеческая: его звали “не по паспорту”. А мы — его ближайшие ученики и я, примкнувший к ним, — вообще-то звали его “Док”, что не столько обозначало его ученую степень, сколько вселяло уверенность и гордость, что он не обидится на нас за то, что мы в глаза называем его так же, как и за глаза: Док.

Как я уже сказал, я был “примкнувший”. Поступил я в астрономическую группу что называется в хорошей компании — начнешь перечислять и нельзя остановиться, чтобы не обидеть того, кого не упомянул. А это ведь все люди — я назову только ближайшее окружение Дока: Кардашев Коля, Курт Дима, Гиндилис Лева, на год постарше нас Мороз Вася (с ним я учился когда-то в одной школе), Гальперин Юра... Мне кажется, что именно эти ребята и составили основу той группы, которую можно назвать “школой Шкловского”. Я же, поскольку не был астрофизиком, был только гостем, но никогда Док не выгонял меня со своих обсуждений. Особенно хорошо я запомнил самые первые его рассуждения о возможных научных истоках древних сказаний. Речь шла о библейской Книге Еноха, которой в те далекие годы не было в переводе на русский язык (она считалась апокрифом, т.е. тайным, сокровенным писанием, никогда не читавшимся в древних церквях); ее текст на древнееврейском языке принес Доку астроном Агрест, который — в отличие от Дока — знал этот язык и перевод дал Доку. Сейчас этот текст великолепно переведен С.Аверинцевым и любой может прочитать его. История действительно интересная: речь идет о путешествии Еноха на небо, причем поражает сходство некоторых деталей с реальными (оговорюсь, что это было до 1957 г., поэтому реально в космос еще не летали) деталями космического полета, скажем четче — с научно обоснованными. Отсюда было рукой подать до проблемы контакта с “иным” разумом, до понятий “пришелец” и т.д. Увлечение Дока этой тематикой было настолько серьезным, что он отдал ей огромную часть своего творческого спектра, а тот распространялся от астрофизики звезд до космологии.

Особо следует помнить потрясающую черту Дока, как ученого — он не боялся никогда “расширить проблему”. Оставляю это для более серьезного обсуждения его ученикам и соратникам, но его заслуги в создании “всеволновой астрофизики” не могут быть поставлены под сомнение. А меня всегда тянуло поговорить с ним на темы литературные и философские, и здесь я всегда поражался его отзывчивости на все новое (до-

статочно вспомнить, как он напевает "исправленную" им песню Окуджавы: "За что же Ваську вы Мороза, ведь он ни в чем не виноват...". А, с другой стороны — серьезнейшие философские размышления о возможностях человеческого разума.).

Мои отношения с Доком никогда не были формальными. Упомянутые мной его ученики — это его "дети", а я — их приятель, отсюда и соответствующее отношение. Когда-то, после того, как я совсем растерялся, "выпав из гнезда", он со вздохом сказал мне: "Жаль, Толя, ты не нашей епархии". В то время он, зная мою неподготовленность в астрофизике, не видел задач, которые мог бы предложить мне — небесному механику. Честно скажу — он был прав. Три раза я приходил к нему (еще в старом ГАИШ'е) и не мог пристойно сдать спецкурс по теоретической астрофизике. Кто-то из друзей уговорил его: "Док, поставьте ему 4 — стипендия у него повышенная, а что с него взять — небесный механик!". Как же он потом ругал себя за эту слабину, и мне говорил об этом — оказалось, что его спецкурс не входит в учет отметок для стипендии: хоть тройку ставь. Что он и хотел сделать, чтобы неповадно было так относиться к физике. И последнее об ИСШ. Какое счастье, что издана, хотя и кастрировано, его замечательная книга "Эшелон". Эти, как он их называл, "невыдуманные рассказы" просто потрясающе интересны. Сегодня у них нет читателя: кого сейчас могут заинтересовать мемуарные записки о людях науки (в основном) и о том времени, о котором половина наших соотечественников хочет забыть, а вторая половина — знать не хочет. Точно так же никому (точнее — широкой читательской массе) не нужны ни мемуары Ильи Эренбурга, ни записки Лидии Чуковской об Анне Ахматовой, ни многое, многое другое. Это все — естественно. Пройдут поколения... Интерес вернется, жаль только, что его ученики так "обкорнали" книгу. Может, еще успеют исправить эту оплошность?

Соломон Борисович Пикельнер

Я у него совсем ничему не учился — это по мехмату и по ГАИШу — он не читал нам, небесным механикам и гравиметристам, даже спецкурса. Но именно он стал тем человеком, едва ли не единственным, который вызвал у меня такие стойкие угрызения совести, что, даже выполнив (а это произошло через много лет после его смерти) то, о чем он меня просил, я — вспоминая о нем — глубоко раскаиваюсь. Но, расскажу по порядку.

Не совсем я понимаю, от кого мог узнать СБП, что темой моей курсовой работы на кафедре небесной механики было продолжение работы, начатой еще до Войны Натальей Федоровной Рейн и ее учеником Сашей

Пирогом. Его дипломная работа была посвящена исследованию галактического потенциала (Галактика представлялась эллипсоидом, плотность материи была описана системой софокусных эллипсоидов). В качестве числового примера Пирог взял орбиту, описывающую движение Солнца вокруг центра Галактики. В те годы наши знания о распределении масс в Галактике и ее динамических свойствах были далеко недостаточными, и у Пирого пример не получился — орбита Солнца попала в ту область орбит, которая характеризовалась неустойчивостью. Я заново перевычислил Сашины расчеты и обнаружил две интересные вещи: первая — тривиальная, это тот факт, что орбита Солнца устойчива, а второе — я нашел класс орбит неустойчивых, и находились они в кольце, расположенном под определенным углом к галактической плоскости. На моей защите был П.П.Паренаго, он внимательно записал формулу для вычисления наклона таких орбит и позже сказал, что именно под этим наклоном к галактической плоскости в галактоцентрических координатах расположены Магеллановы Облака. Может быть, этот маленький шумок и привлек внимание СБП. Вскоре после защиты диплома я перестал быть небесным механиком (так уж сложилось, я не совсем виноват), я стал гравиметристом и, лишившись “научной школы”, стал бродячим по всему миру морским гравиметристом.

Хорошая штука — наша наука: один и тот же закон Всемирного притяжения управляет и движением небесных тел, и колебаниями маятника, по которым определяют силу тяжести в данном месте Земли! И вот незадолго до моего отлета во Владивосток, откуда начинался рейс “Витязя”, на котором я “ушел” в плавание, ко мне подошел СБП и ласково так сказал: “Толя, а не могли бы вы продолжить ваши работы в историческом плане, написав о Саше Пирог, его жизни и работе подробнее, чем это сделано в ваших курсовой и дипломной работах?”. Дело было еще и в том, что на моей защите было принято решение: я должен был объединить и отредактировать обе свои работы и их рекомендовано было издать в так называемых “Сообщениях ГАИШ”. Это — великая честь для сопливого выпускника, но я ничего этого уже сделать не смог: “выпал из гнезда”... Поэтому я покивал головой, что-то промямлил о том, как бы это было здорово, и расстался — с ГАИШ’ем навсегда, а с СБП — на много лет. За прошедшие с того времени годы я много раз бывал в родной Alma Mater (ГАИШ), изредка встречал СБП и каждый раз он ласково напоминал мне о моем долге. Его деликатность меня поражала: я потом узнал разгадку, об этом — чуть позже. ИСШ, например, тот бы просто заставил бы меня сделать такую заметку и опубликовать ее. Вот как писал он о СБП в своей книге “Эшелон”: “Важным стабилизи-

рующим фактором было и то, что в ГАИШ'е в течение почти 20 лет работал незабвенный Соломон Борисович Пикельнер, являвший собой эталон порядочности, талантливости и самозабвенного служения науке”.

Я выполнил настойчивую просьбу СБП: на конференции в Пулкове, посвященной памяти астрономов, павших во время Великой отечественной войны и погибших в сталинских лагерях и застенках, которая состоялась в апреле 1995 года, я рассказал о Саше Пироге, о его жизни и гибели и о его так блестяще начавшейся научной деятельности. Но и сейчас меня не покидают угрызения совести: ведь я так и не узнал, что хотел мне рассказать СБП о своем приятеле...

А в заключение — маленькая сцена, о которой рассказывала много лет назад мама СБП одному человеку (а уж он — мне потом ее пересказал). Когда СБП был еще совсем ребенком, мама застала его дерущимся с каким-то мальчиком. Вдруг она увидела, что ее Моня перестал драться, заложил руки за спину, нагнул голову и стал молча принимать удары и пинки “противника”. Вскоре тот драчун что называется “иссяк” и дети разошлись. “Почему ты перестал отвечать на его удары?” — спросила мама сына. “Кто-то же должен был остановиться,” — ответил мальчик. — “А то этому не было бы конца. Вот я и решил, что могу это сделать”. Таким был и таким остался в моей памяти Соломон Борисович Пикельнер.

Павел Петрович Паренаго

Пользуясь удобным случаем, я хотел бы вспомнить еще об одном моем учителе, о котором я не успел рассказать в свое время. Речь идет о Павле Петровиче Паренаго.

Мои воспоминания о ППП носят хотя и очень личный характер, но все-таки и учебный, и научный — во-первых, как это ни странно для небесного механика, но именно с ним связано мое знакомство с ГАИШ'ем при поступлении в МГУ. Было это весной 1950 года. Я окончил школу с серебряной медалью, выдержал довольно серьезное собеседование по математике и общей культуре (да, мои “экзаменаторы” усердно спрашивали меня и о симфониях Бетховена, и о том, каким героем — положительным или отрицательным — является на мой взгляд граф Монте-Кристо, и еще о многом), и был принят на первый курс механико-математического факультета. А вот на их вопрос, чем конкретно я хотел бы заниматься, я ответил, что тянет меня прикладное занятие, ну, например, астрономия. Но, добавил я, не наблюдательная, а теоретическая. Причина такого ответа была простая: мой дедушка, который, собственно, и толкнул меня в объятия математики (это особая история, и не здесь о ней распространяться), был математиком-

прикладником, о существовании описательной астрономии я знал по книгам Фламариона и Мейера, а о том, что есть наука астрофизика узнал от знакомого моей семьи В.Г. Левича, который был неплохим физиком. Ребята, которые меня пытали, почесали затылки и сказали: а ты поезжай на Пресню, в ГАИШ, там тебе все и объяснят. И я поехал на Пресню. Не буду рассказывать о том, какие чувства возникли у мальчишки, вчерашнего школьника, в те далекие годы, когда он вошел на территорию “старого ГАИШ’а”.

Внушительное здание главного корпуса, жилой и аудиторный дома, вход в подвал гравиметристов — все это впечатляло. Какие-то бдительные пожилые женщины спросили у меня, что мне надо, и я сказал, что поступил в МГУ и хотел бы узнать подробнее, что такое “астрономическая группа механико-математического факультета”. Одна из них, не вынимая папиросы изо рта, сказала: “А вот Пал Петрич сейчас тебе все и объяснит.” И, уже вынув папиросу, обратилась к подошедшему элегантному красивому пожилому человеку: “Павел Петрович, вот поступил на астрономию, а ничего не знает!” И ко мне подошел ППП.

Было ему тогда 44 года, а мне — 17. Разговор наш был долгим и довольно сумбурным. Я здорово робел, заикался, а ППП почему-то увлекся рассказом о нашей Галактике, о работах Оорта, выходило так, что основной проблемой астрономии является учет поглощения света. Я всегда к физике относился настороженно, хотя школьную физику любил. Почему-то зашел разговор о кино, и я рассказал ППП о своем детском желании стать кинорежиссером. Он засмеялся и перевел разговор на астрономию. Незаметно прошло часа два, взглянув на часы, ППП внимательно посмотрел на меня и сказал: “Вы знаете, Толя (я просил его так меня называть), я очень был бы рад, если бы Вы стали “звездником”; но буду честен с Вами — надо Вам познакомиться с Николаем Дмитриевичем Моисеевым. У меня такое впечатление, что Ваша будущая специальность — небесная механика.” Нам было по пути и мы еще вместе прошли переулок. Проходя мимо церкви, ППП остановился и сказал: “Кстати, а знаете ли Вы, что знаменитая сцена венчания в протазановской “Бесприданнице”, та, где Кторов-Паратов бросает шубу в грязь к ее ногам, снималась здесь?” Я этого не знал. Мы распрощались до сентября...

Первые два курса я был настолько загружен математикой, небесной механикой и другими предметами (мехмат, все-таки!), что редко видел ППП. Но судьба определила, что не уйду я далеко от звездной астрономии. В конце второго курса Н.Д.Моисеев дал мне тему курсовой работы: обзор работ по потенциалу Галактики на внутреннюю точку. При этом

Н.Д. надеялся, что в дальнейшем я смогу изучить движение Солнца относительно центра Галактики — этой задачей перед Войной занималась замечательная женщина — небесный механик Наталья Федоровна Рейн (о ней будет отдельный очерк, потому что моя мама много лет проработала в Министерстве Электростанций вместе с ее братом Виктором Федоровичем Рейном, а оба они были детьми великого Федора Федоровича Рейна — врача, профессора Медицинского факультета МГУ) и ее дипломник Саша Пирог. Они сделали первые шаги в этом направлении, но Война вмешалась жестоко: Наталья Федоровна умерла в эвакуации от чахотки, а Саша погиб в 1944 году... Я честно начал собирать литературу и сразу выяснилось, как мало сделано в этой области. Очевидно, это понимал и ППП — он именно тогда начал обдумывать свой метод получения формулы потенциала Галактики вблизи галактической плоскости. Конечно, он “обогнал” меня и вывел необходимую формулу; как раз в 1952 году, когда я написал и защитил свою курсовую, формула Паренаго была опубликована в очередном издании его знаменитого “Курса звездной астрономии”. Занятия мои имели продолжение, тема моего диплома была сформулирована так: исследование орбит звезд, близких к галактической плоскости, и орбита Солнца. Н.Д. Моисеев был болен и готовился к сложнейшей операции, поэтому руководителем моей дипломной стал замечательный небесный механик Александр Александрович Орлов. Во всех вопросах, связанных со звездной астрономией, я свободно получал консультации у ППП. Защита прошла успешно, я получил диплом и был рекомендован в аспирантуру к Н.Д., но в декабре 1955 года он умер после операции, а я вместо аспирантуры должен был отныне самостоятельно искать свое место в науке. Задача оказалась мне не по силам, я осел на вычислительной станции ГАИШ, и только совместная работа с моим другом Феликсом Александровичем Цициным выручила меня. Мы с ним продолжили исследования проблемы галактического потенциала, ППП не только поощрял и поддерживал нас, но именно он рекомендовал наши работы к печати в Астрономическом Журнале, он же был инициатором нашего первого “побочного заработка”. Об этом случае обязательно следует рассказать. В те далекие годы тот раздел звездной астрономии, который сейчас называется звездной динамикой, только создавался. И, естественно, его создание связано с такими великими именами, как Чандрасекар, Карл Шварцшильд, Паренаго.

Серьезно занимался звездной динамикой и наш российский астроном Кирилл Федорович Огородников (1900-1985), который в 1923 году окончил МГУ, но с 30-х годов работал в Ленинградском универси-

тете. Самыми близкими его друзьями были москвичи, из которых я знал двоих: ППП и математика Дмитрия Юрьевича Панова — первого декана Физико-технического факультета, а затем создателя Физико-технического института. Так вот, основные научные интересы у Кирилла Федоровича лежали в звездной динамике, где он сделал много. Главные результаты своих исследований он изложил в своей монографии “Динамика звездных систем”, ее он писал много лет и подготовил к печати году в 1956-м. Естественно, он дал ее на прочтение ППП. И вот однажды ППП вызывает нас с Феликсом Цициным и предлагает внимательно просмотреть рукопись книги Огородникова, исправить все опечатки в тексте и, особенно, в формулах, проверить все литературные ссылки и — это особо было подчеркнуто — если мы обнаружим какие-нибудь недоработки (это мы-то, только что закончившие мехмат Университета!), то исправить их. Мы с энтузиазмом взялись за эту работу, нам был определен срок, мы уложились в него и сдали рукопись ППП, а он, снова ее просмотрев, отдал К.Ф. Эта деятельность привела к тому, что мы навсегда полюбили звездную динамику и занимались ею с Феликсом до тех пор, пока судьба не выбросила меня из ГАИШ’а и я на долгие годы стал путешествующим гравиметристом... А в монографии К.Ф. Огородникова в предисловии упомянуты наши имена...

В заключение — несколько слов о ППП как о человеке. За свою жизнь я встречал много людей из разных слоев общества. Но почему-то именно в детстве и юношестве, а точнее — учась в школе и университете — я встречал людей, о которых могу сказать, что они относились к окружающим, “как к родным”. Трудно сейчас собрать эти факты, эти проявления деликатности, заинтересованности в деятельности и жизни другого человека, трудно сравнить сам “дух” общения с тем, что происходит сейчас, хотя стремление к созданию особой атмосферы порой чувствуется и даже осуществляется. Но я могу сказать только одно: такие люди, как ППП, были не только учителями в нашей профессии, они формировали нашу нравственную сущность. Наверное, благодаря им среди нашего поколения встречаются люди, которых можно назвать по старинке “порядочными людьми”... Я не был на похоронах ППП — в это время я работал в Антарктической Морской экспедиции (1960 г.), измерял силу тяжести. Только через год мне рассказали, как тяжела была его болезнь и трагична смерть. Для меня уход ППП из жизни соединился с тем, что я перестал заниматься звездной динамикой. Уйти из астрономии я не смог — в этом большую роль сыграла память о моих учителях. И я уверен, что в душе любого из тех, кто знал ППП, сохранится память о нем, воспоминания об этом замечательном человеке не сотрутся.

В.М. Чепурова (ГАИШ МГУ)

Мои первые встречи с И.С. Шкловским

Мне уже доводилось рассказывать, как я попала в ГАИШ впервые, еще будучи подростком. Не буду больше на этом останавливаться.

Когда мы вошли в калитку Краснопресненской обсерватории, на крыльце главного здания стояла небольшая группа людей, смотревших на развороченный строительством двор и что-то горячо обсуждавших. Впечатлительной девчонке, увлекавшейся астрономией, какой я в ту пору была, все было интересно и ново. Люди, стоявшие на крыльце, несомненно, как я думала, ученые, казались необыкновенно умными и красивыми. Но даже среди них мой взгляд выделил одного, молодого, в очках, с черными слегка выющимися и растрепанными волосами. В нем чувствовался какой-то порыв, возвышенность. Он жестикулировал, горячо рассказывая что-то коллегам. Казалось, он сейчас взлетит на воздух. Мне, тогда только что прочитавшей знаменитый роман Войнич, он показался похожим на Овода.

Разговаривать нам не пришлось, но я все запомнила и, когда лет через пять поступила на астрономическое отделение мехмата и появилась в ГАИШ, я его сразу узнала, увидев в коридоре института уже на Ленинских горах. Это был ИСШ, в просторечье — Доктор.

Потом, уже в 60-е годы, начав работать в ГАИШе, я как-то естественно вошла в команду молодежи, вокруг ИСШ группировавшуюся, хотя астрофизиком не была. Я не помню, как я туда попала, наверное, в связи с организацией конференции молодых астрономов, в которой я принимала активное участие, меня привел к радиоастрономам мой друг Гарик Хромов, но я осталась в этой группе, и до сих пор меня связывают с ней дружеские узы. Конечно, Овода ИСШ мне уже не напоминал, но прежнее впечатление порыва, сочетания ума и повышенной эмоциональности осталось.

Он был центром и главой всей компании. Было необыкновенно интересно слушать его рассказы, из которых впоследствии выросли его новеллы. Мы готовы были слушать его часами. А какие песни пелись в 61-ой комнате! И как их было много! В те времена мало кто знал Н.Гумилева, Огнивцева, Мандельштама, Ахматову, Цветаеву и др. А Доктор знал неплохо. С его подачи я познакомилась и со стихами Н. Коржавина. Мы все увлекались тогда поэзией. Старались достать все, что было можно. Один из моих старых друзей Игорь Колесник принес мне сборнички Н.Гумилева в бархатных переплетах из библиотеки своего научного руководителя Д.А. Франк-Каменецкого. Вечерами я их

перепечатывала на кафедральной пишущей машинке. Один раз сижу в своей 75-ой, печатаю. Вдруг дверь открывается, заходит Доктор. “Что это вы делаете, Валя? Батюшки! Гумилев! Да это же форменный самиздат! Не боитесь? А вот этого сборника у меня нет. Может быть, сделаете еще одну закладку для меня”. Я, конечно же, не могла отказать.

У ИСШ была одна черта: прежде, чем написать что-либо, он должен был обговорить, “обкатать” свою идею в устных рассказах. Так, свои новеллы он сначала, как я уже говорила, много раз рассказывал нам. Научные идеи он тоже сначала должен был кому-то рассказать. Очень часто этим “кем-то” был Александр Иванович Рыбаков, которого ИСШ глубоко уважал. В те времена, когда они были соседями: радиоастрономы сидели в “баранке”, как ее называл ИСШ, 80-ой, а мы, как и сейчас, в 75-77 комнатах — ИСШ в свободную минуту заходил к Александру Ивановичу в 77-ую и, расхаживая по комнате, развивал какую-нибудь свою идею, которых у него всегда было много. Так, впервые в 77-ой прозвучала гипотеза об искусственном происхождении спутников Марса. Я была невольной свидетельницей этого разговора и, конечно, он произвел на меня глубокое впечатление. И великие люди могут ошибаться, но как же красиво они признают свои ошибки!

Л.В. Ксанфомалити (ИКИ РАН)

И.С. Шкловский: штрихи к портрету

“Время проходит быстро и мы стареем с каждым шагом”. Эта фраза из учебника французского языка вспоминается мне, когда я думаю, как трудно передать читателям новых поколений тот background, на фоне которого происходили жизненные коллизии наших отцов, учителей и старших коллег. Да впрочем, и людей моего поколения...

В декабре 1981 г. в Таллинне проходил симпозиум “Поиск разумной жизни во Вселенной”. Это был разгар “холодной войны”, и ученым из США и Европы пришлось прибегнуть к известной изобретательности, чтобы принять участие в симпозиуме. В числе участников был и Ф. Дрейк, на которого, по-видимому, холод и короткие зимние дни произвели такое гнетущее впечатление, что в статье “Встреча с ЗЕМНОЙ цивилизацией”, навеянной растущей изолированностью СССР и опубликованной им вскоре после возвращения домой, он написал, в частности, что Таллинн — это, видимо, самое северное место, где еще живут люди... Ф. Дрейк председательствовал на первом заседании. Слева от меня сидел ИСШ, справа — М.В. Волькенштейн. Когда Дрейк предоставил

слово для доклада ИСШ, мой сосед справа забеспокоился. Доклад назывался “Человечество — тупиковая ветвь эволюции”. По мере того, как ИСШ развивал перспективы грядущего катарсиса, беспокойство Волькенштейна все возрастало. И как только прозвучало “Questions, please”, Волькенштейн вскочил и возмущенно закричал: “Иосиф Виссарионович!..”.

О научной карьере и жизни ИСШ пишут люди, которые знали его гораздо лучше меня. Поэтому мой рассказ о нем — это отдельные запомнившиеся необычные коллизии, в которых раскрывался характер этого человека, внушавшего мне глубокое уважение. (Читатель заметил, что я употребляю “ИСШ” вместо фирменного “Доктора”. Это потому, что я не был рукоположен в приближенные “Доктора”, и никнейм “Доктор” звучал бы у меня непозволительной фамильярностью).

Впервые имя ИСШ я не услышал, а увидел в 1954 г. В соответствии с веяниями времени, на IV курсе Ленинградского Политехнического ввели на целый семестр курс Истории техники, потому что Питер (виноват, — Ленинград) был впереди планеты всей по части “Россия — родина слонов”, а бесстрашная борьба с космополитизмом еще только шла на убыль. Впрочем, курс местами был интересный. Для зачета нужно было сдать реферат на свободно-связанную тему. Правда, мои интересы — астрономия и радиотехника — лежали несколько в стороне от курса. Но голубенькую книжку ИСШ в мягком переплете с репарационным немецким радиотелескопом на обложке и непривычным сочетанием в названии “Радиоастрономия”, купленную в институтском книжном магазине, я уже прочел, и тему долго искать не пришлось. На кафедре о радиоастрономии еще не слышали и зачет поставили сразу. Но самого автора я увидел только лет через восемь, когда начал часто приезжать в Москву в командировки и иногда заглядывал в ГАИШ на семинары. Там я и услышал, что ИСШ требует от своих учеников не узкой специализации, а универсальных астрофизических знаний. Я так и не узнал, ведали ли, находясь на противоположных меридианах, ИСШ и Г. Койпер о сходстве своих систем педагогики...

Наверное, незачем писать, что обсуждавшиеся на семинарах ИСШ темы, вроде физики СТА-102, производили на слушателей сильное впечатление. В середине 60-х главными на сцене там были ИСШ и Я.Б. Зельдович, а в первых рядах можно было увидеть А.Д. Сахарова, который сдержано и в своей слегка заикающейся манере иногда протестовал, если выступающие не слишком аккуратно обращались с началами классической физики. В воздухе бродил захватывающий дух нарождающейся космической науки, который я впервые ощутил еще в Питере, в толпе

на Дворцовой. Толпа собиралась вечерами и глазела на яркие звездочки первых спутников, быстро пересекавших небосвод. Теперь, покинув питерский завод, из-за кавказского хребта я внимательно ловил доносившиеся слухи о скором появлении Института космических исследований, в создании которого ИСШ принимал деятельное участие. Уже состоялась его искусственная комета, когда он в 1967 г. появился таким усталым от всех этих забот мэтром и лауреатом у меня дома в обсерватории. Перед этим он не очень внимательно знакомился с работами обсерватории, сказал, что я слишком редко посещаю семинары в ГАИШе и, увидев у меня первое издание “Вселенной...”, отставил бокал “Киндзмараули” и охотно вывел свое неизменное “На добрую память...” с датой: 28 апреля 1967.

Моей “доброй феей” был академик Ю.Б. Харитон, который за год до этого как-то нагрязнул в мою лабораторию и пробыл там два дня, с перерывом на поход в горы. Я тогда не знал, кто он, и все удивлялся молчаливости двух неотступных амбалов в черных костюмах, которых наивно принял за научных сотрудников, потому что они важно кивали головами, когда я что-то там такое рассказывал. Амбалы следовали за ним все время, но когда мы отправились в горы, один из них сдался и остался в гостинице. В 1967 г. Харитон пообещал мне протекцию в только что созданный ИКИ. А в 1969 г. в ИКИ появился отдел астрофизики, с ИСШ во главе. Вскоре Ю.Б. Харитон сообщил, что заботу обо мне взял на себя... ИСШ. До сих пор не знаю, почему я не обратился к ИСШ сразу.

В отделе ИСШ в ИКИ уже в первые пять лет возникла проблема, приведшая впоследствии к выделению нашего коллектива в самостоятельный планетный отдел. На мой взгляд, ИСШ для своего уровня иногда был наивен, что было следствием его глубокой порядочности и непосредственности и что в дальнейшем, когда маккиавелизм стал нормой отношений в ИКИ, сделало его слабо защищенным. Но сначала бойцовский задор ИСШ сконцентрировался на человеке, который этого вовсе не заслуживал и порядочность которого также стояла очень высоко. Дело в том, что первые успехи (и неудачи) наших планетных миссий показали, что дело, в общем, идет и что перспективы довольно радужные. Теперь можно было надеяться на скорый черед астрофизических миссий. Но время шло, появлялись новые “Венеры” и “Марсы”, а астрофизика все ждала. ИСШ довольно прямолинейно считал, что виноват в этом директор ИКИ, покойный академик Г.И. Петров, и не стеснялся в выборе метафор, иногда называя институт “гвоздильной фабрикой”, а иногда, и в рифму, еще похуже, демонстрируя виртуозное

владение тонкостями русского фольклора. ИСШ обращался к президенту Академии и энергично пытался его убедить в необходимости перейти к астрофизике, хотя не мог не знать, что выбор задач миссий определяли фирма С.П. Королева, НПО им. Лавочкина и ВПК Совмина, исходя из разработанности проекта, политической рекламы, имевшихся уже успехов и черт знает из каких еще чиновничьих соображений. Роль Академии сводилась к заполнению научными экспериментами уже определенных в “верхах” рамок миссии. В конце концов какие-то астрофизические “объекты” появились, но это случилось значительно позже, уже после прихода новой администрации в ИКИ.

В отделе ИСШ считал себя, и, по-видимому, вполне искренне, защитником угнетенных. “За своих подчиненных я с начальством — как лев”, — говорил он мне, слегка, как мне казалось, рисуясь. Возможно, до перехода основной части его отдела из ГАИШа в ИКИ так оно и было, я этого не застал. Но ИКИ слишком велик, чтобы забота начальства простиралась вплоть до отдельных индивидуумов. Своим заместителем ИСШ тогда назначил В.Г. Курта, которого знал много лет. Было забавно наблюдать на ученых советах отдела, как ИСШ гневался и, раздувая ноздри, кричал: “Дима, мы с вами не сработаемся!”. Впрочем, его раздражение улетучивалось достаточно быстро. Но когда с приходом новой администрации вместо “гуманных” методов руководства стали использовать другие приемы, ему при выдвижении в академики пришлось на своей шкуре почувствовать справедливость пушкинской строфы — “минуй нас пуще всех печалей и барский гнев, и барская любовь”. Кроме соответствующей “установки сверху”, несомненной была ревность окружающих и их зависть, что ли, к ИСШ. Во всяком случае, когда после выдвижения ИСШ в действительные члены Академии, на ученом совете ИКИ состоялось голосование, все шары оказались черными. Р.З. Сагдеев, который тогда был директором ИКИ (и, конечно, тоже голосовал), обнимая ИСШ за плечи, повел его в свой кабинет: мол, пойдем, поговорим. “Из песни слово выбросишь, так песня вся нарушится”. Зачем же ИСШ согласился и пошел? В сборнике “И. Шкловский: разум, жизнь, вселенная” можно найти воспоминания и о других случаях вероломства, перед которыми ИСШ часто оказывался бессильным.

В период 1970-80 гг. ИСШ интересовался разворачивающейся реальной физикой тел Солнечной системы и, зная мое любопытство к этой теме, нередко расспрашивал меня о неожиданных явлениях в мире планет, которые обнаруживались в каждой новой планетной миссии. Чаще всего для этого он использовал наше долгое стояние в очереди в институтской столовой, а наше время ходить обедать почему-то совпадало.

Очередь эта имела свойство расти из середины и шла поэтому очень неторопливо. Кстати, было совершенно невозможно уговорить ИСШ воспользоваться ранее занятой очередью, — видимо, он про себя возмущался бесцеремонностью других и сам становился только в конец очереди. Времени на новости хватало. Когда вышла моя первая книжка о планетах, полная изумления перед изобретательностью природы, ИСШ неожиданно для меня прочел ее, сделал замечания и даже опубликовал рецензию в “Природе”, где советовал превратить ее в “подарочное издание”. Много лет спустя, уже для другой книги, такое издание все же удалось сделать, но ИСШ до этого времени не дожил.

Мне запомнилась наша лекционная поездка в Самарканд, в 1979, кажется, году. “Знание” порой посылало меня с лекциями по городам и весям, но с ИСШ это сделать им удавалось нечасто. А тут собрали сильный коллектив с парой членов-корреспондентов, парой космонавтов (чтобы не обижать, назову их “А” и “Б”) и с несколькими лекторами попроще. Дело было в июне, в самаркандском университете шли экзамены, но предполагалось, что студенты все бросят и пойдут нас слушать. Впрочем, лекции были не только в университете. Надо напомнить, что космическая тема шла тогда под барабанный бой и ритуальные завывания прессы. Еще когда рейсовый самолет заходил на посадку, мы увидели большую толпу с длинными металлическими предметами. После приземления выяснилось, что это народные массы встречающих дудят в длиннейшие, по несколько метров, национальные дудки. Вероятно, охват трудящихся намного превысил численность музыкально одаренного контингента, потому что звуки получались, скажем так, несколько двусмысленными. Нас энергично приветствовали, причем я впервые узнал, что именно чувствует мужчина, когда красивая незнакомая женщина целует ему руки. Интересное ощущение, знаете ли. Затем всех нас посадили в машины и помчали по самаркандским улицам со скоростью, явно несоразмерной их узости. Впереди, главным образом по левой стороне, неслась машина ГАИ, распугивая встречных водителей и бродивших по дороге свиней. Вскоре мы оказались на загородной “госдаче” горкома (или обкома?). Дача была окружена, как положено, арыками и тополями и представляла собой большое, но достаточно скромное деревянное здание с односкатной крышей. Здесь же находился большой опрятный зал с длинными столом и скамейками, где мы рассаживались на трапезу. Начальство изо всех сил старалось, чтобы выездная сессия “Знания” прошла “на уровне”. Днем мы разъезжались по разным предприятиям для выступлений, чаще по двое. Мне достался космонавт “Б” (или я достался ему). Впрочем, вначале были пленарные заседания и

посещение легендарного Афросиаба, города мавзолеев с гробницей Тамерлана. Наш гид, молодая местная работница культпросвета, никак не могла совладать с упрямо расстегивавшейся пуговицей кофточки, когда она обращалась к космонавтам.

Лекции ИСШ публика действительно слушала, раскрыв рот. Он умел чувствовать уровень аудитории, сохраняя при этом научную строгость изложения. ИСШ, несомненно, любил эту работу и получал удовлетворение от искреннего внимания аудитории, причем был ему присущ определенный артистизм. Именно тогда, в Самарканде, я впервые заметил у него какую-то ревность по отношению к другим популяризаторам науки. В группе были московские телевизионщики, которые волшебными южными вечерами снимали свои интервью. Но они предпочитали вертеться возле космонавтов. По-видимому, в ответ ИСШ призывал меня и по памяти громко читал модную тогда повесть “Сандро из Чегема” Ф. Искандера и другие публикации запрещенного “Метрополитена”. Я ни разу не слышал, чтобы ИСШ как-то комментировал те благоглупости, которые обильно снимались в этих программах. Зато однажды мы услышали от него комментарий другого рода.

Наши с космонавтами выступления имели большой успех. Им дарили сервизы, халаты, тюбетейки, естественно, не вспоминая о нас. В один из последних дней мы пришли все на ужин, расселись вдоль стола, но ужина все не было. “Космонавты задерживаются”, объяснил, наконец, директор госдачи. Соседи по столу негромко беседовали. Так прошло с полчаса. Внезапно от удара ногой дверь зала распахнулась и, достаточно твердо ступая по одной половице, в зал очень энергично вошел космонавт “А”, сопровождаемый космонавтом “Б”. Как только они сели, на столе у всех мгновенно появился ужин. И тут же раздался голос “А”: “Как вы смеете меня макаронами кормить!”. Подбежал побледневший директор госдачи, который не придумал ничего лучше, как пробормотать: “Так это же, э-э,... бесплатно!”. “Меня Родина всю жизнь бесплатно кормит!”, — был эмоциональный ответ. “За мной, звонить в Москву!”, — скомандовал “А” коллеге. Космонавты удалились, а руководители республиканского уровня собрались в уголке и оперативно решили: “Значит, так: директора завтра уволить, шеф-повара уволить...” Внезапно в наступившей тишине раздался голос ИСШ: “В 1947 году отправились мы в Бразилию на затмение. Приплыли, и наш теплоход отшвартовался у причала. Для встречи с бразильцами нам всем выдали белые штаны. Бразильцы с оркестром стояли на причале, а мы выстроились на противоположной его стороне, вдоль борта нашего теплохода. И вот, когда произносились главные приветствия, на теплоходе кто-то открыл люк

галлона, и все хлынуло нам на белые брюки. Так вот, ЭТО мне очень напоминает!”.

ИСШ явно был равнодушен к красотам природы, что я заметил еще в Крыму. В 1969 г., после сердечного приступа, он отдыхал в санатории в Мисхоре. Мы с женой были в Понизовке, вблизи Симеиза, и случайно встретили его, если не ошибаюсь, в Симеизской обсерватории у Э.С. Бродской. (Было ему всего 53, но он казался мне таким солидным). Далее он принимал участие в нашем автомобильном бродяжничестве по Крыму (фото: ИСШ с нами у водопада Учан-Су), который он знал великолепно.

По его словам, он пешком обошел Крым девятнадцать раз. Вспоминая свои неосуществленные мечты, он со смехом рассказывал, что в послевоенные годы, будучи в Крыму, он присмотрел домик в Ялте, который стоил три тысячи послевоенных рублей, но для его лаборантской зарплаты это оказалось слишком дорого. ИСШ, видимо, очень любил окрестности Симеизской обсерватории,



Рис. 1. У водопада Учан-Су

гору Кошка, Голубой залив и нависающие над ними отроги Ай-Петринской яйлы. Тогда широко обсуждалось будущее обсерватории, так как основной ее коллектив перешел в Научный, в только что созданную А.Б. Северным Крымскую обсерваторию. Но и Симеизская обсерватория продолжала существовать. На мои расспросы — как и почему это произошло, — ИСШ отвечал очень дипломатично и уклончиво и лишь однажды, когда я предложил заехать в КраО, он довольно сильно высказался в том смысле, что тамошнее начальство видеть не желает. Позднее я понял, что он часто избегал встреч с начальством вообще. В 1975 г. в Зеленчуке, на площадке САО, состоялась школа-семинар по проблеме СЕТИ. Как-то в перерыве между заседаниями недалеко от нас с шумом и треском опустился вертолет, который доставил на площадку 6-метрового телескопа комиссию во главе с академиком А.М. Про-

хоровым. (Тогда обнаружились дефекты 6-метрового зеркала, зеркало пришлось заменять, и по этому поводу возник небольшой скандал). Мы решили, что ИСШ отправится к начальству, но он хмыкнул, “чего ради”, и предпочел продолжить нашу прогулку.



Рис. 2. ИСШ с участниками семинара в САО

Иногда в дискуссиях ИСШ бывал очень резок. На уже упоминавшемся самаркандском семинаре он решительно оборвал представителя космической медицины, пытавшегося поучаствовать в обсуждении проблем астрофизики: “Занимайтесь своей прямой кишкой!”. Вместе с тем, в частных разговорах ИСШ обычно избегал резкой критики в адрес кого-либо из ближних или дальних коллег. Возможно, он как-то высказывался о них в беседах с более близкими людьми. Несомненно только, что надлежащую оценку коллег он имел и корректировал ее по ходу событий, о чем говорит такой случай. Если не ошибаюсь, в 1982 г., в один из своих приездов К. Саган выступил на Ученом совете ИКИ, как он делал это и

раньше. Перед этим по телевизионным экранам мира (кроме СССР, конечно) прошел его на шумевший и прекрасно сделанный сериал “Космос”. Научная братия стала поговаривать, что вместо серьезной науки К. Саган занялся другими делами. Видимо, такие разговоры до него дошли, потому что его доклад в ИКИ был нарочито сухим, длинным и занудным, хотя лектором Саган всегда был блестящим. ИСШ наклонился ко мне: “Саган цементирует свое научное реноме”.

Чаще всего ИСШ посвящал свои выступления (как публичные, так и на ученых советах) новым наблюдательным фактам и их интерпретации, новым идеям и гипотезам. Он остро ощущал неадекватность существующих теорий новым фактам. Помню, как на вопрос о подробностях происхождения джетов у квазаров он как-то ответил: “Об этом пока думать не надо, рано”. Идея эволюционности была одним из главных его коньков. Как-то я рассказал ему, что когда Кирхгофу на старости

лет сообщили о новом открытии, тот лишь саркастически хмыкнул — разве еще осталось, что открывать? ИСШ усмехнулся и заметил, что к старости многие ученые теряют научную зоркость. И вдруг... Это было в последние годы его жизни, когда на общеинститутском научном семинаре он выступил со странным докладом. Точного названия доклада я не помню, но смысл сводился к тому, что в физике практически все открыто; остаются лишь незначительные второстепенные проблемы... Как, протестовало все во мне, ведь те же формулировки ("несколько незначительных облачков") были в ходу и в конце XIX века! А еще 2000 лет назад Сенека писал, что "природа не раскрывает свои тайны раз и навсегда"! Я не выдержал и, не дожидаясь конца доклада, спросил жалобно и глупо: "Иосиф Самуилович, а что такое время?". ИСШ не замедлил с ответом: "Вы, Леня, никогда ничего не понимали, и понимать не будете!".

Ф.А. Цицин (ГАИШ МГУ)

И.С. Шкловский и научная фантастика

Революция в астрономии?.. Я хочу сказать несколько слов на тему неожиданную: ИСШ и революция в советской научной фантастике...

Такое дело было где-то в конце 50-х, от "ребят" ИСШ — это были тогда и Лева Гиндилис, и Вася Мороз, и Коля Кардашев, — в общем из той части ГАИШ, где был их Отдел, я прослышал, что ИСШ сам Иван Антонович Ефремов прислал (или даже привез), с просьбой "астрономически" отрецензировать, рукопись своей "Туманности Андромеды"!.. Мы знаем, что с "Туманности Андромеды", по существу, и пошла в нашей литературе новая, совершенно нового, принципиально нового уровня научная фантастика.

На меня Ефремов, на тогдашнем фоне советской (новой западной у нас практически не было) научной фантастики произвел совершенно оглушающее впечатление еще в конце 40-х гг., своими первыми рассказами и "Звездными кораблями". И я даже писал гневную отповедь — кажется, в "Комсомольскую правду" — в защиту Ефремова от злобной, глупой, демагогической (в духе времени!) рецензии на "Звездные корабли" (неких Ершова и Тельпугова — запомнились же, литературные Геростраты!.. Не к ночи будь помянуты эти времена и тогдашние "литературные" нравы...) И вот, лет через десять узнаю, что Иван Антонович то ли заканчивает, то ли уже написал новую большую вещь, да еще на астрокосмическую тему! — "Туманность Андромеды"... Как, наверное, многие — с жгучим нетерпением ждал выхода книги. ... А печаталась

“Туманность...” сначала в ... “Пионерской правде”!.. Понятно, в каком урезанном виде... Я вырезал из “Пионерки” “Андромеду” и склеивал в рулончик вроде древнеегипетского папируса... И вдруг — живая рукопись у нас в ГАИШ’е!..

Прослышав о том, что она у ИСШ, я, конечно, побежал к нему, и почти бросился на колени: “Иосиф Самойлович! Дайте хотя бы на одну ночь!” Он говорит: “Феликс, дам вам на два (или, не помню, на три) дня, с условием, что вы тоже напишете свои замечания”. Наверное, он и других своих ребят так использовал... Не сомневаюсь, что он написал свои замечания, и они не могли не повлиять на И.А. Ефремова и его рукопись. По крайней мере, можно сказать, что в этом смысле ИСШ стоял у истоков новой советской фантастики, — фантастики нового, высшего мирового уровня. (Что касается меня, то рукопись я жадно, залпом прочитал и замечания, естественно, написал. По выходе книги оказалось, что некоторые из них — кстати, и не очень-то астрономические! — Иван Антонович принял во внимание. Возможно, конечно, не только с моей подачи.)

Я уж не буду в этой литературной связи подробно напоминать здесь то, что и братья Стругацкие одним из, — ну, не лейтмотивов постоянных, но, так сказать, одним из элементов “своей Вселенной” сделали искусственные спутники Марса, “сделанные” ИСШ.

И еще один момент, связанный с литературой, но это уже связано с книгой самого ИСШ “Вселенная. Жизнь. Разум.” Тут тоже ИСШ на меня навели его ребята. Он собирался писать эту книгу, а они ему сказали, что вот у Цицина есть много старой литературы по этой проблематике. Наверное, они меня привели к нему; он сказал, что нужно. Я отобрал стопку (сантиметров в 30, наверное) нетривиальных старых книжек по проблеме жизни во Вселенной, приволок к нему. Он, судя по содержанию книги, — первой части книги “Вселенная. Жизнь. Разум”, активно воспользовался этим. Когда в конце 1962 года книга вышла, я его встретил где-то здесь в ГАИШе, чуть ли не на лестнице к конференц-залу — он нес несколько этих книг. Он остановил меня и сказал: “Феликс! Минуточку!” И надписал мне книгу: “Феликсу, с благодарностью. И.С.” И этот экземпляр первого издания “Вселенной. Жизни. Разума” у меня сохраняется сейчас как одна из ценнейших, так сказать, “реликвий” в память об ИСШ.

Т.К. Бреус (ИКИ РАН)

К проблеме приоритета синхротронной концепции в астрономии

*“Priority questions are a dirty business. Priority mania of supersensitivity is a disease” V.L.Ginzburg
(Ann.Rew.of Astr.and Astroph., v.28, p.1, 1990)*

Мне хотелось бы посвятить памяти ИСШ и СБП короткий рассказ из истории приоритетов в области синхротронной концепции источников галактического радиоизлучения. В печати, еще начиная с 1984 г., не раз появлялись статьи В.Л.Гинзбурга (В.Л.Г.) на тему о приоритетах в астрофизике и, в том числе, о приоритете синхротронной концепции, опубликованные в различных западных изданиях [1-3]. В этих статьях В.Л.Г. сетует на пренебрежительное отношение к истории науки астрофизиков, ссылающихся на статьи Шкловского 1953 г. [4,5], как на приоритетные по проблеме синхротронного излучения, и занимается восстановлением исторической справедливости.

Я заинтересовалась описываемой В.Л.Г. ситуацией и попыталась проинформировать, в свою очередь, некоторые исторические раскопки. Дело в том, что во времена “железного занавеса” из-за ограниченности общения с иностранными коллегами и языкового барьера многие нюансы приоритетного характера, возникавшие как у нас, так и на Западе, могли выпасть из поля зрения не только всей научной общественности, но даже и тех ее представителей, которые в силу непосредственного интереса к проблеме и участия в ее разработке, были особенно чувствительны к приоритетным проблемам и, как отмечает В.Л.Г. в отношении себя, соблюдали объективность, испытывая искреннее и глубокое возмущение искажениями исторической истины. Любопытно, что когда “железный занавес” пал и общение наших западных коллег с нами стало вполне обыденным делом, приоритетные вопросы не прояснились, как будет видно из моего рассказа, хотя возможностей для этого было предостаточно. В чем же дело? Не в том ли, что с приоритетами дело обстоит не совсем так просто в ряде случаев, как это представляется В.Л.Г., ибо приоритет четко принадлежит тому, кто первым опубликовал работу. Этого же приоритетного критерия придерживаются многие, в том числе и Фред Хойл, один из участников приоритетной дискуссии по синхротронной концепции на Западе, совершенно, кстати, проигнорированной во всех публикациях и письмах В.Л.Г.

Я бы не решилась публиковать результаты своих исторических раскопок, если бы приоритетная ситуация с синхротронной концепцией не

представлялась мне соответствующей тем достаточно типичным случаям, когда проблема приоритета оказывается сложнее, чем обычно, и, по-видимому, не поддается простому восстановлению исторической справедливости. В данном конкретном случае она к тому же еще оказалась несколько драматичной на Западе, по крайней мере, для одного из претендентов.

Прежде чем перейти к сути проблемы, мне бы хотелось высказать несколько общих соображений, которые, как мне кажется, достаточно похоже характеризуют обсуждаемую ситуацию. Как известно, начальные моменты рождения научной идеи очень часто не фиксируются теми, кто участвует в ее формировании персонально. Иногда свежая идея не бывает сразу замечена и в публикациях, в особенности теми, кто впоследствии применит ее в смежных или иных областях науки. Важный момент наступает тогда, когда кто-то из причастных начинает, как правило, интуитивно ощущать перспективность этой идеи и первым догадывается, как найти доказательства, сделать теоретические оценки и экспериментальные проверки. Красивые идеи быстро развиваются, как снежная лавина, катящаяся по склону. Кто же спустил лавину? Тот ли, кто высказал голую идею, не осознавая еще ее перспектив, т.е. увидел камень, лежащий у обрыва, или тот, кто почувствовал, что получится, если камень подтолкнуть, догадался куда, в каком направлении лучше всего спустить лавину и сделал это! Если учесть эти довольно характерные для научных исследований ситуации, то о приоритете одной личности становится говорить трудно в современной науке. Увлечение идеями и напряженные споры в процессе ее становления, в особенности, когда ситуация с успехом далеко уже ушла от старта, зачастую не удерживает в памяти участников исходные моменты. Отсюда — частые обиды основоположников, на которых забывают ссылаться последователи, порой во все непреднамеренно. Обычно исходные идеи бывают сформулированы вначале в самом общем виде, в то время как развитие их и применение в конкретных областях науки другими авторами оказывается настолько эффективным, что новизна результатов совершает переворот в соответствующей области. Последующий за этим поток публикаций часто не содержит ссылок на авторов исходной идеи. Разумеется, я исключаю случаи намеренного замалчивания чужих работ. Однако, посмотрим, как развивалась приоритетная ситуация с синхротронной концепцией на Западе.

В главе 19 своих мемуаров “Home is where the Wind Blows, Chapters from a cosmologist’s life”, изданных в 1994 г. [6], Фред Хойл дает свою версию того, как обстояло дело с приоритетными вопросами синхро-

тронной концепции на Западе. Где-то в 1950 г. Джон Болтон получил широкую известность, отождествив два источника радиоизлучения — Крабовидную туманность и Галактику NGC 1528. К этому моменту было известно достаточное количество радиоисточников, и, вследствие изотропности их распределения, фактически имели право на существование две альтернативные гипотезы о том, что они собой представляют: это могли быть локальные источники в нашей Галактике — радиозвезды или это могли быть источники, находящиеся далеко за пределами нашей Галактики. Большинство астрофизиков придерживалось гипотезы радиозвезд, ибо, как замечает Хойл, сообщество всегда выбирает более тривиальное из возможного. Именно тогда, в 1950 г., появилась известная работа Альфвена и Герлофсона [7] с синхротронной концепцией излучения радиозвезд, которая воспринята была многими как первое предложение применить синхротронную концепцию в астрофизике. В том же году появилась работа Киппенхойера [8], в которой были сделаны оценки синхротронного излучения электронов в галактических магнитных полях большой напряженности, на порядок превышающей общепринятую.

В 1951 г., однако, половина наблюдавшихся радиоисточников, в том числе и открытых Болтоном, была уже соотнесена с астрономическими объектами, ни один из которых не мог считаться звездой. Именно в это время Томас Голд на конференции, посвященной памяти Г. Мессии в Лондоне, высказал и аргументировал идею о том, что радиоизлучение имеет галактическое происхождение и что его источники излучения должны обладать сильными магнитными полями [9]. Голд также отметил, что поскольку подобное излучение может возникнуть только с участием очень энергичных частиц, то космические лучи должны принимать участие в процессе его рождения в источнике. Голда активно поддержал Фред Хойл во время дискуссии, отнеся концепцию радиозвезд, пропагандируемую Мартином Райлом и его последователями, к категории астрономической мистики. Однако Райл придерживался того мнения, что “теоретики просто не способны были понять ...” адекватность концепции радиозвезд. В результате не только в период описываемой конференции, но и на протяжении целого ряда последующих лет на Западе концепция радиозвезд оставалась доминирующей, а Райл разработал и осуществлял программу поиска радиозвезд — т.е. “непонятного подсчета неизвестно чего”, как ядовито комментировал Хойл позднее [10].

Возникает вопрос, был ли Томас Голд оригинален в своих высказываниях в 1951 г. на конференции памяти Г. Мессии? Он написал мне следующее, в ответ на мою просьбу прокомментировать приоритетную ситуа-

цию с синхротроном: “Я фактически объяснил Райлу то, что Герлофсон объяснил мне еще до того, как была опубликована его статья...([7]). Я, разумеется, считал Герлофсона основоположником всей серии последующих представлений и ничего существенно важного после 1951 г. не представлялось мне достойным приоритетных дискуссий”.

Мне кажется интересным тот факт, что Голд даже в этом своем позднем письме от 9 января 1997 г. не упоминает Альфвена в связи с синхротронной концепцией. Более того, прислав мне копию публикации той дискуссии с Райлом, МакВитте и Хойлом на лондонской конференции, во время которой он и Хойл отвергали концепцию радиозвезд, Голд тем не менее считает приоритетной работу Герлофсона (с Альфвеном же, конечно), не обращая внимания на то, что в ней ошибочно источниками синхротронного излучения считались именно радиозвезды. В действительности, по-видимому именно Голд и практически одновременно с ним Киппенхойер сформулировали правильно, хотя и в достаточно общем виде, синхротронную концепцию радиоизлучения Галактик.

Однако, давайте снова вернемся к описанию той же ситуации Фредом Хойлом в его автобиографической книге. На странице 269 Хойл сообщает, что, возвращаясь с известной конференции, посвященной памяти Г. Месси, из Лондона в Эдинбург вместе с Томасом Голдом и перекусывая чипсами и чем-то еще в придорожном кафе, они одновременно обсуждали и текущие научные проблемы. Во время этой беседы Хойл и услышал от Голда, что гипотеза о происхождении радиоизлучения из дальних галактик должна быть рассмотрена со всей серьезностью. Вероятно, все-таки следует отнести к превратностям памяти то обстоятельство, что Хойл совершенно не помнит длительной и в сущности неприятной дискуссии с Райлом и МакВитте на конференции, происшедшей с его и Голда непосредственным участием, но отлично помнит приятную беседу в кафе, которую, кстати, Голд считает чистейшим вымыслом Хойла (в письме от 9.01.97). Голд, как замечает Хойл, во время этой беседы не сказал ничего более приведенной выше фразы. Однако, неважно, произошла ли эта знаменательная для Хойла беседа в кафе, ибо, как выяснилось, Томас Голд высказывал свои идеи, возможно и в более обстоятельном виде, не в первый раз, хотя и не припоминает их в полученном мною письме. Во время бесед с радиоастрономами из Кавэндишской Лаборатории в Кембридже, в которых принимал участие и Шиама, его идеи зажгли воображение молодого Джорджа Хатчинсона, бывшего тогда в этой лаборатории, как это называется на Западе, “graduate student” и занимавшегося под руководством Роберта Фриша ядерной физикой. Томас Голд не запомнил молодого человека и не знал

до последнего времени, что тот участвовал в разработке синхротронной концепции. Хатчинсон, однако, провел исследование этой проблемы и пришел к выводу, что источником космического радиоизлучения могут быть оболочки Сверхновых и, в частности, Крабовидная туманность. Он также доказывал, что весь галактический поток космических лучей может рождаться в Сверхновых. Хатчинсон не только обсуждал свои результаты с Хойлом во время одного из ланчей, но и подготовил, как это и мы теперь делаем, “proposal”, чтобы получить исследовательский грант (fellowship) в Сант-Джон колледже в Кембридже в том же 1950 г. Хойл не был рецензентом этого “proposal”’а, но присутствовал при его обсуждении и поддерживал предложение Хатчинсона, отметив перспективность разрабатываемой им идеи. Однако, сама идея, как я уже отмечала, была в те времена абсолютно непопулярна, к тому же Хойл отстаивал Хатчинсона не очень энергично, в чем сам признается в книге “Galaxies, Nuclei and Quasars” в 1965 г.[11]. Остальные рецензенты, известные астрофизики (возможно, и Мартин Райл), раскритиковали “proposal”, и Хатчинсон не получил искомого гранта. Его шеф, будучи редактором журнала “Philosophical Magazine”, неудачно посоветовал Хатчинсону опубликовать статью с результатами в этом журнале, в основном не находящемся в поле зрения астрономов. Статья появилась в “Philosophical Magazine” в 1952 г. [12], но, к сожалению, не была замечена научной общественностью. В письме, которое мне прислал Джордж Хатчинсон, он отмечает, что в начале своей карьеры он, разумеется, не понимал, какой эта карьера могла оказаться, если бы приоритетная ситуация сложилась иначе. Он был настолько огорчен критикой авторитетных астрофизиков, что только впоследствии понял, что она была неверной. Ему пришлось оставить свои занятия астрофизикой. От огорчения, по-видимому, он не очень внимательно просмотрел гранки статьи, и в публикацию вкралась описка в показателе степени в уравнении, связывающем спектр гамма-излучения и спектр электронов, порождающих это излучение. По существу, даже Хойл, к огорчению Хатчинсона, впоследствии проигнорировал его приоритетную публикацию в “Philosophical Magazine”! В книге “Galaxies, Nuclei and Quasars” Хойл, обсуждая приоритет Шкловского и Гинзбурга в синхротронной концепции и вклад Хатчинсона, сожалеет, что последний не опубликовал результаты своих исследований. Прочитав книгу, Хатчинсон предпринял попытку восстановить историческую справедливость и написал в редакцию, чтобы эта неточность Хойла была исправлена. Однако, его обращение было проигнорировано, и Хатчинсон не стал сопротивляться судьбе, тем более, что считал себя молодым и непрофессиональным

специалистом в астрофизике по сравнению с остальными участниками истории.

Тем не менее, в своих мемуарах 1994 г. сэр Фред Хойл снова возвращается к приоритету Хатчинсона, однако, он уже не может припомнить гораздо более важные в приоритетном отношении детали: “Первым, от кого я слышал синхротронное объяснение излучения радиоисточников, был Джордж Хатчинсон..., который впоследствии стал профессором Саутгемптонского Университета. Насколько я знаю, Хатчинсон ничего не публиковал (хотя, возможно, существует какое-либо обсуждение в его Ph.D. диссертации), я не могу припомнить также, применял ли он синхротронную концепцию к галактикам или ограничился звездами, как Альфвен и Герлофсон. Если он применил ее к галактикам, то Хатчинсон был близок к приоритету, устному приоритету, во всяком случае...” ([6], стр. 273, 1994). Чем объяснить подобную забывчивость Хойла? Случайна ли она? Напомним, что Джордж Хатчинсон был все время рядом, и Хойл знал, где его можно найти. Для того, чтобы разыскать Хатчинсона по телефону, который мне сообщили в университете Саутгемптона, понадобилось всего 10 минут! Это все вопросы, ответы на которые могут быть и неоднозначными. По всей очевидности, если судить без пристрастия и излишней подозрительности, Хойл действительно забыл детали этого дела. Это иногда случается с памятью тех, у кого она переполнена на данный момент более интересующей и волнующей их информацией, тем более, что Хатчинсон, будучи рядом с Хойлом, ничем не напоминал о себе.

Давайте посмотрим, однако, как развивалось отношение самого Хойла к синхротронной концепции после лондонской конференции памяти Г. Мессии или, в его версии, — после случайного разговора с Томасом Голдом в кафе по дороге из Лондона в Эдинбург. В 1952 г. после отождествления Бааде галактики Лебедь А Хойл, как он вспоминает в 1994 г. в своей автобиографии, стал подозревать, что синхротронный механизм следует применить для объяснения радиоизлучения галактик. Однако, ему не удалось сразу же опубликовать плоды своих размышлений, т.к. он был занят другими делами и преподаванием вплоть до осени 1953 г. Только в декабре 1953 г. на конференции в Вашингтоне Хойл изложил свою синхротронную концепцию радиоизлучения галактик, приводя оценки для конкретных галактик Лебедь А и Кассиопея А.

Как видите, известные астрофизики Запада и России сошлись во мнениях в 1953 г.: именно тогда ИСШ опубликовал свою знаменитую работу, объясняющую синхротронным механизмом как радио, так и оптическое излучение Крабовидной туманности [5]. Статья Хойла была

опубликована в Nature [13], годом позднее, в 1954 г. Если все описанные выше обстоятельства совместить с приоритетными критериями, которых придерживается Хойл, то до некоторой степени можно понять, почему в 1965 г. он пишет на стр. 38 уже упоминавшейся книги “Galaxies, Nuclei and Quasars”: “Именно русские, Шкловский и Гинзбург, впервые предложили применить синхротронный механизм к Галактикам”. А как же Хойл обходится с приоритетом Альфвена и Герлофсона, применивших синхротронную концепцию еще в 1950 г.? На конференции в Вашингтоне в 1953 г. после выступления Хойла Альфвен публично высказал свое недовольство тем, что Хойл не сослался на его работу с Герлофсоном, как приоритетную в этой проблеме. “Сорок лет прошло с тех пор, а я все еще в этом сомневаюсь,” — пишет Хойл в своей книге и объясняет: “Приоритет в разработке самой синхротронной концепции с очевидностью принадлежит Швингеру [15] (*и, конечно, забывает при этом, что его соотечественник Шотт [16] опубликовал с помощью издательства его родного Кембриджского университета исследование на ту же тему еще в 1912 г. — прим. автора*). Все, что осталось сделать после Швингера, это соответствующим образом применить известный механизм в астрономии, чего Альфвен и Герлофсон не сделали, к сожалению”, ибо применили его к иллюзорным, несуществующим объектам — радиозвездам. По-видимому, это отчасти может служить объяснением, почему работы Альфвена-Герлофсона и Киппенхойера не имели поначалу успеха у астрономов и только работа В.Л.Г., опубликованная в ДАН СССР в 1951 г. [17], оставалась в России до 1953 г. единственной, развивающей их идеи. То обстоятельство, что она также опиралась на концепцию радиозвезд как источников синхротронной эмиссии, легко понять, ибо, как признается В.Л.Г. позднее [2] “...отсутствие успеха в этом отношении (в демонстрации недостатков гипотезы радиозвезд) с моей стороны было связано не столько с отсутствием воображения, сколько с почти полным отсутствием знания астрономии”. Для физика В.Л.Г. сам синхротронный механизм, по-видимому, был более понятен, чем объекты классической астрономии. Для астрономов слишком большие значения магнитных полей, которые фигурировали у Киппенхойера и Голда, не представлялись реальными и они, в том числе и ИСШ, дружно отвергали синхротронную концепцию радиоизлучения до тех пор, пока в 1953 г. СБП сумел убедительно доказать возможность существования таких полей в галактиках. В результате этого ИСШ немедленно выступил с синхротронной концепцией радио и оптического излучения Краба. Хойл в своей автобиографической книге признается, что хотя в России в то время были публикации на тему о

синхротроне, он не мог их оценить за незнанием русского языка. Томас Голд также отмечает в своем письме, что в своих поздних беседах с ИСШ он узнал о том, что тот в пятидесятые годы публиковал работы по синхротронной концепции радиоизлучения, но Голд так и не понял из их бесед, признавал ли ИСШ приоритет Герлофсона или считал, что приоритет принадлежит ему самому. ИСШ, как известно, высоко ценил работы Альфвена с Герлофсоном и Киппенхойера, поскольку “они сыграли решающую роль для всего дальнейшего развития радиоастрономии...”. Он также отдавал дань и работам В.Л.Г., в результате которых “идеи Киппенхойера и Альфвена-Герлофсона превратились в количественную теорию” [14]. Смелая концепция ИСШ о том, что синхротронный механизм позволяет объяснить природу как радио, так и оптического излучения остатков сверхновых [5], однако, произвела столь сильное впечатление на астрономов, что принесла ему всеобщее признание, тем более, что за ней последовали не менее впечатляющие исследования, а именно, предсказание об уменьшении потока радиоизлучения Кассиопеи А на 1,9 % в год, получившее эффектное экспериментальное подтверждение в скором времени. “Это была, конечно, редкая удача — забить такой “гол” в ворота неведомого...”, — вспоминал он в книге “История радиоастрономии в СССР”, в 1982 г. [14].

Мне хотелось здесь вновь напомнить общие соображения, которые я высказала в самом начале, и отметить, что путь формирования синхротронной концепции в астрономии был совсем непрост, в особенности если учесть, что помимо всех упомянутых выше участников проблемы, необходимость рассмотрения галактической концепции происхождения радиоизлучения высказывалась еще в ряде статей до 1950 г., а также и в очень ранней работе Хойла [19] 1949 г., где обсуждалось, что понимание космического происхождения радиоизлучения могут дать исследования синхротронного механизма генерации этого излучения релятивистскими электронами, и отмечалось, что вспышки сверхновых с образованием нейтронных звезд должны быть генераторами космических лучей [20, 21].

Как мне представляется, в приоритете синхротронной концепции галактического радиоизлучения принимали участие практически все участники моего рассказа: Альфвен и Герлофсон впервые предложили применить синхротронную концепцию в астрономии, однако, ошибочно использовали общепринятую тогда, но неверную идею несуществующих радиозвезд в качестве источников этого излучения; Голд и Киппенхойер впервые сформулировали правильно физические условия в источниках излучения и их предположительное расположение; Хатчинсон применил

синхротронную концепцию уже для описания радиоизлучения реального астрономического объекта и объяснения происхождения космических лучей; и, наконец, ИСШ применил синхротронную концепцию для объяснения как радио, так и оптического излучения реальных астрономических источников — остатков сверхновых.

Что говорить! Проблема приоритета выглядит довольно-таки запутанной. Хойл в отличие от Гинзбурга, проигнорировавшего в своих усилиях восстановить историческую справедливость на Западе, по-видимому, хотел бы понять, что же произошло с синхротронной концепцией у русских. Он признается в 1994 г. в своей автобиографической книге [6] на стр. 273, что только однажды был довольно близок к тому, чтобы разобраться с этим (заметим, что по каким-то причинам Хойл, в свою очередь, проигнорировал все публикации В.Л.Г. на приоритетные темы [1-3], “специально изданные на английском языке” в период 1984-1990 гг., т.е. для западных коллег): “В 1960 г. русский физик Виталий Гинзбург прочитал три лекции в Кембридже о космических лучах. В одной из них он подошел к этому вопросу (*приоритетам — прим. автора*). Едва начав говорить, однако, он замолчал, опустил голову и сказал, что не станет продолжать, поскольку, как он правильно заметил, выяснять приоритеты — дело недостойное”. А жаль, что Хойл и В.Л.Г. не поговорили тогда в Кембридже, равно как жаль, что Хатчинсон не попытался связаться с Хойлом или с кем-либо в России во время своих, как оказалось, неоднократных приездов в нашу страну. Будучи человеком скромным и щепетильным, Хатчинсон не стал отстаивать свой приоритет, по-видимому, не только из-за ошибки, закравшейся без его ведома в публикацию. Он пишет в своем письме: “Я не могу комментировать стороны этого вопроса, относящиеся к более важным участникам приоритетной драмы. Я считаю, что последние на голову превосходят меня, ибо они профессионалы, в то время, как я был любителем”.

На этом я думаю закончить свою новеллу о приоритетах. Далее читатели могут сами сделать выводы в соответствии со своими представлениями об этом простом вопросе. В заключение я бы хотела выразить благодарность профессору Джиму МакКензи из института астрономии им. Макса Планка, стимулировавшему мои исторические раскопки и обсуждавшему со мной их результаты.

Литература

1. Ginzburg, V.L., The Early Years of Radio Astronomy, ed. W. Sullivan, Cambridge: Univ. Press, 1984, pp. 289-302.

2. Ginzburg, V.L., The Early History of Cosmic Ray Studies, ed. Y.Sekido, H.Eliot, Dortrecht: Reidel, 1985, pp. 411-426.
3. Ginzburg, V.L. //Ann.Rew.Astron. and Astroph., 1990, **28**, pp. 1-36.
4. Шкловский И.С. //Астрон.Журн., 1953, **30**, с. 15.
5. Шкловский И.С. //ДАН СССР, 1953, **90**, с. 983.
6. Hoyle, F., Home where the Wind Blows, Chapters from a cosmologist's Life, Univ. Sci. Books, Mill Valley, California, 1994, pp. 272-273.
7. Alfven, H., and Herlofson, N. //Phys.Rew., 1950, **78**, p. 616.
8. Kieppenheuer, K.O. //Phys.Rew., 1950, **79**, p. 738.
9. Thomas Gold, in "A Source Book in Astronomy and Astroph. 1900-1975", ed. Kenneth R. Land and Owen Gingerich, Harvard Univ. Press, Cambridge, Massachusetts and London, 1979, pp. 782-785.
10. Hoyle, F. //Astroph. and Space Sci., 1992, v. **198**, pp. 195-230.
11. Hoyle, F. //Galaxies, Nuclei, and Quasars, ed. Harper and Row, New York, 1965, p.38.
12. Hutchinson, G. //Philosoph. Magazin, 1952, **XLIII**, p. 847.
13. Hoyle, F. //Nature, 1954, **173**, p. 484.
14. Шкловский И.С., История Радиоастрономии в СССР, Знание, 1982, с. 11.
15. Schwinger, J. //Phys.Rew., 1949, **76**, p. 1912.
16. Shott, G.A., Electromagnetic Radiation, Cambridge, Univ.Press, 1912.
17. Гинзбург В.Л. //ДАН СССР, 1951, **76**, с. 377.
18. Пикельнер С.Б. //ДАН СССР, 1953, **88**, с. 229.
19. Hoyle, F., Some Recent Research in Solar Physics, Cambridge, 1949, 117 p.
20. Baade, W. //Phys.Rew., 1934, **46**, p. 76.
21. Zwicky, F. //Nat.Acad.Sci. USA, 1934, **20**, p. 259.

В.В. Казютинский (ИФРАН)

Мировоззренческие аспекты SETI в работах И.С. Шкловского

ИСШ был не только выдающимся астрофизиком, он был замечательным методологом науки. С его взглядами в этой области мне пришлось познакомиться не только из публикаций. Мне часто приходилось бывать и в 61-й комнате, и на наших конференциях, которые проводил Институт философии и в которых ИСШ очень охотно принимал участие. Но наиболее важным для меня источником сведений о мировоззренческих взглядах ИСШ стали беседы с ним в довольно неформальном месте наших встреч. По долгу службы ему как члену-корреспонденту Академии наук и мне как ученому секретарю Совета по философии естествознания при Президиуме Академии наук приходилось принимать участие в скучнейших сессиях Академии, которые происходили время от времени. ИСШ безумно скучал на этих сессиях. Обычно некоторое время спустя после начала заседания он выискивал взглядом кого-либо из знакомых и приглашал его выйти в кулуары, чтобы там о чем угодно поговорить. Однажды повезло и мне: он попросил выйти меня, и мы с ним неформально беседовали. И так было не раз.

Обычно он начинал с того, что, вот, он не понимает, как это можно быть сторонником Бюраканской концепции. “Вы же умный человек — как Вы можете верить в такую глупость, в эту лысенковщину”. Ну, с “лысенковщиной” я не соглашался. Потом мы переходили на философские вопросы SETI. Я насчитал у него около десятка интересных философских проблем, которые стоит обсуждать и которые обсуждаются на самом деле. Я очень кратко упомяну и попытаюсь изложить эти проблемы.

Это был эпистемологический, научный статус проблемы поиска внеземных цивилизаций. ИСШ четко отличал научный подход к ним, который стал возможен после появления радиоастрономии и который был связан с поиском сигналов искусственного происхождения. Но он выделял еще и “логико-философский подход”, как он называет его в своих работах, которого придерживался он сам. Это — обсуждение формулы Дрейка, — анализ того, сколько есть планет, на которых возможна жизнь, сколько планет, на которых она возникла и т.д. (что отражено в известных сомножителях формулы Дрейка). Сейчас мы лучше представляем себе характер проблемы SETI — как ее можно было бы определить. Когда мы говорили о научности проблемы SETI, возникал вопрос — а какая, собственно, наука этим занимается. В этой проблеме

сталкивалось очень много разных наук. Сейчас мы видим, как в самых разных областях современной структуры науки возникли комплексные проблемы, которые исследуют объекты особого типа: это сложноорганизованные, самоорганизующиеся системы, в которые встроен человек. Это, например, биосфера. Это человеко-машинные системы разного типа. И мы приходим к выводу, что проблема SETI является как раз одной из проблем, исследующих такого рода необычный объект — новый для науки и для научного познания — человеко-мерную систему. Это действительно новая научная проблема. И поэтому мне понятен пафос ИСШ, когда он не понимал тех, кто не хочет считать эту проблему научной, относит ее к философии, к научной фантастике или к чему-либо другому.

Очень существенным моментом в размышлениях ИСШ по этим вопросам (и тоже не чисто научным) был вопрос об оценке числа цивилизаций, способных вступить с нами в контакт. Об этом уже говорилось в предыдущих докладах, и мне бы хотелось остановиться только на одном — методологическом и одновременно философском моменте. ИСШ пришел к выводу, что идея о нашей уникальности, о нашем практическом одиночестве во Вселенной доказывается сейчас лучше, чем противоположная точка зрения о множественности космических цивилизаций.

Я спорил с ним по этому поводу, выдвигая точку зрения (с которой он как бы нехотя соглашался), что речь здесь не может идти ни о каких доказательствах, нет никакой теории, из которой бы следовали на этот счет выводы, которые можно было бы подтвердить. Речь может идти лишь об экспертных оценках. Одни исследователи дают экспертные оценки множества обитаемых миров, на которых жизнь могла достигнуть технологической стадии, другие дают менее уверенные оценки. Какое может быть доказательство?!

ИСШ ссылался на то, что жизнь является феноменом, который возник в результате стечения огромного количества чрезвычайно маловероятных обстоятельств. И поэтому он говорил, что такое могло случиться только раз во Вселенной. Но и это тоже не очевидно. Теория самоорганизации сейчас приводит нас к выводу, что возможны такие процессы, которые из бесчисленного множества, из 10 в 80-й степени возможностей выбирают некоторые, ведущие как раз к образованию жизни.

Этот вопрос — о числе цивилизаций и доказательствах в этой области, мне кажется, — был очень существенным методологическим вопросом. ИСШ часто к нему обращался.

Я обратил его внимание также на то, что его взгляды на антропный

принцип — а он в последние годы очень часто обращался и к нему — очень напоминают взгляды великого английского естествоиспытателя Альфреда Уоллеса, который еще в 1897 г. выпустил в Лондоне книгу “Место человека во Вселенной”. В этой книге есть ряд фраз, которые — длительное время спустя и не зная о них — буквально повторил ИСШ — о нашем практическом одиночестве и о том, что вся эта громадная Вселенная должна была явиться для того, чтобы стало возможным появление на Земле человека. Интересно, что в фундаментальной монографии Дж.Барроу и Ф.Типлера “Антропный космологический принцип” об Уоллесе не упоминается вовсе. Самое интересное, что эти авторы, которые занимались антропным принципом и составили подробнейший хронологический обзор исследований в этой области, видимо, об этой книге не знали, и она как-то осталось совершенно за кадром истории.

Следующим мировоззренческим моментом, который очень интересовал ИСШ, был вопрос об этических аспектах поиска цивилизаций и контакта с ними. Придя к выводу, что наша цивилизация практически уникальна и что никто не будет давать нам указания, как нам жить, — он заключил из этого, что наше человечество может рассматриваться как авангард развития материи во Вселенной и что это накладывает на нас особую этическую ответственность за все, что мы делаем на Земле.

Как раз в то время, когда он это писал, в 70-е гг., жизнь на Земле поворачивалась своими теневыми сторонами: научно-технический прогресс приводил к крайне негативным последствиям, чрезвычайно обострялись экологические проблемы. ИСШ воспринимал это с тяжелым сердцем. И поэтому его взгляды на этические стороны SETI также представляют большой интерес. Следует заметить, что в литературе встречается амбивалентное отношение к этому вопросу. Одни авторы считают, что огромное этическое значение имело бы обнаружение внеземного разума, наших братьев во Вселенной и контакт с ними. Тогда должна была бы измениться и наша земная этика. Но существует и противоположная точка зрения на этические последствия таких контактов. Я думаю, что в любом случае, кто бы не оказался прав, этические аспекты этих проблем весьма важны. ИСШ высказывал свои взгляды и по этим вопросам.

Предыдущие докладчики много касались его знаменитого “тупика”, которым, как он допускал, является человеческий разум — вывод, к которому ИСШ пришел после интерпретации разных вариантов астро-социологического парадокса. Я бы хотел сказать, что идея о том, что разум ведет к тупиковой ветви развития, что разум есть нечто подобное каким-то органам животных, которые ведут их к деградации и вы-

миранию, эта идея, конечно, не астрономическая, не астрофизическая, не биологическая и вообще не эволюционная. Это идея в общем философская. Она была навеяна ИСШ извне, и я помню, как он мучился с публикацией этих своих взглядов.

Очень жалко, что на этой конференции мы не всегда вспоминаем те трудности, с которыми встречается замечательный исследователь, когда он хочет опубликовать какую-то нетрадиционную точку зрения. Хорошо известно, как не печатали соответствующие взгляды ИСШ, как отказывали ему, как задерживали сборники, в частности, сборник Таллинского симпозиума по этим вопросам, в котором эта нетрадиционная точка зрения должна была быть опубликована, и как в конце концов только после вмешательства вице-президента Академии наук по общественным наукам удалось пробить его публикацию, но в урезанном виде.

Я не думаю, что эта идея эволюционного тупика сколько-нибудь обоснованна. Это одна из интересных идей, некоторая, так сказать, экспертная оценка, намечающая возможный путь решения проблемы. Но, пожалуй, не более того. Я уже сказал, поскольку один из предыдущих докладчиков говорил о некоем Сверхразуме во Вселенной, — может быть, в некотором трансцендентном смысле, а не только о чисто эволюционном Сверхразуме, о чем-то более значительном, выходящем за пределы естествознания, — что как раз ИСШ очень возражал против этого и во всех своих публикациях четко отсекал любые трансцендентные возможности, настаивая только на тех знаниях, которые вытекают из научной картины мира.

Очень существенный вклад внес ИСШ в дискуссию по проблеме взаимного понимания в случае контакта с другими цивилизациями. В самом деле, если мы вступим в контакт, пойдем ли мы друг друга? Это ведь очень важный вопрос. ИСШ высказал точку зрения, что поскольку Вселенная одна, все наблюдают одну и ту же Вселенную, законы для всех едины, никаких проблем с контактом и с обменом информацией не будет. И в этом зале, и на конференциях в Зеленчуке, и в других местах ему возражал Борис Николаевич Пановкин. Эта дискуссия была и в Таллинне. Возражали ему и другие авторы.

Идея о том, что все так просто, сейчас уже многими, по моему, оставлена. Мы понимаем, насколько все сложнее. Мы смотрим на мир сквозь целую систему, так сказать, фильтров. Назову только некоторые из них. Фильтр нашей галактической организации. Мы — органическая часть мира, в силу антропного принципа, неотъемлемая часть Вселенной, и поэтому мы можем ее познавать. Но наша галактическая организация выделяет определенные стороны мира, и неизвестно, какие бы стороны

мира выделяли иначе организованные структуры, если только жизнь во Вселенной не везде одна и та же. Существует еще один фильтр, биологический. Фильтр глубинных психологических обстоятельств, сфера глубинного подсознательного, и мы не можем ручаться, что везде архетипы глубинного подсознательного у всех существ во Вселенной, — если другие существа есть на самом деле, — что у всех все организовано одинаково. А эти фильтры и выделяют те символы, те знаки, сквозь призму которых мы смотрим на реальный мир. Мы говорим о принципах культуры, о социокультурных обстоятельствах, тоже весьма неоднозначных: Запад и Восток иногда по-разному смотрят на одни и те же научные знания, по-разному интерпретируют их в своих культурах. Наконец, призма научного метода. То, что мы находимся на Земле, то, что Вселенная проецируется на сферу, и мы должны реальное распределение объектов и другие физические их свойства изучать путем тщательных переводов в научную систему знания. Такова система фильтров.

Поэтому Б.Н. Пановкин считал, в отличие от ИСШ, что понимание практически невозможно. Моя точка зрения — я тоже ее высказывал ИСШ, и он, недоверчиво отмахиваясь, ее все-таки принимал, не отвергал с порога, — состоит в том, что при всех различиях у разных цивилизаций этих фильтров, сквозь которые они смотрят на мир, возможно, есть некие инварианты, зависящие именно от того, что Вселенная одна. Мы видим Вселенную, хотя и сквозь разные очки, но одну и ту же Вселенную. И поэтому понимание возможно. ИСШ допускал возможность такой точки зрения. Сейчас мы не знаем, кто прав, пока контакта нет, решающий эксперимент еще не поставлен.

Мне хотелось отметить еще две или три проблемы, которые представляют большой мировоззренческий интерес в работах ИСШ. Свои исследования SETI он связывал с прогнозами футурологического плана, в духе К.Э. Циолковского, на которого он очень часто ссылался. Он обсуждал вопрос о том, может ли цивилизация прекратить технологический прогресс и перейти к какому-то качественно иному развитию, не связанному с экспансией в космос. Он приходил к отрицательному ответу на этот вопрос и говорил, что для некоторых цивилизаций такое качественное развитие, прекращение роста, быть может, и возможно, но это не может быть общей закономерностью. Экспансия в космос для многих цивилизаций, в том числе и для нашей, является, как он писал, нормой поведения. И он считал, что выход человечества за пределы Земли для активной созидательной деятельности позволит избежать многих кризисных явлений, с которыми мы сейчас сталкиваемся на Земле, куда завел нас неумный научно-технический прогресс. Это может пе-

ревести цивилизации и во 2-й и в 3-ий тип, по Кардашеву, но раз этого нет, то нужно искать причины, почему этого нет. Вот эта попытка связать абстрактную, казалось бы, далекую от жизни научную проблему с самыми конкретными глобальными проблемами современности, над которыми бьются ученые, — была очень характерной для ИСШ. Мне кажется, что она и до сих пор представляет большой интерес.

И еще мне хотелось напомнить об одной проблеме. ИСШ в своих работах говорил о пост-человеке. В современных философских исследованиях очень часто обсуждается такая проблема — происходит синтез человека и машины, т.е. как бы возможно разрушение человеческой личности, порабощение человека. Как же быть в будущем с этим вопросом? Сохранится ли человек и личность в будущем? ИСШ в этих беседах высказывался гораздо круче, чем писал об этом. Он говорил: “Да, синтез человека и машины неизбежен”, — и он говорил в своих статьях и книгах, что путешествия в космос могут выполняться специальными роботами, приспособленными для этих целей, способными существовать там многие миллионы лет и посещать другие планеты. К этой идее пост-человека ИСШ относился вполне нормально и спокойно, вопреки тому негодованию, которое она, — правда, не в отношении ИСШ, — вызывает у многих современных философов.

ИСШ был замечательной и во многом, я бы сказал, трагической личностью, и конечно, мы преклоняемся перед его памятью. Его мировоззренческие идеи, перечисленные мною, живут и сейчас.

Л.Х. Шаташвили (ИГФ АН Грузии)

Встречи с И.С. Шкловским, С.Б. Пикельнером, С.А. Капланом

*Человечество никогда не расплатится с
учеными. Труд ученого оценивается
намного меньше, чем военные расходы...
Иосиф Шкловский, Алма-Ата, 1964 г.*

Мне довелось встречаться со всеми тремя. Каждая из встреч с ними оставила неизгладимое впечатление. ИСШ и САК даже побывали у меня дома.

Я должен поблагодарить прежде всего мою мать, Хану Михайловну Шаташвили, которая поддержала меня в намерении пригласить на ужин к нам домой этих замечательных людей 24 апреля 1965 г., благодаря этому и теплым воспоминаниям ИСШ об этой встрече в семейном кругу мы попали в его чудесно написанную новеллу [1]. Если бы не этот

случай, ИСШ нашел бы повод упомянуть меня в каком-нибудь другом рассказе, т.к. ИСШ удивительно тепло был ко мне расположен и никогда не проходил мимо меня.

Случилось так, что в те апрельские дни в Тбилиси по счастливой случайности проходили одновременно две конференции: одна — по астрофизике, под руководством Е.К. Харадзе, другая — по ядерной физике, под руководством Э.Л. Андроникашвили, так что мне удалось пригласить домой многих очень интересных людей. Это были ИСШ, САК, Г.М. Идлис и позже к нам присоединился Евгений Львович Фейнберг, а также члены моей семьи — мать, моя супруга, сестры и братья. Вечер прошел на редкость удачно — этот день был первым днем еврейского праздника Песах. По глазам ИСШ было видно, что он чувствовал себя почти счастливым. Он вспоминал соответствующие этому дню ритуалы, которые он видел в своем детстве. ИСШ полностью раскрепостился и настолько, что Евгений Львович шутя и с некоторым восхищением бросил ему реплику: “Брось хулиганить!”. На самом деле все остались очень довольны, особенно хозяйка дома, моя мать. ИСШ воспринял этот вечер как что-то родное. Он был в центре внимания, и это ему нравилось.

Первая моя встреча с ИСШ состоялась благодаря Геннадию и Комере Никольским. Они уговорили меня пойти на вечер, устроенный в ГАИШе в честь присуждения ИСШ и его ученикам Ленинской премии за 1960 г. Честно говоря, я был поражен — в списке награжденных, объявленном в газетах, ИСШ не фигурировал. Когда я вошел в зал, где проходил торжественный ужин, ИСШ дал “команду” сидящему рядом СБП освободить место и усадил меня рядом с собой. Конечно, СБП не обиделся. Он же был “мудрый Соломон!”. Меня абсолютно не удивляет тот факт, что он не опубликовал теперь уже всем известные, упомянутые на этой конференции письма, о которых так много и с большим огорчением говорилось. От “мудрого Соломона” другого и нельзя было ждать! В течение вечера мысль о том, что ИСШ получил Ленинскую премию “секретно”, у меня вызывало недоумение. Я до сих пор не понимаю, что значит “Ленинская премия по секрету”. На вечере ИСШ приставал с улыбкой к СБП с вопросом: “Кто самый великий астрофизик?”. СБП скороговоркой отвечал: “Шкловский, Шкловский, Шкловский!”. Я, будучи молодым человеком, попавшим в круг таких замечательных людей, чувствовал, какая кристально чистая дружба царила между ними. Потом уже, при других встречах, я ясно понял, что ИСШ легко было спровоцировать на создание конфликтной ситуации. Однако, любой порядочный человек должен был знать юмор ИСШ: каким бы острым он ни был, юмор этот был чрезвычайно добрым, и все окружающие его с

большим удовольствием смеялись вместе с ним, совершенно на него не обижаясь.

Встреч у меня с ИСШ было много. Из-за ограниченности времени я останавлиюсь лишь на нескольких.

В 1960 г. в Боржоми — Ереване была проведена знаменитая в своем роде Всесоюзная конференция по космическим лучам. Конференция началась в Боржоми (Грузия) и закончилась в Ереване (Армения). Как правило, после заседаний вне программы вечерами проводились лекции (специально устраиваемые С.Н. Верновым) известных ученых в смежных дисциплинах. В один из вечеров лекцию по физике элементарных частиц в Ереване читал Е.Л. Фейнберг. Зал был огромный и полон. ИСШ заметил меня и подсел ко мне. Вдруг ИСШ совершенно неожиданно меня спрашивает: “Лули, ты что-нибудь понял?”. Лекция была действительно интересная и глубокая, полная математических формул. Я знал, что если отвечу “да”, то может последовать другой вопрос, на который вдруг не удастся ответить, а если отвечу “нет”, тогда может спросить — чего тогда ты слушаешь? Я тихонько ответил: “Иосиф Самуилович, прежде, чем дать ответ, я подумаю”. Тогда ИСШ все равно не отстал и продолжал: “Лули, не волнуйся! Я тоже ничего не понял. Меня только удивляет, как такая огромная масса людей слушает?!”. В зале была удивительная тишина, и все следили за выступлением выдающегося ученого Евгения Львовича Фейнберга.

1-я Всесоюзная зимняя школа по космофизике, организованная Е.В. Коломейцем, проходила в Алма-Ате в 1964 году. На ней среди других были вечно серьезный С.И. Сыроватский, В.П. Шабанский с гитарой, жизнеутверждающий своими веселыми рассказами ИСШ, “лыжники” Г.М. Никольский, Л.И. Дорман и др. Был и ваш покорный слуга. ИСШ вне программы выступал с лекциями в разных научных учреждениях. Его лекция на тему “Астрономия невидимого” прозвучала весьма многозначительно и вызвала всеобщий интерес. В Астрофизическом институте Академии Наук Казахстана ИСШ описал проект грандиозного радиотелескопа, который должен был быть установлен на территории одной из латиноамериканских стран. Он назвал баснословную цифру стоимости этой установки. Я даже и сейчас не могу повторить эту цифру. Все в зале сидящие ахнули. Он же любил производить впечатление! Тут же ИСШ с сожалением заметил, что один современный военный самолет стоит больше, чем слиток золота, соответствующий весу этого самолета. Опять ахнули присутствующие молодые ученые. ИСШ заключил, что человечество никогда не расплатится с учеными, оно в вечном долгу перед ними.

С ИСШ мне везло. Мне кажется, что я всегда оказывался рядом с ним в самые незаурядные моменты, хотя мы жили вдали друг от друга. Так было и тогда, когда ему вручали Брюсовскую медаль. После вручения медали в ГАИШ'е ИСШ и его американские гости ушли в маленькую комнатку. ИСШ пригласил меня и, добродушно улыбаясь, так представил меня американцам: “Познакомьтесь. Джорджия”, — с дружеской улыбкой указывая на меня. Я же добавил: “Из Советского Джорджия”. Все радовались, смеялись, а мне было приятно. Я ведь стоял с самим ИСШ в эти минуты!

Тут я бы прервал свой рассказ. Но я не могу не заметить, что в наши молодые годы почти недоступна была своевременная информация о достижениях науки. В мои студенческие годы даже иностранная научная литература требовала (непонятно почему?) специального допуска. Книги ИСШ “Солнечная корона”, СБП “Основы космической электродинамики” и САК “Межзвездная газодинамика” и “Элементарная радиоастрономия” служили нам настольными книгами.

С САК мы беседовали в разное время очень много. Я даже знаком с дамой, с которой он был обручен. В настоящее время она находится в г. Араде (Израиль). САК однажды мне сказал: “Лули, Вы знаете, когда я был маленьким, я жил очень короткое время в Иерусалиме.” — “И чего Вы уехали оттуда?” — с удивлением спросил я. Он ответил: “Было для меня очень жарко, и родители увезли меня обратно в Россию.”

Нельзя не упомянуть о цикле лекций, прочитанном специально для научных сотрудников в Тбилисской Астрофизической лаборатории САК. У академика Е.К. Харадзе была традиция приглашать с лекциями известных ученых. Такое общение и непосредственные контакты с ведущими учеными мира особенно полезны для молодых специалистов, которым не так часто удавалось находиться на больших научных форумах.

Из трех ученых, которым посвящается настоящая юбилейная конференция, ИСШ был наиболее бурным и всегда находился на острие события, СБП всегда был мудро-молчаливым, что касается САК, то он никогда не включался в бурные дискуссии, вел беседу, не обостряя ситуацию, и рассказывал так спокойно, будто сложные проблемы, преподносимые им, были не так уж и сложны.

Литература

1. Иосиф Шкловский. Эшелон (Большие перемены). М., 1991.

Н.С. Полосухина (КрАО)

Симеизский период в жизни И.С. Шкловского, С.Б. Пикельнера и С.А. Каплана

Здесь говорилось о многих очень важных моментах жизни наших великих учителей, но, мне кажется, недооценивается роль Крымской обсерватории в их жизни.

Более 40 лет я нахожусь в Крымской обсерватории. И вы знаете, за долгое время жизни в этом удивительном месте невольно становишься философом и летописцем событий грандиозных перемен, которые происходят со страной и с нашей Обсерваторией тоже. Жизнь в обсерватории — это особая жизнь, совершенно особая. Люди, которые сознательно стремились в Крымскую обсерваторию, шли не за материальными благами: влюбленные в астрофизику, они шли за открытиями, они шли к Григорию Абрамовичу Шайну, который был одержим наблюдениями!

Я уверена, что здесь сидящие, те, кто остались из старых крымчан, знают, чем для них была Крымская Обсерватория! Для меня самым лучшим моментом в жизни были первые годы работы в Крымской обсерватории. Нас молодых, только что кончивших университеты, в Симеизской обсерватории удивляло все, но прежде всего тот особый стиль и ритм жизни, который был полностью подчинен одному — наблюдениям! Одержимость наблюдательным процессом Г.А. Шайна и всего его окружения создавало тот особый творческий климат, который был так важен для создания молодого коллектива Крымской Обсерватории. Одержимость была не только в наблюдениях, но и в работах по восстановлению старой и строительству новой обсерваторий, по оснащению их телескопами и новой техникой! В первые послевоенные годы появились энергичные талантливые молодые ученые, которые были не только единомышленниками Г.А. Шайна, в будущем они — создатели новых научных направлений в астрофизике! Мы — молодежь — жили в тесном контакте с этими удивительными людьми, и мы не чувствовали разницы между нами, отношения были почти семейные. Мы появились в Обсерватории в 1953, САК уже был здесь и именно он знакомил нас с бытом обсерватории.

Если САК приглашал кого-либо из молодежи на море, не было ничего удивительного, если шли мы все. Мы любили его рассказы, которыми обычно сопровождалась дорога на море. Он очень любил обсерваторию и приезжал ежегодно летом пообщаться с Г.А. Шайном и прочим интересным народом. Обычно он снимал комнату в Лименах, но весь день до

глубокой ночи он проводил на Кошке. Не имея отношения к наблюдениям, он дышал воздухом наблюдений и ощущал причастность к этому действию! Он наслаждался бытом обсерватории, простотой отношений, которые царили на Кошке.

В обсерватории было чудное место — это библиотека. В библиотеке могли быть все. Там сидели и работали сотрудники. Там была библиотекарь Эля. Там бывали инженеры, они готовили чертежи для новых инструментов. Там же сидела за микрофотометром Анастасия Борисовна Нумерова — аспирантка Шайна. В центре библиотеки стоял большой стол, за которым проводились Ученые советы, заседания Месткома, где сидели студенты и где сидел САК, — он всегда занимал скромное место, где-то в углу этого стола, сидел и занимался своими делами, временами общался с Шайном или СБП. Он знал абсолютно все — кто, когда, куда должен был прийти, весь режим обсерватории ему был известен до мелочей. Он знал, когда подойдет Шайн, когда будет СБП. И когда он освобождался, он часто приглашал нас, студентов, на море и водил какими-то особыми неведомыми тропами на какие-то особые пляжи.

Когда не стало Г.А. Шайна, САК бывал в Научном, он никогда не упускал возможности приехать в Крымскую обсерваторию после Коктебеля (на радиостанции под Карадагом у него были друзья), пообщаться со старыми друзьями, поделиться научными новостями.

Он, всегда такой загорелый, накупанный, появлялся на обсерватории, и такой солнечный ходил, довольный, с такой сверкающей улыбкой, что все улыбались тоже. И обязательно что-то приятное привозил — или какую-то новость, или какую-то новую книгу, или о новом симпозиуме докладывал на семинаре. И обязательно находил время пообщаться со всеми и поговорить о результатах наблюдений, обменяться идеями, дать совет. Все эти встречи сохранились в моей памяти, как и его добрая улыбка.

В послевоенные годы в Обсерватории все делалось очень быстро, стремительно приходили новые кадры. Например, СБП появился в Симеизе в 1948г. с семьей. Он стал сразу помощником Григория Абрамовича. Причем делалось много научных работ, интересных работ по исследованию Галактик. Если вы возьмете первые тома “Известий КрАО”, вы увидите, что они заполнены статьями СБП вместе с теми сотрудниками, которые были у Шайна в те времена. Он работал с К.К. Чуваевым по изучению свечения ночного неба. В ДАН имеются их публикации. Но наряду с этими работами, была работа по созданию оригинального небулярного спектрографа и всевозможные другие работы — например, по доставке частей нового большого телескопа.

Телескопов на обсерватории не было. Их везли из Германии. Оттуда их отправляли, а СБП вместе с Чуваевым должны были их как-то доставить из Москвы. Один их встречает в Москве, а другой — в Крыму. Транспорта не было абсолютно никакого. И Чуваев рассказывал, как СБП с бутылкой “горючего” кидался на машину с отчаянием бойца и останавливал машину, поворачивал, и они справились с этой задачей. Все хорошо у них получилось — они смогли все это оборудование своими собственными силами доставить в обсерваторию.

Сейчас в обсерватории, что у нас на Кошке, живет старейшая сотрудница Крымской обсерватории — Эмма Семеновна Бродская. Я бываю у нее каждый год. На этот раз я была у нее в мае. Сказала, что будет совещание, посвященное памяти близких ей людей. И я ее попросила что-нибудь вспомнить, надеялась, что она что-нибудь напишет. Но она отказалась. Ее трудно разговорить. Но из этого нашего разговора мне удалось кое-что записать. Вот несколько ее высказываний.

Я спросила, что значили эти люди для Симеизской обсерватории. Она сказала: “Без них немыслима была бы та яркая Симеизская жизнь, которая для меня закончилась с их уходом. Григорий Абрамович видел в них своих преемников, хоть и не говорил об этом прямо.” И дальше: “Ведь это было время, когда жизнь в Симеизской обсерватории кипела, все было заполнено особой радостью общения, и все это гармонично сочеталось с крымской природой, ароматом моря... Жили все одной семьей и часто злоупотребляли гостеприимством СБП, Г.А. Шайна, распивали чай с вареньем и слушали классическую музыку.”

Приезды ИСШ из Москвы всегда были радостным, веселым событием, все ждали этого, все оживлялись и ходили за ним хвостом, а он рассказывал обязательно что-нибудь потрясающее из науки, из столичной жизни и привирал немного. Ну, фантазии ему не занимать. Все знали, что он очень талантлив и все равно он что-нибудь выдумает. На свои доклады он звал обязательно Шайна. Григорий Абрамович обычно всегда с большим интересом слушал эти выступления. И часто переспрашивал.

Мне хотелось рассказать об одном случае. ИСШ действительно не очень любил приезжать в КрАО в последнее время. Но в Крымской обсерватории началась традиция — примерно с 62 года — организовывать молодежные школы, куда приезжали, кроме наших, советских ученых, и многие иностранцы. В частности, был Ловэлл на одной такой школе.

Я отлично помню ту сцену в коридоре, ведущем в зал заседаний, когда появился ИСШ в клетчатой рубашке с закатанными рукавами. Он приехал прямо из похода на плотях. И около зала шла какая-то большая дискуссия относительно деталей этого похода. Огромная толпа потом

ввалилась в зал, расселась по местам, и вот, глядим, ИСШ уже у доски. Начал что-то писать, какие-то формулы, причем размахивает руками, тычет пальцем и к Ловэллу обращается. Оказывается, выступление касалось каких-то огрехов в статье Ловэлла. А рядом с Ловэллом сидят переводчики. С одной стороны Северный, а с другой — Алла Генриховна. Конечно, мы все ждали реакции Ловэлла на это выступление. Но мы не дождались, потому что, видимо, перевод был недостаточно точным. Но это было запоминающееся зрелище, это невозможно забыть: его рубашка с закатанными рукавами, эти кривые цифры, формулы, эти размахи... Конечно, вся молодежь замерла. Но ответа не последовало.

В заключение я хотела бы сказать еще вот что. Дело в том, что действительно в последнее время ИСШ приезжал только в Кацивели на совещания по радиоастрономии. Очень жаль. Иногда нам удавалось его увозить к себе. И вот когда он приезжал в Научный и в каком-то доме собиралась компания старых друзей, — это действительно было событие! Было удовольствием видеть его, а слушали только его! Он такой был щедрый человек, так разбрасывался всякими идеями направо и налево. Он сразу находил интерпретацию наблюдениям. Сколько к нему обращалось людей! Для нас приезд ИСШ, приезд СБП были всегда какими-то особыми праздниками.

Большим другом ИСШ и СБП был Константин Константинович Чуваев, старейший сотрудник обсерватории, недавно ушедший из жизни. У него очень много писем ИСШ. Я хочу зачитать два письма из коллекции Чуваева. “Дорогой Костя. Я был в Симеизе, но не заехал в Мангуш, по причинам, тебе известным. Зато на Кошке надышался кипарисовым, шайновским духом. Был на могилах. Так запущено все. До чего тоскливо. С Эммой проговорили за жизнь до трех часов ночи, а утром уехал. Иосиф”

И еще одно письмо. 26.12, а какого года, он никогда не писал. Но это одно из последних писем. “Дорогой Костя. Ты уже наслышан о результатах выборов. Этого и следовало было ожидать. Думаю, мои литературные опусы сыграли здесь свою роль.” — Дальше идут впечатления... Пропускаю. — “Надоели московские страсти до чертиков. Хочется в Крым. Растянуться бы нам с тобой на пляже под Кошечкой около Дивы, как когда-то! Вот тебе и мое новогоднее пожелание под елочку, под туечку. Твой Иосиф”.

У Чуваева очень много фотографий, в том числе с открытия обсерватории. В 1952 г. было открытие Симеизской обсерватории, а в 1955 г. было открытие Крымской обсерватории. Было много приглашенных.

М.А. Лившиц (ИЗМИРАН)
С.Б. Пикельнер (1921-1975)

Дорогие члены семей наших юбиляров, коллеги и гости!

Я рад видеть вас в этом зале, где мы обсуждаем вклад в науку наших трех выдающихся астрофизиков. Шестидесятые-семидесятые годы все больше удаляются от нас. Это была молодость нашего поколения, когда мы каждые две недели приходили на Объединенный астрофизический семинар (ОАС) и узнавали о различных новостях типа звездотрясений, о рентгеновском излучении экзотических небесных тел, иногда даже — о “зеленых человечках” из других миров. Это был действительно золотой век советской, в основном, теоретической астрофизики. И определяли лицо этого взлета нашей науки как руководители ОАС — В.Л.Гинзбург, Я.Б.Зельдович, ИСШ, — так и СБП, все понимающий в физике процессов, развивающихся в космосе. Мы всегда и во всем чувствовали поддержку из Горького (Нижнего Новгорода) САК и радиоастрономов НИРФИ. А тылы нашей науки — классическое направление переноса излучения успешно развивалось в Ленинграде под руководством В.В.Соболева. В те годы приемлемый уровень наблюдательной астрофизики обеспечивался в СССР благодаря работам Крымской астрофизической обсерватории и ряда других наблюдательных баз. Ну и наконец, в космосе мы были “впереди планеты всей” в начале 60-х годов.

СБП родился в Баку 6 февраля 1921 г. В 1932 г. семья переехала в Тулу, в 200 км от Москвы. Он окончил механико-математический факультет МГУ по специальности “астрономия”. С 1946 г. работал в Крымской астрофизической обсерватории, а с 1959 г. — в МГУ, занимая должность профессора кафедры астрофизики.

Мне трудно сейчас восстановить, как это произошло, но случилось так, что смыслом жизни СБП действительно стало искреннее стремление понять суть происходящего во Вселенной. Как никто другой, он чувствовал специфику этих явлений, управляющие ими законы, единство природы при всем многообразии процессов. Во многом этому способствовали учителя — прежде всего, ИСШ (которого сам СБП всегда считал своим учителем). Тем не менее, их подходы, методы исследования отличались очень сильно. Так ИСШ любил делать работы, откликаясь на самые последние, горячие новости. СБП обычно не реагировал, по крайней мере явно, на новости в первые дни, а часто и в течение многих месяцев. И только тогда, когда данных накапливалось достаточно много, а ученые все еще не могли понять, в чем дело, тут-то и начиналась работа СБП. Под влиянием ИСШ — тогда солнечника — и Г.А.Шайна

в Симеизе сложился очень широкий круг научных интересов СБП, его неповторимый метод исследования космических объектов. Иногда поочередно, иногда одновременно, он занимался проблемами солнечной атмосферы и межзвездной среды, затрагивая и смежные вопросы звездообразования, физики звезд и галактик (см. статью, написанную совместно с Н.Г. Бочкаревым в 17 выпуске “Историко-астрономических исследований”, 1984 г. и рис. 1). На примере физики Солнца с возможностью детальных наблюдений СБП апробировал многие подходы, которые он успешно применял в других областях.

СБП осваивал новые научные направления и методы, которые были полезны для разгадки злободневных проблем современной астрономии. Так, известно, что если до СБП астрофизика фактически сводилась к теории переноса излучения, то после выхода его книги, проблемы космической электродинамики, став неотъемлемой частью этой науки, позволили отразить еще одну, очень важную сторону космических процессов. Совместно с САК и В.Н. Цытовичем СБП способствовал внедрению представлений о плазменной астрофизике.

В 60-70 годы СБП создал стройную картину явлений, развивающихся в солнечной атмосфере. Эта картина сохранилась и до сих пор, и успешно дополняется новыми штрихами в результате работы больших внеатмосферных солнечных обсерваторий YОНКОH и SOHO. Многие годы наши представления о физике межзвездной среды определялись материалом известной книги САК и СБП, до тех пор пока результаты работы рентгеновской аппаратуры и космического телескопа имени Хаббла не внесли новые черты в эти взгляды. “Книги живут дольше” — любил повторять СБП. Сегодня, через четверть века после выхода их книг, в самых различных концах планеты на столах астрофизиков очень часто оказываются то “Физика межзвездной среды”, то “Основы космической электродинамики”, то “Физика плазмы солнечной системы”, то коллективная монография по проблемам звездообразования. Это как подтверждает высказывание СБП, так и напоминает нам о его большом вкладе в астрофизику.

В эпоху расцвета теоретической астрофизики в СССР СБП своей научной и педагогической деятельностью, общением со специалистами других научных направлений и молодежью, своими многочисленными консультациями обеспечил высокий уровень представления чисто астрономических проблем в общем штурме тайн Космоса.

Для многих СБП был эталоном нравственности и соблюдения этических норм.

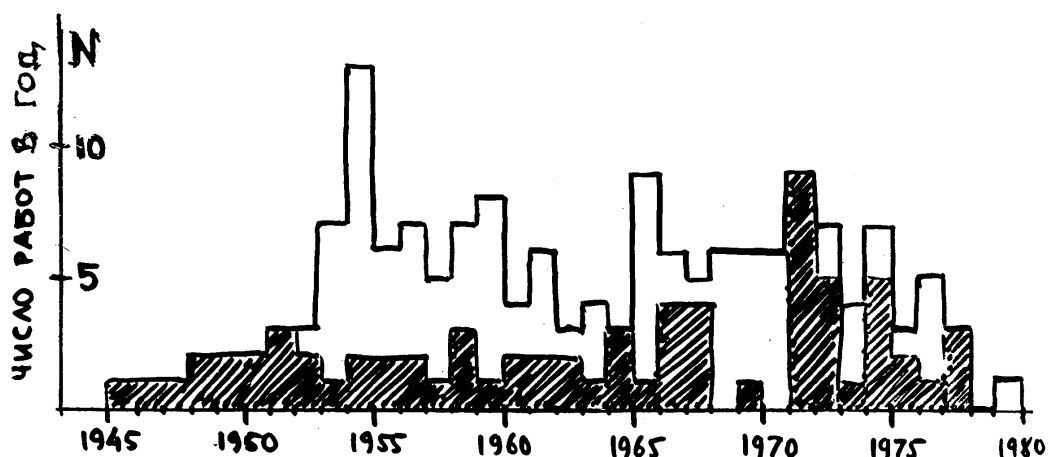


Рис. 1. Число научных работ СБП в год, с 1946 по 1979 год включительно. Всего работ — 164, из которых 92 условно отнесены к физике межзвездной среды, 72 — к физике Солнца и солнечно-земным связям (вторая группа работ заштрихована).

Самыми уместными здесь представляются слова поэта Вадима Шефнера (“Вещи”) :

“Тот, кто жил для людей, — после смерти живет среди живых.”

Л.Б. Пикельнер **Воспоминания о брате**

Прежде всего я хочу поблагодарить Оргкомитет за приглашение и отметить, что в Астрономическом сообществе (и это мне кажется очень важным) реализуются те слова, которые иногда говорят, когда прощаются с уходящими: что мы вечно будем помнить, что память сохранится... Так вот и СБП, и САК ушли от нас лет 20 назад, но память о них действительно сохранилась, и это очень хорошо, и я хотел бы поблагодарить Астрономическое сообщество за эту память.

Теперь я перейду непосредственно к воспоминаниям. И поскольку здесь многие работали вместе, были его учениками (я буду говорить о СБП), то я не буду говорить о его последних годах, о годах в университете. Я немножко расскажу о самых ранних его годах, о детстве. Разница между нами была небольшая — три с половиной года, я многие вещи помню достаточно хорошо.

Жили мы в первые годы жизни в Баку, и родились он и я там. И жили мы там до 1932 г. В 1932 г. умер наш отец, и поскольку сестры нашей мамы жили в Туле, то мы переехали в Тулу. С 1932 г. мы жили в Туле, учились в тульских школах. Мама работала фельдшерницей.

Она была простой женщиной, достаточно далекой от науки, работала она много. Все-таки, двое ребят, она сама нас содержала, у нее были ночные дежурства. Это все привело к тому, что нам приходилось быть самостоятельными. Когда она уходила на суточные дежурства, мы сами уходили в школу, сами готовили себе какую-то еду и в общем СБП (я буду называть его Моня), — он был старшим братом в семье, — и мной руководил, и многое делал дома. Как-то с раннего возраста у него появилась самостоятельность. Он мог сам принимать решения, сам их реализовывать. В какой-то степени помогло то, что у него в школе был хороший учитель физики и математики, Николай Иванович Тихомиров. Он вспоминал о нем долгие годы и после того, как стал физиком и астрофизиком крупным, и приезжал в Тулу, и его навещал, когда он был уже глубоким стариком.

Его пристрастие к астрономии началось в школе, причем еще примерно в 8 классе он занимался в астрономическом кружке, потом начал делать телескоп. Создать дома телескоп — это было, наверное, не очень просто. Но он нашел где-то в журнале описание, как можно сделать самый элементарный телескоп, — для этого нужно было достать линзу с фокусным расстоянием в 1 м и другую линзу, маленькую, порядка 1 см. Он это достал. В качестве носителей линз были коробки из-под какао (может, старшее поколение знает, что было такое какао “Золотой ярлык”, которое продавалось в таких картонных баночках, цилиндрических, диаметром около 10 см). Вот из двух таких баночек плюс большой лист бумаги, в которую они были обернуты вместе, получился телескоп, причем одна баночка могла двигаться внутри этой бумажной трубы и таким образом наводиться на резкость. И вот он действительно этот телескоп сделал и занимался наблюдениями. Это было, по-моему, в 9-м классе, сейчас я затрудняюсь сказать, — он или прочитал, или учитель рассказал, во всяком случае, он начал заниматься наблюдением спутников Юпитера в этот телескоп и, — тоже я сейчас об этом не могу точно сказать, потому что тогда этим не интересовался, — как-то он связался с Московским отделением Астрономо-геодезического общества. Он туда написал об этом, во всяком случае, уже завязалась как-то переписка, и он, еще будучи школьником, стал членом этого общества. Мы, поскольку тогда увлекались книжками об индейцах, то посмеивались, что у индейцев было племя “навахо”, а у него это было “моваго”. Так что это было созвучно. И когда он кончил школу, а это был 1938 год, то сомнений — куда ему идти учиться, у него не было. Мама наша, повторяю, была достаточно далека от науки, конечно. В той среде, где она и росла, и жила, к науке отношение было такое... Ей казалось, что надо заниматься чем-

то, что нужно в жизни. А что такое астрономия? Кому она нужна? И зачем этим заниматься? Но она никогда не настаивала на своем мнении по отношению к Моне, а у него было совершенно определенное желание быть именно астрономом. Тем более, что он уже предыдущими годами был к этому достаточно хорошо подготовлен. Действительно, школу он окончил отличником, без особых проблем был принят в университет, и, поступив туда, он жил в Останкино, где находилось тогда общежитие университета. И первые несколько лет он там жил.

Это, по существу, были первые годы его в университете до войны. Дальше в конце 41 г., где-то в октябре-ноябре, когда университет был эвакуирован в Ашхабад, он уехал туда, там слушал лекции Шкловского и однажды в значительно более поздние годы, конечно, ИСШ как-то на дне рождения поднял тост за Ашхабадский парткабинет. Имелось в виду, что Моне был там единственным студентом, который слушал у него теоретическую астрофизику, и для того, чтобы не мерзнуть — в Ашхабаде зимой в то время было достаточно холодно — они шли в Ашхабадский парткабинет, потому что там было теплее, садились в уголок, и ИСШ читал ему лекции. Сам он говорил, что никакого чтения лекций не было, а они вместе разбирали какие-то статьи, которые появлялись к тому времени, но, тем не менее, это было периодом обучения, которое он проходил в Ашхабаде.

Более поздние годы, когда Моне стал работать сначала в Симеизе, потом в университете, эти годы проходили на виду у многих из здесь присутствующих. И я на этом и закончу.

В.Н. Обриджо (ИЗМИРАН)

Учитель

Прежде всего, я хотел бы выразить благодарность редколлегии сборника за право написать здесь эти несколько страниц о Соломоне Борисовиче. Где-то я читал, что кого-то из великих (кажется И.А. Бунина) спросили, как он относится к Пушкину. Он ответил: “Кто я такой, чтобы как-то к нему относиться”. Унижение паче гордости! Но, мне кажется, что именно таково отношение нашего поколения к СБП. Он был велик — но не нуждался в атрибутах своего величия, он был очень скромен — но уже через несколько минут Вы ощущали, что разговариваете с особым человеком.

Мое первое знакомство с СБП произошло во второй половине 50-х годов. Я был тогда студентом 3 курса. Бушующее, необыкновенное время. Разрядка и оттепель. XX съезд. Дух Кемп-Девида. Хрущев раз-

говаривает на “ты” с Эйзенхауером. “Называйте меня Айком”, — говорит американский президент. Студенты бушуют на физфаке. Одна за другой появляются книги, публикация которых еще вчера была невозможна. Первый спутник. Первый пассажирский реактивный самолет. Доклад Курчатова в Англии. Первая атомная электростанция. Первый атомный ледокол. Фестиваль молодежи и студентов в Москве. Кремль открыт для свободного посещения! Реабилитации жертв репрессий. Туманные надежды...

А мы все молоды. Молоды до умопомрачения. Кажется — все в твоих силах. Вишни цветут круглый год. Первая влюбленность. И девушки все кругом красавицы, в крайнем случае, очень симпатичные. Дым туристических костров, гитары, стихи, романтика Кустанайских степей.

И как символ этого прекрасного времени в ГАИШе появляется Пикельнер. Его слава и привлекательность, казалось, опередили его. Неслыханный случай: на его первую спецкурсовскую лекцию пришло столько народу, что ГАИШевский зал был переполнен. Пришли не только астрономы, а и студенты математики, механики, физики. Ошеломляющее впечатление простоты и глубины. Некоторые слушатели, которые ждали увидеть исписанную дифференциальными уравнениями доску, высказали мне даже некоторое разочарование.

Почти одновременно с Соломоном Борисовичем в ГАИШе появились такие светила как Я.Б.Зельдович, В.Л.Гинзбург, резко усилилась активность И.С. Шкловского и А.Л.Зельманова. И рядом с ними, не уступая им в научном потенциале, но в чем-то отличным был СБП. Уже через несколько месяцев бесшабашная студенческая вольница знала: Соломон Борисович не такой как все, он особый. Мы чувствовали то, что позднее гениально выразил Шкловский в своем “Слове о Пикельнере”: это Святой.

Прошло несколько лет. Мне выпало счастье быть аспирантом Соломона Борисовича. Работа содержала и экспериментальные и теоретические аспекты, многие из которых были достаточно далеки от непосредственных интересов СБП. И тогда я оценил необыкновенную физическую интуицию Учителя. Летом я приезжал к нему на дачу из подмосковного Троицка. Мы сидели на травке, беседовали о жизни, обедали, шутили и немного говорили о моих результатах. Когда я уезжал от него, я вдруг спохватывался, что мы ведь так ни о чем существенном и не поговорили. Но тут же я соображал, что все проблемы, с которыми я ехал к нему, либо решены, либо оказались совсем несущественными.

А еще через несколько лет я понял, как он может разрубать гордые узлы. Мы вместе с ним и М.А. Лившицем работали над проблемой

магнитного поля над солнечным пятном. В то время существовало противоречие между оценками магнитного поля по наблюдениям радиосточников (до 2000 Гс) и принятой тогда высотой основания короны — не менее 10 тысяч километров над уровнем фотосферы. И то, и другое, казалось, было установлено весьма надежно и опиралось непосредственно на эксперимент.

Мы практически ежедневно собирались на квартире СБП и обсуждали ситуацию. Казалось, что можно построить такую хитрую конфигурацию магнитного поля, которая даст низкий градиент магнитного поля, и поле на высоте 10 тысяч километров сохранит свое почти фотосферное значение. Сейчас ясно, что это совершенно невозможно, но тогда это было ясно, кажется, только СБП. Во всяком случае несколько дней мы с М.А. Лившицем азартно изобретали разнообразные фантастические модели. СБП скептически наблюдал за нами и помалкивал. Наконец он сказал фразу, которую я потом много раз вспоминал: “Экспериментатор может хоть сто раз доказывать мне, что дважды два — двадцать пять, я ему все равно не поверю. Рано или поздно появится эксперимент, который покажет, что дважды два все-таки четыре”. И он предложил простейшее решение: над пятном корона начинается на гораздо меньших высотах. Уже через несколько минут стало ясно, что это все решает. Немедленно нашлись экспериментальные подтверждения, которые мы до этого как-то упускали из виду, и нам уже стало казаться, что мы это решение знали давно.

В последующие годы мы встречались гораздо реже. СБП много работал над книгой, затем много сил отдавал работе в Астрономическом Журнале. Его интересы ушли от физики Солнца. Но он периодически возвращался к нашей тематике, и каждая его работа становилась событием. Стилль был все тот же, четкое ясное изложение, без излишеств, подробностей, максимум внимания основной идее, почти без математики.

Последняя наша встреча оказалась в неожиданном месте, в Варшаве. Там проходила национальная школа молодежи по солнечно-земной физике, и нас пригласили прочитать курс лекций. Лекции СБП были просто блистательны. Один из организаторов сказал: “Теперь, когда власти спросят, зачем нам эти школы, я могу ответить — хотя бы для того, чтобы иногда услышать СБП”. Мы жили вместе со слушателями в старинном замке. Обстановка была самая неформальная. Мы вместе встречались за едой, вечером происходили восхитительные польские праздники, шутки, карнавалы, какие-то полудетские хороводы. Я вдруг с изумлением увидел совершенно другого СБП. Он с удоволь-

ствием участвовал во всех этих развлечениях и, когда нас повезли на редкую для нас тогда в середине 70-х дискотеку, с визгом, шумом, диск-жокеями, табачным дымом в полутьме, он совершенно не стушевался и целый вечер с видимым удовольствием танцевал. От него исходил какой-то наивный дух чистоты и детскости. И это вместе с тем, что все осознавали его уровень большого ученого и лектора, создавало ему какой-то необыкновенный имидж. У меня сложилось впечатление, что слушательницы (а среди них было несколько настоящих польских красавиц) просто по-женски обожали его. А когда он вынужден был уехать на несколько дней раньше других, девушки ходили целый день какие-то потухшие.

Кажется, меньше чем через год его не стало. Как не сказать, — безвременно. И потом много раз мне еще приходилось думать: “Вот если бы был жив СБП”.

Р.Е. Гершберг (КрАО)
Требуется С.Б. Пикельнер
(к 75-летию со дня рождения)

С осени 1955 г. до осени 1959 г. я жил в Симеизе, на Кошке, рядом с СБП и учился у него в аспирантуре. Несомненно, эти 4 года были лучшими в моей жизни. Я не был взят для решения какой-то конкретной астрофизической задачи, и в первые два года аспирантуры у меня вообще не было таковой. Я осваивал технику астрономических наблюдений и общие курсы теорфизики, сдавал кандидатский минимум и решал подряд все задачи из только что вышедшего на русском языке двухтомника Л.Ч. Аллера — заполнял пробелы своего астрофизического самообразования. Все возникавшие при этом трудности немедленно обсуждались с СБП: бесконечно деликатный и внимательный, он уступал моему не допускавшему отсрочки этическому примитивизму, откладывал свои дела и брался за мои. Не имея опыта жизни в научном коллективе, лишь с чужих слов знакомый со взаимоотношениями в сообществах московских и ленинградских астрономов, я мог бы принять как естественный и должный стиль моего общения с научным руководителем, если бы не частые поездки с Кошки в Научный — они приобщали меня к нормальным стандартам жизни.

Осенью 1959 г. СБП уехал в Москву работать в ГАИШ’е. Вскоре я переехал в Научный, через два года под руководством СБП защитил кандидатскую диссертацию по морфологии некоторых структур межзвездной среды и резко изменил область исследований. Вступил в строй 2.6 м

Шайновский рефлектор, и с помощью этого весьма крупного тогда — третьего в мире! — телескопа я решил разобраться в интригующем явлении: ультрафиолетовой непрерывной эмиссии в спектрах холодных нестационарных звезд. Это излучение было обнаружено в 40-х годах на молодых звездах типа Т Тельца и во вспышках красных карликовых звезд типа UV Кита и послужило одним из исходных моментов гипотезы о существовании сверхплотных D-тел в Бюраканской концепции звездной эволюции. В 1964 г. в мастерских КрАО было закончено изготовление ЭОПного дифракционного спектрографа, который, будучи установленным на Шайновском рефлекторе, дал возможность эффективно исследовать вспыхивающие звезды типа UV Кита. В следующем году я получил первые спектры с высоким временным разрешением вспышек таких звезд, через несколько месяцев аналогичные результаты получил В. Кункель на обсерватории МакДональд в США. Независимый анализ крымских и американских спектров вспышек привел к четкому выводу о хромосферной природе наблюдаемой активности этих переменных. Через 6 столетий философ Оккам снова оказался прав: сущности не следует умножать без необходимости.

Солнечная активность с решающей ролью магнитогидродинамических процессов всегда находилась в кругу основных интересов СБП. Поэтому мои наблюдения красных карликовых звезд со вспышками в десятки и сотни раз более мощными, чем на Солнце, а также теоретические расчеты различных моделей высвечивания горячего газа в атмосфере холодной звезды были постоянным предметом наших разговоров при частых встречах, и в 1972 г. вышла наша небольшая совместная статья в *Comments on Astrophysics and Space Physics* (v.4, p.113), где активность UV Кита обсуждалась в контексте общего подхода солнечно-звездной физики.

Исследование различных сторон активности красных карликовых звезд остается моим основным занятием последние 30 лет. В течение последних двух лет появился новый аспект этих исследований — изучение пятнистости таких звезд. Как и в других проявлениях активности звезд малых масс с конвективными оболочками, пятна на Солнце служат путеводной нитью в исследовании пятен на звездах. В изучении солнечных пятен СБП принадлежит фундаментальная идея о роли магнитных полей в подфотосферных слоях: слабые магнитные поля облегчают конвективный перенос и стимулируют появление ярких факелов на поверхности Солнца, тогда как сильные поля подавляют конвекцию, что приводит к появлению темных пятен. О феноменологии пятен на звездах и пойдет речь дальше.

Как недавно рассказал Дуглас Холл в статье, посвященной открытию пятнистости звезд (IAPRPC № 54, 1994), эта проблема столь же стара, как и проблема фотометрической переменности звезд. Дело в том, что пятнистость — это первая мысль, которая приходила в голову как причина вариаций блеска открывателям самых разных типов переменных звезд, начиная с мирид. Дальнейшие исследования неоднократно заставляли отказываться от этой идеи пятнистости, так что когда в 1949 г. Джеральд Крон действительно обнаружил пятнистость компонентов двойной системы карликовых звезд YY Gem (Astron. J., v. 55, p. 69, 1950), то это открытие не вызвало заметной реакции у “переменщиков”. Лишь через 15 лет, когда интерес к таким карликовым звездам был уже весьма высок и П.Ф. Чугайнов (IBVSN 122, 1966) обнаружил запятненность в двойной системе BY Dra, исследования этого явления получили широкое распространение. В настоящее время исследования неоднородности поверхности звезд проводятся спектральным и фотометрическим методами. Первый из них применим к сравнительно ярким объектам — переменным типа RS CVn и CP звездам. Вспыхивающие красные карлики оказываются слишком слабы для тонкого спектрального анализа, и их пятнистость изучается менее информативным фотометрическим методом.

Очевидно, что определение характеристик поверхностной неоднородности звезды по наблюдаемому интегральному потоку — задача весьма неоднозначная. В качестве первого шага В. Кшеминьский “собрал” все неоднородности в одно пятно, “понизил” его температуру на 350 К и оценил размер пятна, необходимый для получения наблюдаемого фотометрического эффекта — 10% поверхности звезды. В дальнейшем эта идея неоднократно модифицировалась и усложнялась: с привлечением фотометрии в разных участках спектра оценивалась чернотельная температура пятна либо постулировалась его абсолютно холодная поверхность; предполагались круглые пятна либо структуры, ограниченные меридианами и широтами — сферические прямоугольники; учитывался замыкающий эффект второго компонента в двойной системе; для объяснения отсутствия у звезды с пятном полупериода постоянного блеска, когда пятно должно быть за лимбом и не видно, привлекалась идея незаходящего полярного пятна и наклонной к картинной плоскости оси вращения звезды; был развит алгоритм расчета иерархической модели запятненности, когда после определения параметров “главного пятна” по остаточным разностям блеска последовательно оценивались параметры еще одного-двух менее существенных звездных пятен. Но во всех этих модификациях сохранялась исходная идея В. Кшеминьского: пред-

ставить наблюдаемый фотометрический эффект минимальным числом отдельных поверхностных структур с определяемыми индивидуальными параметрами. Однако, реализация этой идеи не вела к картине, даже отдаленно напоминающей наблюдаемую пятнистость на Солнце.

В этой ситуации в минувшем году мною и молодым сотрудником КрАО Ильей Алексеевым был предложен и развит принципиально новый подход к фотометрическому изучению пятнистости красных карликовых звезд: вместо определения параметров отдельных пятен — поиск общих свойств запятненных областей звезды. Результаты этого нового подхода вкратце таковы. Предложена простейшая модель зональной пятнистости звезд, в которой совокупность звездных пятен аппроксимируется двумя симметричными относительно экватора темными полосами с переменной скважностью по долготе. Такая модель описывается четырьмя свободными параметрами: расстоянием темных полос от экватора, их шириной, параметром изменения скважности по долготе и отношением поверхностной яркости пятен и невозмущенной фотосферы звезды. Разработан алгоритм оценки этих параметров по BVRI фотометрическим наблюдениям. Применение развитой методики к 174-м эпохам наблюдений семнадцати красных карликовых звезд показало возможность с высокой степенью точности воспроизвести основные параметры наблюдаемых кривых блеска каждой из этих звезд в каждую рассмотренную эпоху в рамках модели зональной пятнистости. Проведено сопоставление вычисленных параметров моделей для всех рассмотренных эпох запятненных звезд с температурами их фотосфер, со скоростями вращения и с числами Россби. Обнаружена тенденция к “стыковке” найденных величин с соответствующими параметрами солнечной пятнистости — в части локализации и протяженности запятненных областей по широте, в степени общей запятненности и в температурах пятен.

Строго говоря, с формальной фотометрической точки зрения, при представлении наблюдений в каждую конкретную эпоху предлагаемая модель зональной запятненности звезды не имеет каких-либо преимуществ перед ранее развивавшимися моделями с несколькими крупными пятнами. В обоих случаях удастся достаточно хорошо представить фотометрические данные, и получаемые картины в обоих случаях являются модельно зависящими. Таким образом, для выбора между моделями следует привлекать независимые дополнительные аргументы. Один из таких аргументов уже упоминался — это “стыковка” параметров звездной пятнистости с соответствующими величинами на Солнце. Предложенная модель представляет наблюдения без привлечения ги-

потезы о больших холодных околополюсных пятнах, само существование которых противоречит известной картине солнечной пятнистости и встречает трудности с точки зрения теории звездного магнетизма. В качестве второго аргумента может служить известный из крымских наблюдений (Астрон. журн., т. **68**, с. 959, 1991) факт понижения уровня максимального блеска EV Lac в эпоху 1987.7 по сравнению с эпохой 1986.7 при заметном уменьшении амплитуды вращательной модуляции. Очевидно, что уменьшение этой амплитуды в рамках модели нескольких крупных пятен должно быть обусловлено уменьшением их общей площади, которое, в свою очередь, должно приводить к повышению, а не к наблюдавшемуся понижению максимального блеска звезды. Рассмотрение длительных рядов наблюдений показывает, что этот наблюдательный факт — отнюдь не единичный случай: в составленной нами сводке наблюдений красных карликовых звезд такие “аномалии” можно найти и в поведении многих других объектов. С другой стороны, в рамках модели зональной запятненности указанные наблюдения легко интерпретируются увеличением ширины полос запятненности при одновременном развитии их большей фотометрической однородности по долготе.

Приведу некоторые количественные результаты.

Все наблюдаемое разнообразие основных параметров кривых блеска запятненных красных карликовых звезд — среднего сезонного блеска, амплитуды вращательной модуляции блеска и отношений амплитуд $\Delta B/\Delta V$, $\Delta R/\Delta V$ и $\Delta I/\Delta V$ — удастся представить в рамках простейшей модели зональной пятнистости при удалении полос запятненности от экватора на расстояния от 0° до 21° , при ширинах этих полос от 1.6° до 33° , при вариациях отношения минимальной к максимальной запятненности внутри полос от 0.00 до 0.93 и при отношениях яркости пятен к яркости невозмущенной фотосферы в полосе V в диапазоне от 0.03 до 0.62. В результате рассматриваемые модели описывают общую запятненность звезд в интервале от 1.9 до 42 % общей поверхности звезды. Таким образом, магнитогидродинамическая ситуация на красных карликовых звездах должна, как правило, существенно отличаться от солнечной, где общая площадь запятненной поверхности не превышает 0.5 % поверхности Солнца. Из-за более тесного расположения звездных пятен в их окрестностях гораздо чаще, чем на Солнце, должны возникать мощные вспышки, что и наблюдается в действительности. Не ясно, всегда ли сохраняются при такой плотности пятен изолированные активные области, не будут ли в таких условиях симпатические вспышки типичным, а не сравнительно редким явлением, как на Солнце.

На гражданской панихиде СБП в ГАИШе ИСШ отметил его поразительное пространственное воображение в связи с разработкой проблем магнитной гидродинамики. Очевидна настоятельная необходимость такого воображения для развития моделей существенно запятанных звезд. Иными словами, требуется СБП.

СБП сравнительно мало известен за пределами астрономии и родственных ей наук. Его научные результаты отличаются глубиной и фундаментальностью, а не наглядностью и общедоступностью. В кандидатской диссертации СБП корректно решил задачу испарения солнечной короны, наметив общий подход к рассмотрению внешних атмосфер звезд различных типов, и этот подход оставался наиболее точным вплоть до появления концепции солнечного ветра. Анализируя собственные наблюдения тонковолокнистых туманностей, выполненные на небулярном спектрографе в Симеизе, он впервые рассчитал структуру ударных волн в межзвездной среде на основе рассмотрения неравновесных взаимодействий, присущих астрофизическим условиям, и заложил тем самым основы радиационной газодинамики. СБП создал первый курс космической магнитной гидродинамики. Он написал фундаментальную “Межзвездную среду”, которая вскоре была переведена на английский и затем вышла вторым изданием в соавторстве с САК. Рассмотрев совместно с Я.Б. Зельдовичем фазовые переходы в межзвездной среде, он обосновал термодинамику этой среды. Вместе с САК и В.Н. Цытовичем он написал “Физику плазмы солнечной атмосферы”. СБП задумал и практически осуществил законченный его ближайшими коллегами комpendиум эволюционной астрофизики 70-х годов — монографию “Происхождение галактик и звезд”. Он был инициатором и редактором прекрасного энциклопедического издания “Физика космоса”, которое после его кончины вышло вторым изданием под редакцией Р.А. Сюняева.

И все это за неполные 55 лет.

Но таланту нельзя научиться.

Нельзя научиться преданности своему делу и человеческой доброте. Требуется живой образец бескорыстия и доброжелательности, альтруизма и твердости в сложных жизненных ситуациях.

Требуется СБП.

Это жгучее и неослабевающее чувство не покидает меня последние 20 лет, и я уверен, что его разделяют многие, имевшие счастье живого общения с этим святым человеком — СБП.

Требуется Пикельнер — вчера, сегодня, завтра, Человек на все времена.

Требуется Пикельнер...

Т.А. Лозинская (ГАИШ МГУ)

Из воспоминаний детства

В 12 лет отец взял меня на Симеизскую обсерваторию. Я скучала, и он посоветовал попросить что-нибудь почитать у СБП. Я читала почему-то при свече и залила книгу стеарином. Я была в таком шоке, что даже сейчас помню, что это была за книга — “Похождения Ходжи Насреддина”. И помню форму этого пятна. Что делать? Я пошла признаваться в содеянном. Вы знаете, что мне сказал СБП? — “Таня, это я сам давно испортил эту книгу”. Вчера я рассказала это Верочке Пикельнер¹. И когда я у нее спросила: “Ты знаешь, что мне твой папа сказал”, — она ответила: “Знаю, он сказал, что книга была давно испорчена”. Оказывается, это был его стиль общения с людьми. И как мне Верочка объяснила, стиль этот сложился, когда он сам был еще маленьким. Когда они приехали жить к тете, он сломал лампу. Ну и в шоке начал говорить тете, что мама купит новую лампу. А тетя ему сказала: “Ты не волнуйся — эта лампа уже давно была сломана”. Верочка мне вчера это объяснила, и я поняла, что вот такой он был человек. Меня это очень растрогало.

Б.В. Комберг (АКЦ ФИАН)

О Соломоне Борисовиче Пикельнере

В данном случае я хотел бы сказать о СБП. Об ИСШ здесь много говорили и много написано. К сожалению, ученики СБП воспоминаний о нем не написали.

Мы были (Толя² об этом уже говорил) студентами у СБП, и нам в этом смысле повезло. Мы слушали его лекции и лекции, когда они были, ИСШ. Но надо сказать, что ИСШ, мне кажется, не очень любил преподавать. Он любил работать с людьми непосредственно, общаться с ними при работе. А СБП был, мне кажется, просто выдающийся педагог. Он это любил и умел делать. И он не просто общался с учениками на лекциях. С людьми, которые были как-то ему близки, даже на студенческом уровне, у него все это продолжалось и за пределами его педагогической деятельности непосредственно. Ну, я помню, например, как он мне писал отзыв: я был дипломником у Виталия Лазаревича Гинзбурга, и когда я попросил СБП написать мне отзыв, он говорит: “Вы приходите

¹Старшая дочь СБП.

²А.М. Черепашук

ко мне, Борис, домой”, — сел за машинку, — “расскажите, чего вы там делали” — и тут же мне отпечатал быстренько отзыв.

Я помню, как мы с Леней Грищуком (он, кстати, просил меня по электронной почте поприветствовать всех здесь; он сожалеет, что не мог сюда приехать из своего “туманного Альбиона”), — так вот перед тем как распределяться на работу, — а у нас тогда была возможность пойти к Якову Борисовичу Зельдовичу, который в 1962 г. приехал в Москву, а это был конец 63-го года, — мы пошли именно к СБП посоветоваться по вопросу, идти ли к Зельдовичу на работу или нет. СБП нам горячо советовал, сказал, что это очень толковый человек, он был долго на секретной работе. А потом, когда он пошел нас провожать — СБП всегда провожал всех от дома до остановки, студентов и не студентов — он нам по секрету сказал: “Я только хочу вас предупредить, что он иногда ругается, и вы на это не должны обращать внимания”.

Вообще говоря, при всей своей какой-то немыслимой интеллигентности, — недаром Наталья Борисовна Григорьева называла его “Святой Моня” — СБП был в некотором смысле человеком нестигаемым. В принципиальных вещах, — и люди это знали. Ходят же легенды — и это, по-видимому, правда, — я от многих людей слышал, — что когда он работал в Крымской обсерватории, он был очень близок к Г.А. Шайну и он был его душеприказчиком. И когда Шайна не стало, он в суде отстаивал завещание Шайна против супруги Амбарцумяна: она была племянницей Шайна. И, конечно, это в их взаимоотношениях не добавило положительных эмоций. Но в то же время СБП в отношении своих оппонентов старался быть объективным. Я помню, как он не просто критиковал теорию Амбарцумяна о “D-телах”, а написал на бумаге 13 пунктов научных аргументов, по которым он считал, что эта теория просто несостоятельна, и высказывал их прямо в лицо.

Как-то случайно, я попал без приглашения в Ереване, когда было 70-летие, а может быть, 60-летие Амбарцумяна, в Ереванский оперный театр, где было громадное число людей, и все приветствовали своего бога и кумира, преподносили ему подарки, и при этом все вставали и хлопали. И вдруг я с галерки увидел, что какой-то человек внизу один сидит — все встают, а один сидит. Приглядевшись, я узнал СБП. После этого торжества я к нему подошел — мы пошли погуляли немножко по Еревану — и спросил: “Соломон Борисович, а что-то так получается, что все вставали, а вы сидели”. А он так на меня серьезно посмотрел и говорит: “А вы знаете, Борис, я и в другие времена не вставал”. И это было действительно так.

Поэтому у меня сложилось такое впечатление, что и преждевременный уход из жизни СБП, всего в 54 года, — это в некотором смысле начало катастрофы советской астрофизики. Мне кажется, что если бы СБП был жив, то тех, вот, противоречивых взаимоотношений между Виталием Лазаревичем Гинзбургом, Яковом Борисовичем Зельдовичем и ИСШ, не было или же они бы в такой форме, какую они, в конце концов, приняли, не проявились. Недаром же именно СБП, будучи редактором “Астрономического журнала”, настоял, чтобы письмо, которое было тогда написано Я.Б. и В.Л., не было опубликовано. Оно ходило по рукам, но опубликовано не было, хотя ИСШ о нем знал. Мне кажется, что вот такой гигантский моральный авторитет не позволил бы развиваться и дальнейшим событиям. Я думаю, что при нем невозможно было бы и то, что случилось со школой Якова Борисовича, когда он встал на сторону одного человека против всей остальной школы. Многие, многие вещи, засилье отдельных личностей в астрофизике были бы при СБП просто немыслимы. Его моральный авторитет был такой гигантский, что мне кажется, люди в его духовном “поле” становились лучше. И хотя я полностью согласен с темой доклада Гершберга “Нам нужен Пикельнер”, — это все правильные слова, но весь вопрос, — где его взять. К сожалению, его среди нас нет. Такие личности настолько самобытны, их возникновение — настолько, по-видимому, редкое исключение, что нам приходится уже иметь дело совсем с другими...

Р.Л. Сороченко (АКЦ ФИАН)

Мои контакты со Шкловским и Пикельнером

Наши контакты с ИСШ всегда были связаны с радиоастрономией. Они сыграли большую роль лично в моей жизни. В одном из выступлений ИСШ рассказывал, как всегда, очень горячо, очень эмоционально, в частности, о том, что золотая жила в радиоастрономии — это спектральные линии. К тому времени была известна лишь одна из них — 21 см. По-видимому, с этого момента у меня появился интерес к этому направлению. И я этому посвятил свою жизнь. ИСШ оказался прав — это действительно оказалась золотая жила...

Не менее приятные воспоминания у меня о том, какую большую роль сыграли для меня контакты с СБП. Я не помню когда, наверное, в конце 60-х при организации одной из конференций по радиоастрономии кому-то пришла в голову такая мысль: делать доклады один от экспериментатора, другой — от теоретика. Один из докладов был предложен СБП и мне.

Я помню, не раз я бывал в его скромной квартире. После этого у нас сложились самые тесные отношения. Он мне много помог в моем астрофизическом образовании, поскольку я по образованию физик.

...Интересная это была пара: СБП и ИСШ. Один эмоциональный, взрывной, второй очень спокойный. Я здесь хочу продолжить мысль, которую высказал Борис Комберг. Приведу один характерный пример. Где-то в 1958 г. мы решили от ФИАН и ГАИШ составить план совместных работ, некий документ. По просьбе Виткевича я план подготовил, мы приехали и стали обсуждать. В.В. Виткевич тоже очень эмоциональный, ИСШ тут же завелся, начали спорить. Непонятно было, куда это идет. Тут же сидит СБП, который не проронил ни слова. Он тонко почувствовал психологический момент, когда иссякли эмоции, тогда он, ни слова не говоря, дает ручку ИСШ, и тот подписывает, потом от ИСШ дает ручку В.В. Виткевичу — и тот подписывает. И тут ИСШ сказал: “Соединилась сверхкорона с зодиакальным светом”.

В.Г. Горбацкий (СПбГУ)

Воспоминания

Я очень рад, что присутствуя на собрании, посвященном памяти выдающихся астрофизиков — ИСШ, СБП и САК, — имею возможность выступить. Я не буду останавливаться на описании личных контактов с ними — об этом уже говорилось мною ранее. Хотелось бы осветить ту научную обстановку, в которой происходило их становление как ученых и протекала научная деятельность. Мне кажется, что это поможет полнее оценить их достижения. Собственный возраст позволяет мне сказать словами Пимена (“Борис Годунов”): “...многих лет свидетелем Господь меня поставил”. Соответственно, большая часть XX века прошла на моих глазах и, в частности, эволюция организации науки в нашей стране в эту эпоху.

На становлении всех трех ученых, память которых мы сегодня отмечаем, не только в науке, но и как личностей, сильно сказался, как мне кажется, способ организации науки в СССР. Еще со времен Петра Великого Россия в этом отношении отличалась от многих цивилизованных стран, где наука творилась в значительной степени в университетах. В России, как в сильно централизованном государстве, во главу угла было поставлено одно учреждение — Академия наук. В отношении науки XVIII век — “смутное время”, да и в XIX веке не очень много внимания ей уделялось. Когда же дошло до СССР, то влияние централизации на ней сказалось сильно. Помимо Союза писателей, Союза художников и

т.п. Академию наук также решили сделать центральным научным учреждением, по существу, министерством науки. Началось с перевода ее из Ленинграда в Москву, против чего выступали многие академики. Реакция их на это решение не помешала переводу. Это было в 1934-35 гг. Соответственно, стала строиться иерархическая структура. Это всегда так: если есть центральное учреждение, то есть и иерархия. А для науки чиновничья иерархия очень вредна, особенно для такой науки как астрономия. В астрономии очень большую роль играет свободный поиск. Всякая директива сверху — “Что нужно искать” — недопустима, централизация в какой-то мере противоречит целям науки. Мне кажется очень важным, даже счастливым, обстоятельством для этих выдающихся личностей то, что они сумели, по крайней мере в основной период своей деятельности, противостоять централизации и оставались в свободном поиске. В значительной мере этим можно объяснить их научные успехи. Подчеркиваю, что высказываю свою точку зрения, с которой, может быть, и не все согласятся.

Так вот, этот свободный поиск в условиях быстрого развития науки (особенно за рубежом, поскольку у нас оно было заторможено войной), привел к тому, что они все трое выбрали для себя перспективные области астрофизики: радиоастрономию, космическую газодинамику (которая только начиналась) и космическую электродинамику. Они работали в этих областях, развивая их, и им, к счастью, в научном плане не мешали. Их не пытались приобщить к практическим задачам. А задачей АН было в первую очередь заниматься теми из фундаментальных проблем, в которых заинтересовано государство. В принципе, с утилитарной точки зрения, астрофизика государству была не нужна. Но фундаментальная наука нужна цивилизованному государству. Хочу отметить, что лучшие работы этих трех ученых были сделаны во время их пребывания в университетах. Это кажется очень существенным.

Совсем недавно я прочел в газете несколько дискуссионную статью, в которой указано, что в Америке 160 Нобелевских лауреатов, а у нас их шесть или семь. В Америке и Европе в большей части научные исследования производятся в университетах. У нас же существовала чиновничья установка — настоящая наука возможна только в Академии наук. А университеты должны учить: кончил университет — и иди в академический институт. Даже сейчас такую установку пытаются реализовать чиновники, несмотря на изменение общественной структуры, особенно когда речь идет о финансировании науки. А для развития науки вопросы финансирования очень важны.

Свобода научного творчества содействовала успешной деятельности всех троих. Конечно, внешние условия были не очень благоприятными, особенно если учесть в послевоенное время “борьбу с космополитизмом”, то есть форму государственного антисемитизма. Это в разной степени всем им мешало работать. Тем не менее, из трудной ситуации они вышли, она не нарушила их научную деятельность.

Сейчас я скажу подробнее о САК. Мне довелось встретиться с САК в 1945 году. Мы оба были в шинелях, поступали в аспирантуру к Александру Игнатьевичу Лебединскому, тогда единственному профессору астрофизики в Ленинградском университете. САК уже демобилизовался и был принят в очную аспирантуру, я же продолжал служить в армии до 1947 г. и был в заочной аспирантуре.

В научных кругах Москвы А.И. Лебединского хорошо знают. Он был оригинальным хорошим ученым, но плохим, с моей точки зрения, педагогом — я слушал его лекции в течение трех лет, — а также не очень удачным руководителем аспирантов. Из поступивших к нему в 1945 г. аспирантов на втором курсе все трое отошли. САК, в частности, заявил ему прямо: “Вы меня не понимаете не потому, что Вы не можете, а потому, что не хотите меня понять. Я буду работать сам.” И стал работать с физиками, установил контакт с Физтехом, в частности, с Френкелем, что благотворно сказалось и на его дальнейшей научной работе. Тем не менее, он не порывал связи с Ленинградским университетом, в котором (как я полагаю, всем присутствующим известно) астрономические кафедры, в отличие от других университетов, находятся на механико-математическом факультете. САК еще в школе был победителем математических олимпиад, любил математику. После окончания пединститута (в котором он, будучи на военной службе, учился заочно) он хорошо овладел математическим аппаратом. После окончания аспирантуры САК, по мнению высоко ценившего его В.В.Соболева, мог бы работать в университете или в Пулковской обсерватории. Но судьба распорядилась иначе: по некоторым обстоятельствам, о которых здесь неуместно рассказывать, ему не удалось остаться в Ленинграде. Однако, я не считаю, что это повлияло на его научную деятельность в худшую сторону. САК начал работать во Львовском университете. Там была у него полная научная самостоятельность, возможность руководства студентами — кое-кто из них здесь присутствует — и это было очень плодотворным. Так что, как говорится: “Не было бы счастья, да несчастье помогло”. Я полагаю, что если бы САК после окончания аспирантуры работал в Пулково, то не достиг бы таких успехов (пусть пулковцы не обижаются). [Вопрос из зала: “Какая у него кандидатская диссертация

была?"]]. Кандидатская диссертация была о строении белых карликов. Сделав довольно сложные для того времени расчеты, он учел релятивистские поправки в теории белых карликов, что привело к качественно новым выводам об их структуре. Кроме того, он предвосхитил Местела в решении важной проблемы об энергетике белых карликов. Эти работы высоко оцениваются до сих пор. Потом от этой тематики он отошел и нашел себе другое поле деятельности — межзвездную газодинамику. Для САК было характерным находиться на “переднем фронте” физики и, по его выражению, “стараться аранжировать физику к астрофизике”. Я подробнее говорю о САК, потому что знал его лучше, чем ИСШ и СБП. Контакты у нас были все время тесными, было много встреч в Ленинграде и на различных конференциях.

Хотелось бы отметить еще одно обстоятельство — отношение всех трех ученых, о которых мы сегодня говорим, к Академии наук. Это отношение было противоречивым. С одной стороны, они прекрасно понимали, что в Академии нет места свободному поиску, там следует выполнять и не очень интересную, хотя, быть может, и нужную работу. Кроме того, там платят большие деньги, и, следовательно, далеко не всегда туда попадают лучшие ученые. При выборах происходит жестокая конкуренция, часто далекая от науки. Таким образом, условия для научного творчества в академических институтах иные, чем в университетах. И все же они стремились быть выбранными в Академию. Они думали, что смогут ее “облагородить” — по крайней мере, так высказывались. Может быть, мне известно больше, чем многим из присутствующих здесь, о стремлениях в Академию и происходившей при этом борьбе. Таким образом, в указанном противоречивом отношении к Академии наук мы имеем пример сложности человеческой натуры. Часто человек понимает, что делает что-то не так, а все равно продолжает это делать по той или иной причине. Известны новеллы и высказывания ИСШ об Академии. И вот здесь для меня психологическая загадка — зачем нужно было стараться достичь того, чего не следовало достигать. То, что ИСШ не стал академиком, ни в коей мере не умаляло его достоинство или научный вес. Он сам тоже так считал, но почему-то активно стремился быть выбранным в академики.

Заканчивая, я возвращаюсь к главному, о чем уже говорил. Очень важным обстоятельством явилась тесная связь ИСШ, СБП и САК с университетами. Там существует не только обстановка, благоприятная для свободного научного творчества, но и руководство наукой иное, чем в академических учреждениях. Ученый, который продемонстрировал свои способности, сам определяет, чем он будет заниматься, и ему не

мешают. Благодаря этому в нашей стране интенсивно развивались такие области науки, как радиоастрономия, теоретическая астрофизика, космическая гидродинамика.

Последнее, что я хочу отметить, относится непосредственно к САК, но может быть в какой-то мере отнесено и к другим. Накануне безвременной гибели САК вечером мы были у В.В. Соболева. В этот день САК был оппонентом по диссертации, ему нравилось оппонировать. На следующий день он должен был возвращаться в Горький. Когда мы шли по Казанской улице к его дому, САК сказал: “Виталий Герасимович, все, что я мог, я сделал. Я своей жизнью удовлетворен. Дальше мне ничего такого не остается”. На следующий день его не стало. Вспоминая последнюю беседу с САК — человеком, который никогда не жаловался на судьбу, был очень сдержанным, имевшим большое чувство собственного достоинства, — я хочу сказать, что удовлетворение тем, что человеком сделано, важно для него самого и для оценки его деятельности другими. На днях я ознакомился с одними интересными мемуарами, которым была предпослана, в качестве эпиграфа, фраза из малоизвестного письма А. Блока: “Все, что человек хочет, непременно сбудется, а если не сбудется, то и желания не было, а если сбудется не то, разочарование только кажущееся.” Как мне представляется, эта глубокая мысль прямо относится к ИСШ, СБП и САК. Для них сбылось то, что должно было сбыться. Поэтому мы сегодня отмечаем день их памяти.

В.В. Железняков (ИПФ РАН)

Некоторые замечания по поводу...

Я хотел бы сделать несколько замечаний. И первое замечание такое. Тут уже прозвучали слова, что нам нужны новые пикельеры. В связи с этим я хочу сказать следующее. Как вы знаете, астрофизики бывают разные. Фактически, есть две группы астрофизиков. Одни астрофизики пришли так или иначе из астрономии в астрофизику. А другие из физики. С точки зрения астрономов трое — ИСШ, СБП и САК — они астрофизики очень разные. Но с моей точки зрения, они все пришли из астрономии и у них есть общий стиль работы. Например, Зельдович и Гинзбург пришли из физики, и у них другой стиль работы, хотя они тоже между собой существенно отличаются.

И мне кажется, что одной из причин каких-то трений, которые возникали в течение жизни у САК, например, с Гинзбургом и Зельдовичем, являлись не какие-то вопросы приоритета, а просто различный стиль работы, что находило некоторое отражение и в их взаимоотношениях.

По-видимому, такова жизнь и тут уж ничего не поделаешь. И поскольку астрофизики есть разные, то нам нужны не только новые пикельеры, но и новые шкловские, новые капланы, и вообще талантливые астрофизики, каким бы стилем они ни владели и как бы они ни работали.

А для того, чтобы росли талантливые астрофизики, очень важная сторона деятельности — популяризация науки. Вот, пожалуй, выдающимися популяризаторами науки были и ИСШ, и САК. Для меня это особенно существенно, потому что, волею судеб, я вынужден был написать в этом году четыре популярных статьи для Соросовского образовательного журнала, и я представляю, какая это мука написать статьи так, чтобы они были понятны, чтобы они были разные... А в то время, как на моих глазах САК работал, — для него написать популярную книгу было удовольствием, а не мучением. И такие книги, как книга САК “О физике звезд” или ИСШ “Звезды: их рождение, жизнь и смерть” — это выдающиеся книги, на которых может воспитываться талантливая молодежь и идти в астрономию и в астрофизику. Это второе замечание.

Третье замечание. Нам при начале конференции организаторы каждому вручили при регистрации мемориальную книгу о ИСШ. Это прекрасная книга. Я ее прочитал раньше от корки до корки, потому что мне ее раньше подарили. Поэтому я могу от чистого сердца поблагодарить тех людей, которые написали ее, составили ее и издали. Это большая работа, и она тоже очень важна для воспитания молодежи. Потому что интерес к науке пробуждается чтением не только научных статей, популярных книг, но и книгами воспоминаний вот такого типа. И может быть, имеет смысл подумать, в ГАИШе особенно, и в Горьком, Нижнем Новгороде, простите, о том, чтобы издать книгу воспоминаний в какой-то форме и о САК, и о СБП.

Н.С. Петрухин (ННПИ)

Слово о Самуиле Ароновиче Каплане

Перед началом заседания мы, ученики САК, провели небольшое совещание, на котором решили, что необходимо сказать несколько слов о САК, о его биографических данных, о его основных научных результатах. Эта миссия была поручена мне, поэтому я начну с самого начала.

САК родился 10 октября 1921 г. в г. Рославле Смоленской области. В 1926 г. его семья переезжает в Ленинград, и его детские и юношеские годы прошли в центре Ленинграда. Виталий Герасимович Горбацкий уже говорил, что САК жил в самом центре на углу Невского проспекта и Канала Грибоедова у Казанского собора. В 1939 г. САК закончил школу

и его сразу призывают в армию. Два года он служит, начинается война и САК с первых дней войны и до ее конца находится на Ленинградском фронте. Он был сержантом-электриком батареи зенитных орудий и принимал непосредственное участие в прорыве блокады Ленинграда. В октябре 1945 г. он демобилизовался, прослужив в армии ровно 6 лет. Во время прохождения службы в армии он окончил экстерном Ленинградский педагогический институт и по образованию он был учитель — получил диплом учителя математики.

Сразу после получения диплома он поступил в аспирантуру на кафедру астрофизики Ленинградского университета и блестяще закончил ее в 1948 г. с досрочной защитой диссертации. Дебют САК в астрофизике был удивительно ярким. В своей кандидатской диссертации он рассмотрел ряд вопросов теории белых карликов, о чем уже говорил здесь В.Г. Горбацкий. Известно, что в теории Чандрасекхара, в его классической модели существуют сингулярности, связанные с тем, что при приближении массы звезды к критической радиус ее стремится к нулю, а плотность к бесконечности. САК рассмотрел механическое равновесие полностью вырожденной звезды, но, в отличие от Чандрасекхара, он учел гравитацию, применив уравнение общей теории относительности, и получил выдающиеся результаты. В частности, им было показано, что предельная масса звезды меньше, чем чандрасекхаровская и равна примерно 1,2 массы Солнца. Он также, в отличие от Чандрасекхара, получил конечный предельный радиус звезды — он равен порядка 1000 км, и показал, что плотность в центре звезды также конечна и для белого карлика из железа она составляет 3×10^{10} г/см³. Эти результаты были опубликованы в “Ученых Записках Львовского университета” за 1949 г. И спустя 15 лет эти же, точно эти же результаты были опубликованы в “Astrophysical Journal” Чандрасекхаром. Ну, по-видимому, тогда нерегулярно Чандрасекхар читал “Ученые записки Львовского университета”... Поэтому эти результаты были повторены практически дословно.

А второй фундаментальный результат, который САК получил в своей диссертации, — это разработанная им теория остывания белых карликов (о чем уже говорил Виталий Герасимович). Эта работа была опубликована в 1950 г. в 27-м номере “Астрономического Журнала”, и лишь через 2 года точно эти же результаты практически дословно были опубликованы Мэстелом. И на Западе до сих пор, к сожалению, классическая теория белых карликов носит имя Мэстела, хотя приоритет САК здесь неоспорим.

Кроме этих работ, САК была рассмотрена очень важная проблема об устойчивости орбит в сферически симметричном шварцшильдовском

поле. Эти работы по применению ОТО к белым карликам и решение задачи об устойчивости орбит являются классическими, и если бы САК прекратил заниматься астрофизикой в то время, все равно его имя осталось бы в астрономии навсегда. После окончания аспирантуры для САК не нашлось места в Ленинграде (о чем здесь уже говорил В.Г. Горбацкий), и он был направлен во Львов, во Львовскую Астрономическую обсерваторию, где его научные интересы резко переместились от сверхплотной среды в сверхразреженную. Он стал заниматься межзвездным газом. Но об этом периоде жизни и деятельности САК расскажут его львовские ученики. А я расскажу о том, чем он занимался в Горьком.

В 1961 г. САК был приглашен в Горький в Научно-исследовательский радиофизический институт, и с тех пор до конца своей жизни он был старшим научным сотрудником теоретического отдела. САК продолжал активно заниматься и педагогической деятельностью. Он был до конца своей жизни профессором Горьковского университета, прекрасно читал лекции по физике. По-моему, по астрономии он лекций в Горьковском университете так и не читал. В Горьком САК начал заниматься новой проблемой: только что появившейся наукой — плазменной астрофизикой. Здесь, САК, в основном в сотрудничестве с В.Н. Цытовичем, получили ряд фундаментальных результатов. В частности, ими была построена достаточно полная теория турбулентности космической плазмы, получены спектры турбулентности, причем они рассмотрели и релятивистскую, и нерелятивистскую плазменную турбулентность. Кроме этого, САК занимался и другими проблемами, получив также ряд важных результатов. Прежде всего, он проделал редкий в то время численный эксперимент на ЭВМ по эволюции протоскоплений и солнечной протосистемы.

Кроме того, САК вместе с учениками рассматривал ряд вопросов, связанных с нелинейной динамикой солнечной атмосферы. Так, им впервые был получен метод расчета эволюции нелинейной волны, причем рассматривались все ее стадии: линейная, образование разрыва и диссипация. На базе этой модели, этого метода САК впервые решил самосогласованную задачу распространения нелинейной волны в атмосфере Солнца. При этом впервые была показана принципиальная возможность образования зоны инверсии в атмосфере Солнца. Для САК (здесь уже отмечалось это) было характерно доводить свои результаты до такого состояния, чтобы ими могли пользоваться молодые астрономы. Заканчивая какой-то раздел астрофизики, он писал книгу. Мы знаем, что он опубликовал блестящие монографии. Я хочу напомнить основные из них. “Введение в космическую газодинамику” (1958 г. с

соавторами Ф.А.Баумом и К.П.Станюковичем); “Межзвездная газодинамика” (1958) — первая книга по газодинамике, которая была издана в мировой литературе. По этой книге обучались многие студенты университетов в нашей стране и за рубежом. “Межзвездная среда” (1963 г., в соавторстве с СБП), “Плазменная астрофизика”(1972, соавтор В.Н. Цытович), “Размерности и подобие астрофизических величин (1976, соавтор Э.А. Дибай), “Физика плазмы солнечной атмосферы” (1977, соавторы СБП и В.Н. Цытович). И уже после смерти обоих авторов была издана книга САК и СБП “Физика межзвездной среды” (1979 г.).

Почти все монографии САК были изданы и за рубежом, так же как и его хорошо известная популярная книга, о которой уже говорил Владимир Васильевич, это очень хорошая книга “Физика звезд”(1961 г.), которая выдержала три издания, а также очень интересная книга, которая, по-моему, не была оценена по достоинству, это “Элементарная радиоастрономия”. Это тоже одна из первых популярных книг по радиоастрономии.

САК обладал удивительно ровным характером, я бы сказал, характером философа. Но он не был сухим человеком. Вот здесь на фотографии видны его веселые, чуть хитрые глаза. Я не помню, чтобы САК когда-либо повышал голос. За все время нашего общения я лишь дважды видел его в подавленном, растерянном состоянии — первый раз, когда умер его отец, а второй, — когда он узнал о смерти СБП.

Мне хочется закончить свое выступление на мажорной ноте. Я хочу сообщить, что в заседании нашей конференции принимают участие сын САК Яков Самуилович и его внучка Вера Владимировна, которую он очень любил.

В.И. Проник (КраО)

Воспоминания о С.А. Каплане (львовский период, дружба с С.Б. Пикельнером)

Львовский период в жизни САК длился 13 лет: с 1948 по 1961 гг. И хотя САК в Львов попал не по своей воле, не надо думать, что его пребывание там было подобно ссылке. Он никогда не жаловался на свою судьбу, искренне был доволен жизнью, весел, энергичен, доброжелателен, его слегка прищуренные глаза излучали радость. Таким я его увидел впервые в 1951 г. и таким он был всегда.

САК рассказывал, как он оказался в Львове. Когда ему было предложено покинуть Ленинград и на выбор были названы несколько периферийных городов, в т.ч. и Львов, то он выбрал последний по следующим

причинам. Во-первых, потому что Львов — город западноевропейского типа с многочисленными памятниками старины и интересной историей. Во-вторых, Львов был одним из немногих больших городов, который остался целым после войны, его миновала участь крупных городов Европы. И в-третьих, жизнь в Львове в то трудное послевоенное время была самая дешевая. Что касается работы по специальности, то, разумеется, серьезной астрономии, а тем более астрофизики, в то время в Львове не было, но он, будучи теоретиком, продолжал заниматься астрофизикой в библиотеке АН Украины в Львове, работая на кафедре теоретической физики в университете.

Приезд САК в Львовский университет совпал с периодом формирования профессорско-преподавательского состава университета, который, в конечном итоге, на 90 % состоял из ученых, приехавших из разных городов Советского Союза. САК был принят старшим преподавателем на кафедру теоретической физики. Он читал спецкурсы по термодинамике, квантовой электродинамике, электромагнитной теории излучения, статистической физике. Однажды он сказал: “Если я хочу выучить какой-нибудь раздел физики, я берусь читать по нему спецкурс”. Позже, следуя этому правилу, он выучил таким образом радиоастрономию и даже написал книжку по этой дисциплине.

Кафедру теоретической физики Львовского университета в то время возглавлял прекраснейший, по словам САК, человек, родом из Львова — Василь Степанович Милиянчук. Его кандидатская и докторская диссертации были посвящены комбинационному рассеянию света на молекулах газа. Милиянчук был нашим любимым преподавателем, читал нам курс электродинамики. Так случилось, что САК стал ближайшим другом В.С. Милиянчука, в доме которого он был частым гостем. САК не раз подчеркивал, что благодаря Милиянчуку у них на кафедре сложилась очень доброжелательная атмосфера. Вторым другом САК в Львове был Абба Ефимович Глауберман, также наш любимый преподаватель — он читал нам квантовую механику. Интересный и очень приятный человек, А.Е. Глауберман был лично знаком со многими выдающимися физиками, с которыми познакомился во время стажировки в Боровском институте в Копенгагене. Он пережил в Одессе страшное время немецкой оккупации, выдавая себя за турка. Во время отправки в Германию он сбежал, воевал в партизанском отряде в Полесье. Дружба этих трех людей была неформальной. САК всегда искренне радовался успехам Милиянчука и Глаубермана и тяжело переживал их семейные несчастья. Из других лиц, с которыми САК общался в обсерватории в Львове, были: В.Е. Степанов — директор обсерватории, М.С. Эйгенсон, который по-

сле переезда В.Е. Степанова в Москву занял пост директора, старший научный сотрудник Е.М. Еленевская и ее аспирант, ставший впоследствии академиком, заведующим Львовским отделением АН Украины — Ярослав Подстригач (старший брат Тараса Подстригача, работавшего длительное время с САК в Горьком). В Львовской обсерватории САК познакомился со своей будущей супругой Верой Павловной, которая работала там секретарем-машинисткой.

О себе САК рассказывал мало, чаще всего с юмором, как некую веселую историю, хотя веселого в его историях было мало. Например, почему ему пришлось покинуть Ленинград, или как он был владельцем легковой машины Мерседес-Бенц. Общение с САК для нас, студентов, всегда было интересным и приятным и в аудитории, и за ее стенами. От него мы впервые слышали имена многих выдающихся астрономов, как отечественных, так и зарубежных. Помнится, однажды он пришел на лекцию с опозданием, чем-то расстроенный. Он не мог начать лекцию, не рассказав нам о постигшей его неудаче. Оказывается, он написал и полностью подготовил к печати, как он выразился, очень красивую изящную работу о функции светимости молодых звезд. Но идя на лекцию, он заглянул в библиотеку и увидел на выставке свежий номер АЖ. Раскрыл его, а в нем буквально на первых страницах — статья В.А. Амбарцумяна с таким же названием и выкладками, как и у него. Разумеется, расстроиться было из-за чего. Мы еще не знали, кто такой Амбарцумян и какую роль он играет в советской астрофизике, и утешить САК не могли, но он это сделал сам, сказав следующее: “Единственное, что меня радует, так это то, что я оказался такой же умный, как и Амбарцумян.”

Впервые научный доклад САК перед большой аудиторией мне довелось услышать в 1953 году. В большой геологической аудитории шла конференция, посвященная космогонической гипотезе О.Ю. Шмидта о происхождении Солнечной системы. Основной доклад о роли и значении гипотезы Шмидта для советской науки делал директор обсерватории В.Е. Степанов. О физической сути гипотезы рассказал САК в своем докладе. Когда же он перешел к рассмотрению тех вопросов, на которые гипотеза Шмидта либо не давала ответа, либо давала не такой, как следует из наблюдений, ректор университета Е.К. Лазаренко фактически не дал закончить доклад своей репликой: “Верна гипотеза Шмидта или не верна, не столь важно, важно, что это наша советская гипотеза”. САК только улыбнулся, и на этом его доклад был закончен. Простота и ясность изложения мысли, умение наглядно преподнести физический смысл явления слушателям были характерной чертой докладов

САК, как и всех его книг. Помнится, как на одной из конференций, посвященной внутреннему строению звезд, проходившей в ГАИШ'е, САК буквально в нескольких фразах изложил суть эволюции звезд по Хаяши.

На IV курсе в 1953 г. САК нам рассказал о Крымской обсерватории в Симеизе на горе Кошка, о СБП и академике Г.А. Шайне. Его дружба с СБП, вероятно, началась намного раньше. Об этом можно судить хотя бы потому, что все темы наших курсовых и дипломных работ, которые САК дал нам в 1952 г., относились к межзвездной среде. Уже в то время его научные интересы были полностью направлены на межзвездную среду: он исследовал турбулентные движения межзвездного газа. Можно только предположить, что интерес САК к межзвездной среде (и это после успешной защиты кандидатской диссертации по белым карликам и теории вырожденного газа!) был результатом тесной дружбы с СБП. Благодаря САК и СБП, мы, трое выпускников Львовского университета (Гопасюк Степан Ильич, Цап Теодор Теодорович и я), получили направление в Крымскую обсерваторию. Пока СБП работал в Крыму, САК каждый год летом приезжал в Симеиз, и их вдвоем часто можно было видеть в обсерватории на скамейке под деревом перед входом в библиотеку. После переезда СБП в Москву (ГАИШ) САК перестал посещать обсерваторию в Симеизе. Вскоре все научные сотрудники переехали в новую обсерваторию, построенную в горах вблизи Бахчисарая, в поселок, который получил название Научный. САК редко посещал обсерваторию в Научном, хотя здесь работало много его друзей и учеников. Причину такого поведения он не объяснял, но догадаться было несложно. У САК не было врагов, его чрезвычайно добрый характер не позволял их иметь. Но у него были недруги, к ним относился и директор КрАО А.Б. Северный. Нам об этом стало известно еще в 1955 г. во время открытия обсерватории, когда выяснилось, что САК не получил официального приглашения на конференцию, приуроченную к открытию обсерватории в п. Научный, в которой принимали участие и зарубежные астрономы. Тем не менее, на конференции САК присутствовал, но как частный гость. Следует подчеркнуть, что ни СБП, ни Г.А. Шайн не могли уговорить властного директора послать САК официальное приглашение. Не зря в стихотворном отчете об этой конференции академик Г.С. Ландсберг в шутливой форме пишет: "...там Северный царит над краем южным...". Но уж совсем серьезно и очень правдиво звучит концовка этого отчета: "...и только Шайн nicht scheint aber ist. Вот мой отчет. Ваш друг спектроскопист Ландсберг".

Может быть потому, что САК появлялся в Научном крайне редко, каждая встреча с ним, будь то на симпозиуме, конференции или на школах для молодых астрономов, для нас всегда была радостью. Таких встреч было много, чаще всего встречались в Бюракане или в Москве, в Таллинне, Риге, Тбилиси. Одна такая встреча мне особенно запомнилась. Это было в Крыму под Карадагом, после конференции в Баку. В конце конференции выяснилось, что мы вдвоем с Р.Е. Гершбергом летим в Крым одним рейсом с САК, который запланировал посетить станцию НИРФИ под Карадагом. Хотя самолет в Симферополь прилетел не очень поздно, было видно, что до отхода последнего автобуса в обсерваторию нам не успеть. И тогда САК предложил нам поехать вместе с ним на радиоастрономическую станцию, на что мы с радостью согласились, тем более, что мы там ни разу не были. На станцию прибыли еще засветло. Устроились в просторной палатке, поужинали в столовой, САК провел для нас небольшую экскурсию (посмотрели искусственную радиолуну) и когда пришли к морю искупаться, было уже совсем темно. Несмотря на начало сентября, вода была исключительно теплой и абсолютно спокойной. Мы с Р.Е. искупались и минут через 10 уже сидели на берегу и ждали САК, который поплыл далеко в море. Ждать пришлось долго, минут 40 или 45. Наконец послышался всплеск и вскоре на берег вышел счастливый САК. На наше замечание о том, что он нас изрядно напугал, заставив так долго ждать, САК ответил: "...вы же знаете, я очень люблю плавать и могу заплывать далеко от берега, правда, боюсь, что когда-нибудь руки меня подведут, и тогда трагедии не миновать". Но судьба готовила ему иную трагедию.

Я не знаю подробностей трагической гибели САК. Вины ли в этом были его руки или же это случайное роковое стечение обстоятельств. Известно только, что он возвращался из Ленинграда, полный радости и надежды на то, что будет работать в родном Ленинградском университете.

САК никогда не был на международных конференциях вне Советского Союза и никогда не жаловался на то, что его туда не пускают, но международное признание его работ было широким. В этом мы могли убедиться на симпозиуме по космической газодинамике в Мисхоре (Крым, сентябрь 1969 г.). На этом симпозиуме заметная роль принадлежала СБП и САК. Они были фактическими организаторами симпозиума, по их предложению его работа была организована так, что свободные дискуссии занимали гораздо большее время, чем подготовленные доклады. Во время симпозиума САК активно обсуждал с зарубежными учеными проблемы турбулентности межзвездного газа и возможные

наблюдательные проявления такой турбулентности. Ему вместе с Паркером (США) и ван Вурденем (Нидерланды) было поручено подвести итоги симпозиума. Тогда особенно ярко проявилось его стремление привлечь физиков-теоретиков, специалистов по магнитной газодинамике к астрофизическим исследованиям.

...

В 1956 году на похоронах Г.А. Шайна в Голубом заливе, что возле Симеизской обсерватории (Шайн просил, чтобы его похоронили там) зам. директора обсерватории П.П. Добронравин произнес такие слова: “Кто знал его, кому довелось с ним работать, пусть помнит его таким, каким он был, а кто не знал, пусть поверит, что это был прекрасной души человек, талантливый ученый, и пусть вместе с нами склонит голову перед его памятью”.

Эти слова в полной мере относятся и к последователям Г.А. Шайна, какими были СБП, САК и ИСШ.

И.А. Климишин (ПУ), А.А. Логвиненко (ЛНУ)

Научная деятельность С.А. Каплана во Львовском университете (1948-1961 гг.)

Дается краткий обзор научной, педагогической и организационной деятельности С.А. Каплана во Львовском университете с 1948 по 1961 гг. С именем САК на астрономической обсерватории Львовского университета связано начало работ по теоретической астрофизике. Исследования, выполненные САК за 13 лет его работы во Львовском университете, относились к актуальным проблемам теоретической астрофизики. Характеризуя его научный вклад, во многих случаях можно сказать слово “впервые”. Например, в 1949 г. им поставлена и решена задача об устойчивости круговых орбит в гравитационном поле релятивистских объектов — в поле Шварцшильда [1].

Внутреннее строение звезд

Хронологически первыми работами САК по теоретической астрофизике были его исследования структуры и источников энергии звезд — белых карликов. На основании решения уравнений гидростатического равновесия в гравитационном поле Эйнштейна им установлена, в частности, максимально возможная плотность электронно-вырожденной статической конфигурации и соответствующая ей максимальная масса; было показано, что наиболее вероятным источником энергии, высвечиваемой

белыми карликами, может быть их охлаждение, т.е. медленное уменьшение тепловой энергии атомных ядер. Время высвечивания (охлаждения) белых карликов оценено в $10^8 - 10^{10}$ лет [2-5].

Перенос лучистой энергии в атмосфере звезд и в межзвездной среде

На основании точных методов теории рассеивания света в мутных средах, развитых В.А. Амбарцумяном и В.В. Соболевым, была решена задача о количестве энергии, которая рассеивается в заданном направлении плоской туманностью бесконечной оптической толщины при освещении ее одной или несколькими звездами [6]. Задача о рассеивании и поглощении излучения звезды в сферически-симметричной туманности рассмотрена как для конечной, так и для бесконечной оптической толщины в случае сферически-симметричной индикатрисы рассеивания [7]. Развита теория нестационарного рассеивания света в среде с движущейся границей, в частности, сформулированы интегральные уравнения для определения вероятности выхода кванта с определенной оптической глубины в заданный момент времени в зависимости от направления движения границы рассеивающей среды. Написаны также интегральные и дифференциальные уравнения и их решения для функций, которые определяют вероятность выхода кванта из среды вообще и среднее время пребывания кванта в поглощенном состоянии [8-10].

Физическое состояние межзвездного газа

Для исследования физического состояния межзвездной среды (динамика материи, температура, степень ионизации и др.) были выполнены расчеты распределения энергии суммарного излучения звезд как по спектру, так и по небесной сфере для областей межзвездного пространства вблизи галактической плоскости в окрестности Солнца; разработан элементарный метод определения физических характеристик космической пыли (коэффициента преломления, альбедо, индикатрисы рассеивания, функции распределения частиц по их радиусам и др.); рассмотрена задача о конденсации межзвездного газа на частицах космической пыли, сделан вывод, что рост пылеобразующих частиц в облаках, которые размещены в областях ионизированного водорода, практически не происходит [11, 12].

Были изучены условия возбуждения и высвечивания атомов межзвездного водорода под действием электронных ударов, сделан вывод, что свечение межзвездного водорода, возбужденное электронными уда-

рами, может происходить только в условиях постоянного нагрева среды, к примеру, турбулентностью [13]. На основании спектрографических исследований Адамса (каталог спектров 300 горячих звезд) теоретически получена функция распределения лучевых скоростей межзвездных газовых облаков и зависимость интенсивности линии поглощения от скорости движения облака, что хорошо согласуется с данными наблюдений.

Рассмотрена задача об ускорении космических лучей в газомангнитных турбулентных полях. Сформулированы основные уравнения турбулентности в сжимаемой среде в присутствии магнитного поля, подтвержден турбулентный характер движения межзвездного газа на основании анализа скоростей газовых облаков [14-19].

Вопросы космической газодинамики

Рассмотрены физические свойства ударных волн в звездных оболочках с учетом в первую очередь их взаимодействия с излучением. Записана формула адиабаты Гюгоньо для ударной волны, которая движется в смеси газ-излучение. Рассмотрена возможность существования рекомбинационных волн, которые движутся за счет рекомбинации ионов внутри фронта волны. Показана принципиальная возможность отделения с небольшой скоростью (50 км/сек) внешней части оболочки звезды-красного гиганта при прохождении через нее слабой ударной волны. Задача представляет интерес с точки зрения возможности образования таким образом планетарных туманностей. Проведен анализ влияния высвечивания на параметры ударной волны в звездной оболочке при выходе ударной волны на поверхность звезды. Исследованы некоторые свойства ударных волн в вырожденном газе, рассмотрено также влияние магнитного поля на параметры ударной волны в вырожденном газе [20]. Выполнен анализ возможности зарождения ударных волн в звездах, показано, что при увеличении давления в недрах на определенной глубине бегущая волна, возникающая при этом, переходит в ударную уже при распространении ее в те слои, где плотность в два раза меньше начальной [21]. Отдельный цикл исследований, выполненный САК в 1956-1957 гг., посвящен ударным волнам в межзвездном пространстве. Изучена структура ударных волн и найдены скачки параметров, характеризующих движение газа через разрывы в межзвездном пространстве с учетом излучения в запрещенных линиях, которое свободно выходит из областей, охваченных движением. Показано, в частности, что высвечивание газа за фронтом волны приводит к возрастанию плотности за фронтом в десятки и сотни раз. Вследствие этого и могут возникать очень большие флуктуации плотности, которые наблюдаются в межзвездном

пространстве. Методом автомодельных задач рассмотрено движение в межзвездном пространстве оболочки Новой (Сверхновой), сброшенной при взрыве. Показано, что относительная толщина слоя межзвездного газа, захваченного движением оболочки, составляет всего порядка одной сотой ее радиуса. Получены выражения для скачков параметров межзвездного газа при его протекании через границу, которая разделяет области ионизированного и неионизированного водорода. Рассмотрена также возможность образования разрывов в межзвездных магнитных полях, связанных с ударными волнами. В условиях межзвездного пространства магнитное поле сильно уменьшает сжимаемость газа, влияя тем самым на возможность образования газовых облаков. В этом случае все параметры ионизационного скачка определяются напряженностью магнитного поля [22-24].

Вопросы космогонии и космологии

Выполнен анализ ряда космогонических гипотез, которые в той или иной мере базируются на методах и результатах магнитной гидродинамики. Рассмотрены вопросы: о связи спиральных рукавов с регулярным магнитным полем; о возможности существования межзвездных газовых облаков как отдельных выходов межзвездной газодинамической турбулентности; об образовании газовой короны Галактики благодаря магнитному давлению и давлению космических лучей на намагниченный межзвездный газ; об образовании волокнистых туманностей из-за возможной неустойчивости газоманнитных ударных волн; об образовании магнитных полей звезд при их конденсации; об ускорении частиц космических лучей в газоманнитной среде и др [25]. Проведено исследование космологической модели анизотропного пространства, которое вращается с постоянной по всему пространству, но переменной во времени кривизной [26]. Обнаружено, что в такой модели появляются систематические скорости, неодинаковые по величине в различных точках пространства, которые приводят к изменению наблюдаемого закона красного смещения.

Оптические наблюдения ИСЗ

САК в 1957-1958 гг. проделал большую научно-методическую работу по организации оптических наблюдений ИСЗ. Уже в июле 1957 г. он вместе с И.С. Астаповичем руководит курсами по подготовке наблюдателей искусственных спутников Земли, в сентябре — организовывает станцию визуальных наблюдений ИСЗ при Львовском университете, руководит

ею и принимает непосредственное участие в наблюдениях первых двух ИСЗ. В это же время он пишет совместно с И.С. Астаповичем книгу “Визуальные наблюдения искусственных спутников Земли” (Гостехиздат, 1957, 83 стр.), переведенную в 1959 г. на китайский язык, и популярную брошюру “Как увидеть, услышать и сфотографировать искусственные спутники Земли” (М., Физматгиз, 1958, 80 стр.), которая в следующем году была переведена на чешский язык; выполняет ряд работ по теории движения спутников [27, 28]. Интерес к освоению Космоса у него не ослабевает на протяжении всей его жизни.

Нельзя не отметить прекрасную черту САК — его умение привлекать к научной работе студентов. Во многих публикациях рядом с его фамилией стояла фамилия студента, который принимал участие в решение той или иной задачи. Вот, в частности, фамилии тех студентов Львовского университета, кто в дальнейшем работал в астрономии: В.И. Проник, Т.Т. Цап, И.С. Гопасюк, И.А. Климишин, А.А. Логвиненко, Т.С. Подстригач.

САК принимал активное участие в организации и руководстве экспедицией для наблюдения солнечного затмения (Казахстан, 1952 г.); неоднократно был участником экспедиций на разоренную войной обсерваторию (Карпаты, гора Пип Иван) и приверженцем ее восстановления; с его именем связан выбор места, изыскание средств и начало строительства наблюдательной базы астрономической обсерватории Львовского университета.

САК был прекрасным педагогом, написанным им курсом лекций по электродинамике и поныне пользуются студенты физического факультета университета. Его простота, общительность, неподдельный демократизм, уважение к собеседнику (хотя бы это всего лишь вчерашний десятиклассник) буквально завораживали молодежь, влекли к нему, становились образцом для подражания.

Итог научной деятельности САК во Львовском университете — около 80 научных публикаций, из них — 3 монографии.

Литература

1. С.А. Каплан. О круговых орбитах в теории тяготения Эйнштейна // ЖЭТФ, №10, с. 951, 1949.
2. С.А. Каплан. Охлаждение белых карликов. // Астр.Ж., т.27, №1, с. 31, 1950.
3. С.А. Каплан. Источники энергии и эволюция белых карликов. // Ученые записки Львовского университета, т. 15, №4, с.101, 1949.

4. С.А. Каплан. “Сверхплотные” звезды. // Ученые записки Львовского университета, т.15, №4, с.111, 1949.
5. С.А. Каплан, И.А. Климишин. О предельной плотности белых карликов. // Цирк. Львов. Астрон. Обсерв., №27, с.17, 1953.
6. С.А. Каплан. Отражение света пылевыми туманностями. // А.Ж., т.29, №3, с.326, 1952.
7. С.А. Каплан, И.А. Климишин. Рассеивание света в сферических туманностях. // Цирк. Львов. Астрон. Обсерв., №27, с.11, 1953.
8. С.А. Каплан, И.А. Климишин, В.Н. Сиверс. Теория рассеивания света в среде с движущейся границей. // А.Ж., т.37, №1, с.9, 1960.
9. С.А. Каплан, В.Н. Сиверс. Общая задача о рассеивании света в одномерной среде с движущейся границей. // А.Ж., т.37, №5, с.824, 1960
10. С.А. Каплан. О теории рассеивания света в нестационарной среде. // А.Ж., т.39, №4, с.702, 1962.
11. С.А. Каплан. Энергия суммарного излучения звезд. // А.Ж., т.29, №6, с.649, 1952.
12. С.А. Каплан. Элементарный метод определения физических характеристик космической пыли. // Цирк. Львов. Астрон. Обсерв., №23, с.1, 1952.
13. С.А. Каплан, С.И. Гопасюк. Возбуждение свечения межзвездного водорода электронными ударами. // Цирк. Львов. Астрон. Обсерв., №25, с.5, 1953.
14. С.А. Каплан. О возможности наблюдательной проверки гипотезы о турбулентном характере движения межзвездного газа. // Цирк. Львов. Астрон. Обсерв., №23, с.1, 1952.
15. С.А. Каплан, В.И. Проник. К вопросу о турбулентности межзвездного газа. // Цирк. Львов. Астрон. Обсерв., №24, с.1, 1952.
16. С.А. Каплан. Функция распределения скоростей турбулентного движения межзвездного газа. // А.Ж., т.31, №2, с.137, 1954.

17. С.А. Каплан. О спектральной функции изотропной турбулентности в сжимаемом газе. // Цирк. Львов. Астрон. Обсерв., №25, с.1, 1953.
18. С.А. Каплан. Теория статистического ускорения заряженных частиц изотропными магнитными полями. // Цирк. Львов. Астрон. Обсерв., №33, с.6, 1957.
19. С.А. Каплан, В.И. Проник. К вопросу о турбулентном характере движения межзвездных газовых облаков. // Доклады АН СССР, т.89, №4, с.643, 1953.
20. С.А. Каплан, И.А. Климишин. Ударные волны в оболочках звезд. // А.Ж., т.36, №3, с.410, 1959.
21. С.А. Каплан. Простые волны и образование ударных волн в звездах. // Цирк. Львов. Астрон. Обсерв., №37-38, с.3, 1962.
22. С.А. Каплан. Ударные волны в межзвездном пространстве. I. // А.Ж., т.33, №5, с.646, 1956.
23. С.А. Каплан. Ударные волны в межзвездном пространстве. II. // А.Ж., т.34, №2, с.183, 1957.
24. С.А. Каплан. Ударные волны в межзвездном пространстве. III. // А.Ж., т.34, №3, с.646, 1957.
25. С.А. Каплан. Магнитная газодинамика и вопросы космогонии. // Вопросы философии, №6, с.238, 1958.
26. С.А. Каплан. Модель “вращающегося” пространства постоянной кривизны. // Цирк. Львов. Астрон. Обсерв., №37-38, с.9, 1962.
27. С.А. Каплан. Уравнения движения искусственных спутников Земли и контроль их наблюдений. // Астрон.Цирк. АН СССР, №189, 1958.
28. С.А. Каплан. Метод приближенного вычисления эфемерид искусственных спутников Земли и определение их орбит. // Астрон. Цирк. АН СССР, №192, 1958.

А.А. Логвиненко (ЛНУ)

О С.А. Каплане

В июне месяце 1996 года раздался телефонный звонок: звонил академик Н.С. Кардашев и предложил мне и И.А. Климишину выступить на этой конференции с докладом о научной деятельности С.А. Каплана во Львовском университете. Зная, что будут трудности с поездкой, все же отказать Николаю Семеновичу не смог по двум причинам: во-первых, о нем, как прекрасном человеке и ученом, я знал из уст самого С.А. Каплана, во-вторых, считаю, что рассказать о деятельности Самуила Ароновича — мой долг.

Я много думал, что же мне делать и как поступить. Знал, что Иван Антонович не сможет приехать, но еще раньше он сделал хороший обзор тех работ, которые были выполнены С.А. Капланом во время его работы во Львовском университете. Мы вместе доработали и дополнили этот обзор. Но по программе конференции желательно, чтобы я выступил с воспоминаниями. Решил: пусть наш обзор идет отдельно, а я немного скажу от себя.

С.А. Каплан переступил порог Львовской обсерватории на 27-м году жизни и возглавил отдел теоретической астрофизики. И так вышло, что бюрократическая машина сработала ровно в тот момент. Была проведена реорганизация обсерватории — вместо отдела небесной механики (Е.М. Еленевская уехала в Московский университет) организовали отдел теоретической астрофизики. Что же это был за отдел? Это был С.А. Каплан и студенты. Вот и все. Я могу назвать вам имена тех, которые связали свою работу с астрономией, публиковались с С.А. Капланом даже в “Докладах Академии Наук” или в “Астрономическом журнале”, или в других солидных научных изданиях: Проник, Цап, Гопасюк, Климишин, Подстригач и я. Еще большее число, получив от С.А. Каплана вкус к научной работе, продолжают успешно трудиться в области физики и других смежных науках. Поразительно было его умение отыскивать способных студентов и прививать любовь к научной работе!

С.А. Каплан проработал два года заведующим отделом астрофизики, и опять же внезапно отдела не стало — притом, также распоряжением сверху: появился отдел физики звезд. Параллельно он два года выполняет функции заместителя директора обсерватории по научной работе. Старшее поколение помнит, что 1949 год стал губительным для всех университетских обсерваторий: их приравнивали к рангу метеостанций (это, по-моему, не затронуло ГАИШ) и зарплата старшего научного сотрудника обсерватории стала в три раза меньшей, чем зарплата

доцента. С.А. Каплан переходит на должность доцента кафедры теоретической физики, а после защиты в стенах Московского университета (1957 г.) докторской диссертации становится профессором этой кафедры. Но его научная работа всегда была связана с астрофизикой и с астрономической обсерваторией. Надо знать эти разделы, чтобы понять, насколько глубоко и широко вспахивал С.А. Каплан “ниву астрофизики”. Причем другие подравнивались под этого человека, а он “служил на батарее”. Я только перечислю те разделы теоретической астрофизики, в которых научный вклад С.А. Каплана во многих случаях можно характеризовать словом “впервые” — здесь уже говорилось о внутреннем строении звезд, дальше — перенос излучения в атмосферах звезд и в межзвездной среде, физическое состояние межзвездного газа, вопросы космической газодинамики, вопросы космогонии и космологии.

Скажу о С.А. Каплане с точки зрения студента. Познакомился я с ним на третьем курсе, когда он возглавлял выезд студентов физического факультета на сбор урожая в Кировоградскую область (1956 г.). Выделялся он из всех преподавателей, которые работали с нами, тем, что никогда не повышал голоса на студентов. Он много знал, много разговаривал с нами. Он рассказывал, как он сдавал, как он учился. Два года, будучи студентом 4-5 курса, я писал под его руководством курсовую и дипломную работы, сдавал ему спецкурс по теории поля — не было у нас астрофизики. И могу сказать, что экзамен каждого студента длился минимально 45 минут, максимально — 2 часа. Сдал ему экзамен, стояла пятерка в зачетке, и еще ровно час ушел на разговоры по вопросам, которые были в моем билете. Двоек он не ставил, знал, что без стипендии нам в те годы выжить было невозможно.

Читал он много общих курсов и спецкурсов: теоретическую механику, статистическую физику, электродинамику, механику сплошных сред, теорию излучения, теорию относительности. На экзаменах выбирал лучший конспект и по нему подготавливал и издавал (на ротапринте) пособие для студентов. Каждая его лекция была оригинальной, на доске он творил, но изложение было доступным, можно было все законспектировать. Как-то на его лекцию с проверкой пожаловала “первая дама” — секретарь парткома университета (Самуил Аронович был беспартийным, а по мнению парткома еще и политически неблагонадежным, да и морально неустойчивым). Лекция была прекрасной. На второй половине проверяющей уже не было, и продолжение лекции началось с таких слов: “Я допустил ошибку, но исправить ее у меня не было возможности. Ей моя ошибка не навредит, а вы все перечеркните и начнем сначала”. И опять это было творчество на доске.

Уже когда он работал по совместительству в Горьковском университете, ему довелось там читать курс общей физики на младших курсах. Запомнились его слова: “Я сколько всего перечитал, но никогда не думал, что так сложно читать общую физику. Я теряю много времени на подготовку к лекциям. Хочу изложить все доступно и оригинально, не так как это излагается в известных тебе пособиях (аналогичный курс я читал тогда на биологическом факультете), мечтаю позже издать курс своих лекций”. Не знаю, осуществилась ли его мечта.

О работоспособности. Это было что-то невероятное. Вот еще одна страничка — так сказать, шестой раздел. С.А. Каплан и И.С. Астапович, еще в июне 1957 г. в Ферюзе проводили первые курсы наблюдателей ИСЗ, а спутников еще не было. В августе он организует станцию оптических наблюдений в нашем университете и становится ее руководителем. Наступило 4 октября 1957 года. В 23 часа раздался голос Левитана, который сообщил о запуске первого в мире ИСЗ. На второй день еще до занятий первая группа энтузиастов уже была на станции вместе с Капланом. Притащили коротковолновый приемник, заработал магнитофон, записывая сигналы спутника. На чердаке факультета нашли громадный глобус, начали думать, как на нем моделировать движение спутника и вычислять его эфемериды. Нашли большой электросекундомер, приладили к нему импульсную лампу-вспышку, чтобы повысить точность регистрации времени. Придумали способ проявления магнитной ленты ферромагнитным порошком, что опять же позволило исключить использование секундомеров при визуальных наблюдениях и повышало точность регистрации времени. Начали фотографировать спутники. Фотография ракеты-носителя первого спутника была получена уже 24 октября. И большую часть времени от нас студентов не отходил Самуил Аронович, ни днем, ни ночью, пока телеграмма не была отправлена в “Космос”. Прямо со станции мы шли на лекции, он — читать, мы — слушать. А сколько ему в это время приходилось читать популярных лекций о достижениях СССР в освоении космоса. И в это же время, он пишет солидную книгу “Визуальные наблюдения искусственных спутников Земли”, потом еще и популярную. Первая была на следующий год переведена на китайский язык, популярная брошюра была вскоре переиздана в Чехословакии. В то же время им была подготовлена монография “Введение в магнитную газодинамику” (вместе с Н.Ф. Баумом и К.П. Станюковичем), изданная в 1957 г. и впоследствии переведенная на английский язык. Вот такова была его работоспособность. Скажу просто: я был студентом 4 курса, когда он подарил мне эту книжку и надписал своим почерком немножко влево согнутым: “Физике плазмы

принадлежит большое будущее. Помни это. Каплан”. И сказал: “Вот в этой книжке есть твоя курсовая и объединенная кандидатская и докторская. Читай, через неделю в 7 часов утра — ко мне”.

А где же он жил? Была большая комната в университетском доме. Жил там известный профессор-филолог Чичерин, тогдашний и будущий деканы физического факультета и С.А. Каплан. Вот такая была знаменитая коммуналка. У С.А. Каплана стояла койка — не с панцирной сеткой, а с такой крупной клеткой старого образца. Старый, еще австрийский стул, покрытый уже дырявой кожей, радиоприемник, настроенный на Би-би-си (так он совершенствовал английский язык и делился новостями, которые не были нам доступны), две машинки “Optima” — одна с латинским шрифтом, другая — с российским. Он статьи печатал, вписывая “от руки” формулы тут же на каретке машинки. На столе — горы оттисков статей. И в 7 часов утра каждую среду я должен был приходить туда докладывать, что сделано за неделю. А он уже сидел за машинкой.

При этом С.А. Каплан находил время, чтобы изучить архитектуру и достопримечательности Львова и его окраин. Два года в 8 часов утра, два раза в неделю, мы ходили (он — при галстукe) плавать в бассейне. Он даже “испытал себя” в прыжках с 5-метровой вышки. Любил Карпаты. Трижды участвовал в экспедициях на разрушенную войной, а вернее разворованную в послевоенные годы, обсерваторию на горе Пип Иван, был активным сторонником ее восстановления. В одной из таких экспедиций в конце сентября 1959 года мне посчастливилось участвовать и вволю поговорить с С.А. Капаном. И тут он был “при галстукe”. Подъем на вершину с Бангофа, куда мы добрались на “газоне”, происходил при проливном дожде, перешедшем в мокрый снег, а затем в настоящую метель. Пропала видимость. Замерзла одежда. Начали поступать предложения вернуться, пока не замело наши следы. Но С.А. Каплан упорно шел вперед. И цель была достигнута.

Благодаря усилиям С.А. Каплана (он лично ездил в Совет Министров выбивать деньги) была построена загородная станция астрономической обсерватории в Брюховичах. Да и место под ее строительство было выбрано им же.

Каплан любил рассуждать на различные темы (политика, освоение космоса, будущее нашей цивилизации, связь с другими мирами). Мыслил глобальными категориями. Некоторые его прогнозы сбылись, некоторые не сбылись. Когда к власти пришел Фидель Кастро, Каплан был убежден, что он не продержится и года (не сбылось), что Хрущев “попрет” туда баллистические ракеты с ядерными боеголовками (сбылось,

к несчастью, но ненадолго).

Возвращаясь с экспедиции на обсерваторию, о которой я уже рассказывал, мы остановились в Сколе. Разминая затекшие ноги, набрали на разрушенное старое еврейское кладбище. Не буду рассказывать о всем, что мы там говорили, но именно там он произнес фразу: “Из тебя, Саша, никогда не выйдет знаменитый ученый. У тебя есть все: ум, талант, работоспособность. Но нет главного, что делает людей великими — самолюбия. Но уважать и любить себя надо не за счет других”. Этот его прогноз полностью сбылся.

Почему С.А. Каплан покинул Львов — город, который ему нравился, университет, где его любили, ценили и уважали студенты и преподаватели? Его растоптала партийно-бюрократическая система, которая на периферии всегда блистала звездой первой величины.

Благодарю за терпение, извините за неполноту изложения моих воспоминаний.

Рисунки И.С. Шкловского





II SETI

Л.М. Гиндилис (ГАИШ МГУ)

SETI: Шкловский, Каплан и Пикельнер

Мой доклад носит промежуточный характер между мемориальной и научной частью конференции. Я хотел рассказать о взглядах и о вкладе в проблему SETI всех троих астрофизиков, которым посвящена наша конференция. И хотя вклад их различен, факт состоит в том, что ни один из них не обошел эту проблему. Вклад И.С. Шкловского в становление и развитие проблемы SETI общеизвестен, вклад С.А. Каплана менее известен, а вклад С.Б. Пикельнера — почти совсем не известен. Я постараюсь восполнить этот пробел. Но начну все же со Шкловского.

И.С. Шкловский — патриарх SETI

В многогранной научной деятельности Шкловского проблема жизни и разума во Вселенной занимала значительное место. Думаю, что по складу своего характера Шкловский просто не мог оказаться в стороне от этой проблемы. С нею связана и одна из драматических страниц его творческой жизни.

В конце 50-х годов Шкловский обратил внимание на возможное влияние вспышек сверхновых звезд на эволюцию жизни на Земле. В то время он очень активно занимался изучением природы сверхновых и их связи с проблемой происхождения космических лучей. Он, в частности, показал, что при каждой вспышке сверхновой образуются релятивистские частицы с энергией $\sim 10^{48}$ эрг. Для оценки эффективности этого процесса надо было знать частоту вспышек сверхновых в Галактике. Как раз к этому времени относится увлечение Шкловского историческими хрониками, в которых упоминается о вспышках сверхновых. Привлекая эти данные, ему удалось почти на порядок повысить принятую ранее частоту вспышек. Естественно возникал вопрос: а что будет, если сверхновая вспыхнет в близких окрестностях Солнечной системы? Шкловский рассчитал интенсивность жесткого излучения на Земле при такой близкой вспышке; оказалось, что она достаточно велика и может служить мощным мутагенным фактором. Тогда и возникла идея о влиянии вспышек сверхновых на эволюцию жизни на Земле.

По существу, это была революционная идея, утверждающая, что жизнь на Земле тесно связана с условиями далекого Космоса, а не только с условиями нашей планеты или даже всей Солнечной системы, то есть планетарная жизнь является фактором космического порядка. В настоящее время влияние сверхновых на происхождение и эволюцию жизни на Земле интенсивно обсуждается в научной литературе.

Опираясь на эти идеи, Шкловский совместно с Валерианом Ивановичем Красовским в конце 50-х годов выдвинули гипотезу о том, что внезапная гибель динозавров могла быть связана со вспышкой Сверхновой. Астрономы старшего и среднего поколения помнят переполненный конференц-зал ГАИШ, когда Шкловский докладывал об этой гипотезе. Люди стояли в проходах, в дверях, в фойе. (Впрочем, на докладах Шкловского это случалось не так уж редко.) Незадолго до этого у нас была реабилитирована генетика. На семинар пришли видные советские генетики. Впервые после длительного молчания они имели возможность выступить в научной дискуссии. Были продемонстрированы фотографии и другие материалы, убедительно свидетельствующие о пагубном влиянии интенсивного жесткого излучения на наследственность живых организмов, в том числе человека. В связи с этим прозвучали предостережения против применения и испытания ядерного оружия.

Приблизительно в то же время, в 1958 г. Шкловский выдвигает гипотезу об искусственном происхождении спутников Марса. Впоследствии он признал её несостоятельной, но в то время он очень увлекался этой идеей и, естественно, с большим вниманием следил за литературой по проблемам, связанным с разумной жизнью во Вселенной. Поэтому, когда в *Nature* появилась статья Дж.Коккони и Ф.Моррисона о межзвездной радиосвязи [1], Шкловский моментально откликнулся на неё публикацией в журнале “Природа” большой проблемной статьи “Возможна ли связь с разумными существами других планет?” [2]. Эта статья позже вошла в сборник “*Interstellar Communication*”, вышедший в 1963 г. в Нью-Йорке под редакцией А.Камерона [3]. В русском издании (“Межзвездная связь”, М.: Мир, 1965) эта статья опущена. Насколько можно судить, она легла в основу знаменитой книги Шкловского “Вселенная, жизнь, разум” [4], первое издание которой появилось в 1962 г., спустя 2 года после публикации в “Природе”.

Книга Шкловского сыграла очень важную — можно сказать выдающуюся — роль в постановке и обосновании проблемы SETI. Она сразу же привлекла внимание самых широких кругов и самых различных категорий читателей. Высокую оценку ей дал тогдашний президент Академии наук СССР Мстислав Всеволодович Келдыш. Ею зачитывались студенты, писатели, ученые. При жизни Шкловского книга выдержала 5 изданий. Последнее, шестое издание вышло в 1987 году, уже после его ухода из жизни. В приложении к этому изданию приводятся очень яркие воспоминания Шкловского о создании этой книги. Она переведена на несколько языков и издана во многих странах.

Особого упоминания заслуживает история ее издания в США. За ор-

ганизацию издания взялся Карл Саган. Получив его предложение о переводе книги, Шкловский попросил Сагана, как биолога, сделать добавления по биологии. Саган принял эту просьбу — как пишет Шкловский — “весьма расширительно” [5]. Он сделал обширные добавления (и не только по биологии), снабдил её новыми прекрасными иллюстрациями. В результате, книга вдвое увеличилась в объеме и вышла под двумя фамилиями: Шкловского и Сагана [6]. При этом текст Шкловского не менялся, а добавления, сделанные Саганом отмечены особыми значками. История этого издания, естественно, несколько по-разному описана обоими авторами [5,7]. Как бы там ни было, книга получилась хорошая; жаль, что она неизвестна русскоязычному читателю.

Те, кто знал Шкловского, помнят, что он всегда живо обсуждал научные проблемы со своими учениками и коллегами. Он умел увлекать идеями и заражать энтузиазмом. Так произошло и с проблемой SETI. В 1964 г. в “Астрономическом журнале” была опубликована работа Н.С. Кардашева “О передаче информации внеземными цивилизациями” [8], в которой было показано, что современные радиоастрономические средства позволяют принять сигналы от высокоразвитых внеземных цивилизаций, где бы они не находились в пределах Галактики, или даже в соседних галактиках. Были сформулированы критерии искусственных радиоисточников и намечены некоторые направления исследований. На повестку дня встал вопрос об организации систематических поисков радиосигналов ВЦ. Планы были самые грандиозные. Я уже писал в [9], что выдвигалась задача создания крупного института, занимающегося поисками внеземных цивилизаций. Некоторое время Шкловский наблюдал за всей этой деятельностью, проходившей в его отделе, как бы со стороны и несколько иронически. Но настал момент, когда надо было занять определенную позицию. И здесь Шкловский, несмотря на то, что он был человек увлекающийся, и вопреки своему темпераменту, проявил разумную осторожность и здравый смысл. Он решил посоветоваться с Виктором Амазасповичем Амбарцумяном. Этот шаг не был столь простым и естественным, как это может показаться с первого взгляда: известно, что отношения между крупнейшими астрофизиками нашего времени были далеко не безоблачными, и от Шкловского требовалось известное мужество, чтобы решиться на этот шаг. В своих воспоминаниях [5] он описывает, как он и Кардашев встречались с Амбарцумяном. Виктор Амазаспович внимательно выслушал их соображения и предложил, прежде всего, провести научное совещание для всестороннего обсуждения и оценки состояния проблемы, с тем чтобы в дальнейших шагах можно было опираться на рекомендации совещания.

Совещание было решено провести в Бюракане. Оно состоялось в мае 1964 года. Это было 1-ое Всесоюзное совещание по проблеме связи с внеземными цивилизациями. Шкловский выступил на нем с основным докладом [10] и задал тон всей дискуссии. В дальнейшем он продолжал внимательно следить за развитием исследований в области SETI, обращая особое внимание на необходимость серьезного отношения к этой проблеме.

В этой связи стоит упомянуть об истории с СТА 102. Это было в 1965 году. Согласно Кардашеву искусственный источник должен обладать малыми угловыми размерами, характерным спектральным распределением мощности с максимумом в дециметровом диапазоне (что для известных в то время источников было весьма необычно) и переменным во времени потоком радиоизлучения. Радиоисточники СТА 21 и СТА 102 удовлетворяли двум первым критериям, надо было проверить их “на переменность”. Кардашев уговорил Г.Б.Шоломицкого, проводившего наблюдения внегалактических радиоисточников на антеннах Центра Дальней Космической Связи в Евпатории, измерить радиоизлучение СТА 21 и СТА 102. Шоломицкий скептически относился к идее об их искусственном происхождении, но как хороший экспериментатор он провел измерения этих источников со всей необходимой тщательностью. Каково же было удивление, когда обнаружилось, что СТА 102 действительно обладает переменным радиоизлучением с периодом (мистическое совпадение!) в 102 дня. Переменность источника говорила в пользу гипотезы Кардашева. Сообщение об этом открытии попало в печать по каналам ТАСС и вызвало крупную сенсацию. По просьбе иностранных корреспондентов в ГАИШ была назначена пресс-конференция. В тот день, когда неожиданно разыгрались все эти события, Шкловский с утра был на совещании у Келдыша. Пришлось “извлекать” его оттуда. Эта задача выпала на мою долю, поэтому я могу свидетельствовать о его реакции. Когда такси подъехало к зданию ГАИШ, весь двор был заполнен машинами иностранных марок. Шкловского это ничуть не смутило. Мне даже показалось, что он как-то приободрился. Он спокойно поднялся в конференц-зал и “под прицелом” наведенных на него теле- и кинокамер обстоятельно разъяснил суть дела. По мнению Шкловского, обнаружение переменности СТА 102 было важным астрофизическим открытием, но не давало никаких оснований утверждать, что обнаружена внеземная цивилизация. Как известно, в дальнейшем работа Шоломицкого стимулировала тщательное исследование других подобных источников, что привело к обнаружению фундаментального факта — переменности радиоизлучения квазаров.

Сразу после Всесоюзного совещания по внеземным цивилизациям Кардашев выдвинул задачу сооружения радиотелескопа для проведения полных обзоров неба в оптимальном для межзвездной связи диапазоне волн. Этот радиотелескоп, предэскизный проект которого был разработан в отделе радиоастрономии ГАИШ, получил название РТ-МГУ. Шкловский предпринял очень энергичные шаги, чтобы добиться его сооружения. Он заручился поддержкой ректора университета Ивана Георгиевича Петровского, который очень высоко ценил Шкловского как ученого. Я не буду останавливаться на истории РТ-МГУ, об этом уже неоднократно писалось (см., например [11]), отмечу лишь, что эти усилия, в конечном итоге, увенчались сооружением радиотелескопа РАТАН-600.

В 1971 году Шкловский принял участие в организации 1-ой советско-американской конференции SETI, которая дала мощный импульс к развитию исследований по SETI во всем мире. Выступая на конференции, Шкловский выдвинул принцип *презумпции естественности* применительно к космическим источникам. Он уделял значительное внимание философским аспектам проблемы SETI, подчеркивая, что её нельзя сводить к чисто технической задаче межзвездной связи.

Все эти годы Шкловский стоял на позиции множественности цивилизаций в Галактике, считая, что возникновение разумной жизни является *закономерным* процессом. Этой позиции он придерживался и в статье “Проблема внеземных цивилизаций и её философские аспекты”, опубликованной в журнале “Вопросы философии” в 1973 г. [12]. Однако, постепенно его точка зрения по этому вопросу стала меняться. В 1975 году на Зеленчукской школе-семинаре SETI он выступил с докладом, в котором обосновывал уникальность нашей земной цивилизации. В 1976 г. его работа на эту тему была опубликована в “Вопросах философии” [13], а затем в сборнике “Астрономия, методология, мировоззрение” [14]. В какой-то мере эта статья Шкловского возрождала старый спор о множественности обитаемых миров, но на совершенно иной, современной научной основе. Аргументы Шкловского, небесспорные, но ярко поданные, его обращение к морально-этической стороне проблемы произвели сильное впечатление на читателей, особенно на творческую интеллигенцию. У специалистов по SETI точка зрения Шкловского об уникальности нашей цивилизации не получила широкой поддержки, но она стимулировала более глубокое обсуждение теоретических и философских основ проблемы. В 1977 г. в “Вопросах философии” была опубликована статья Кардашева [15], а в 1979 г. совместная статья В.С.Троицкого, Н.Т.Петровича и П.В.Маковецкого [16] с критикой концепции уникальности. Интересная полемика по этой проблеме между

И.Шкловским и С.Лемом была опубликована в журнале “Знание-сила” в 1977 году. [17] Эта дискуссия тем более интересна, что её участники хорошо знали и высоко ценили друг друга. Отвечая Лему, Шкловский писал: “Я далек от утверждения, что в своей статье доказал наше космическое одиночество. Я ставил перед собой значительно более скромную задачу: показать, что в настоящее время, характеризуемое огромными успехами астрономии, утверждение о нашем практическом одиночестве значительно лучше обосновывается конкретными научными фактами, чем традиционное, ставшее уже догматическим ходячее мнение о множественности обитаемых миров.”

Один из аргументов Шкловского состоял в том, что в галактике М 31 (Туманность Андромеды) отсутствуют радиоисточники, которые по своим характеристикам могли бы соответствовать цивилизациям II типа. Видимо, обоснование этого положения в опубликованной версии статьи показалось И.С. недостаточным. Поэтому он внес в экземпляр “Вопросов философии”, имеющийся в библиотеке ГАИШ, собственноручное добавление. Это свидетельствует о том, что он очень серьезно относился к данной проблеме, она не была для него второстепенной.

Шкловский твердо придерживался позиции уникальности до конца своей жизни. Правда, он неоднократно подчеркивал, что речь идет не об абсолютной, а о практической уникальности. Менее известно, что, твердо придерживаясь этой позиции, он никогда не выступал против развертывания работ по SETI, а в частных беседах признавался, что первый радовался бы, если бы поиски увенчались успехом.

Авторитет Шкловского среди исследователей SETI во всем мире был очень высок. Он был членом “Ордена Дельфина”, учрежденного участниками первой американской конференции SETI в 1961 году [18, с. 10]. В книге Д.Свифта “Пионеры SETI” [19] ему отведено достойное место. Ни одно мероприятие в области SETI не проходило без его участия.

В 1981 г. Шкловский принял участие в Таллинском симпозиуме “Поиск разумной жизни во Вселенной”. Здесь он выступил с еще более пессимистической (если уместно употребить это слово) концепцией о *тупиковом пути* нашей цивилизации, связанном с приобретением разума. Спустя три года, в 1984 г. Шкловский выступил с этой идеей на Международном геологическом конгрессе в Москве. Публикация этой работы Шкловского встретила с серьезными затруднениями. Издательство “Наука” не решалось опубликовать столь “крамольную” идею и всячески затягивало издание трудов Таллинского симпозиума. Только вмешательство Владимира Александровича Котельникова, который, будучи вице-президентом Академии наук СССР, взял на себя ответ-

ственность, помогло решить этот вопрос. Но первая публикация этой работы Шкловского появилась не в трудах симпозиума, а в журнале “Земля и Вселенная” в 1985 году со ссылкой на Международный геологический конгресс [20]³. К сожалению, это произошло уже после ухода Иосифа Самуиловича из жизни. Год спустя вышли труды Таллинского симпозиума со статьей Шкловского [21].

Изменение позиции Шкловского по проблеме множественности обитаемых миров явилось полной неожиданностью для многих и до сих пор продолжает волновать тех, кто интересуется проблемой SETI. Как понять эволюцию его взглядов? Мне уже приходилось высказываться об этом [9, 22]. Повторю здесь свои соображения. Думаю, разгадка лежит в личности Шкловского. Он был не только крупнейшим астрофизиком нашего времени, но и человеком широко талантливым: хорошо рисовал, прекрасно знал поэзию, мог без конца наизусть читать стихи, обладал удивительным даром рассказчика и незаурядным литературным даром. Об этом сегодня много говорилось. Но всё это характеризует его не в полной мере. Шкловский обладал одним редким качеством — он был *мыслителем*. Он серьезно интересовался глобальными проблемами современности задолго до того, как появился и получил права гражданства сам этот термин. Я думаю, именно интерес к глобальным проблемам заставил его обратиться к проблеме SETI. Он указывал на необходимость изучения закономерностей развития космических цивилизаций, подчеркивал, что проблема внеземных цивилизаций является, в первую очередь, проблемой социологической, её нельзя подменять более узкой задачей связи, тем более акцентируя внимание на технических аспектах межзвездных коммуникаций. Как мыслителя Шкловского не удовлетворяла наивная вера некоторых исследователей в то, что достаточно построить большой радиотелескоп, и вековая проблема установления связи с внеземным разумом будет решена. Он называл такую точку зрения “подростковым оптимизмом”, и, мне кажется, она вызывала у него известное раздражение. Может быть, эта неудовлетворенность, этот внутренний протест против упрощенческого подхода к проблеме породил разочарование и, тем самым, сыграл определенную роль в эволюции его взглядов.

Может быть, не все со мной согласятся, но я думаю, что никакого резкого изменения взглядов у Шкловского не произошло. По-моему, он всегда довольно пессимистически оценивал возможности связи с внеземными цивилизациями. Уже в первых работах он подчеркивал преимуще-

³Эта статья опубликована также в качестве приложения к 6-му (посмертному) изданию книги Шкловского “Вселенная, жизнь, разум”, М., 1987.

ственность короткой шкалы жизни ВЦ. Впоследствии он признал, что фатальной неизбежности короткой шкалы для всех цивилизаций не существует. Мне кажется, что именно после переосмысления этой проблемы Шкловский постепенно начинает склоняться к мысли об уникальности нашей цивилизации. Таким образом, пессимистическое отношение к проблеме существования ВЦ нашло новую форму выражения, трансформировавшись от идеи о короткой шкале жизни к идее практической уникальности. Те, кто внимательно следил за дискуссиями по проблеме SETI, думаю, согласятся, что в таком переходе нет резкого, принципиального изменения взглядов, скорее просто смещение акцентов.

В чем же причины глубоко пессимистического взгляда Шкловского на проблему внеземных цивилизаций? Думаю, они состоят в следующем. Шкловский никогда не был безразличен к судьбе нашей земной цивилизации. Остро ощущая противоречия современного мира, всю несообразность жизни на нашей планете, он пришел к ощущению крайнего пессимизма во всем, выражением которого и явилась идея об одиночестве нашей цивилизации, а позднее — о тупиковом пути, связанном с приобретением разума. Думаю, это трагедия крупного ученого и гражданина, мысль которого не могла смириться с тем, что он видел на Земле, и который на какой-то момент потерял светлую перспективу.

Мне кажется также, что определенную роль в эволюции взглядов Шкловского на проблему жизни и разума во Вселенной сыграло общение с Ильей Яковлевичем Фурманом, доцентом Воронежского университета. Но эта тема требует специального исследования.

“Каплановский сборник”

Теперь несколько слов о Самуиле Ароновиче Каплане. Самуил Аронович очень любил книгу. Он сам много писал, редактировал и, вообще, любил *создавать* книги. Может быть, если бы он не был талантливым астрофизиком, он мог бы быть хорошим издателем. Думается, любовь к книге была одной из причин — во всяком случае одной из внешних причин, — которая привела его к SETI. А дело было так. В 1965 г. в Харькове проходила 5-я радиоастрономическая конференция. Это было после Бюраканского совещания 1964 года, и на конференции впервые работала секция по поиску внеземных цивилизаций. Были заслушаны доклады Н.С.Кардашева, В.И.Слыша, Б.Н.Пановкина, Б.В.Сухотина и Г.М.Хованова. Самуил Аронович присутствовал на конференции и на заседании секции. Как он говорил мне позднее, слушая доклады, он понял, что из этого материала можно было бы сделать интересную книгу. И он взялся за создание такой книги. Это была коллективная моно-

графия под названием “Внеземные цивилизации. Проблемы межзвездной связи” [23]. Она вышла в 1969 г. в издательстве “Наука” благодаря поддержке академика В.А.Котельникова. Самуил Аронович был душой, организатором и редактором этой книги, и “в народе” она получила название “каплановский сборник”.

Сам Каплан, помимо редактирования, написал вводную главу к книге под названием “Экзосоциология — поиск сигналов внеземных цивилизаций” [24]. В ней он не только очертил проблему, но и предпринял попытку ввести термин для её определения. В то время люди, начинавшие заниматься поисками ВЦ, чувствовали потребность дать какое-то название “новой науке”. Был даже объявлен своего рода “неофициальный конкурс”. Среди прочих названий фигурировала и “космософия”, о чем Шкловский упоминал во втором издании своей книги. Самуил Аронович совершенно справедливо возражал против этого термина, считая его не соответствующим существу проблемы. Действительно, до “космической мудрости” нам ещё очень далеко. Но и предложенный им термин “экзосоциология” (по аналогии с “экзобиологией”) также не привился. Думаю, это отражает то обстоятельство, что о “новой науке” говорить ещё рано. Речь может идти о некоем научном направлении [25], и для его обозначения термин “проблема ВЦ” или “проблема SETI” представляется вполне адекватным. Я думаю, что термин “астробиология”, который взят на вооружение в МАС’е, также не очень удачен.

Примечательная особенность “каплановского сборника” состояла в том, что в его состав входила глава “Методы дешифровки сообщений”. Эта обстоятельная работа была написана Борисом Викторовичем Сухотиным, специалистом по математической лингвистике из Института Русского языка АН СССР. В ней применительно к межзвездным контактам ставилась задача дешифровки произвольного текста, написанного произвольным алфавитом на неизвестном языке, и предлагались обобщенные алгоритмы решения задачи. Видимо слово “дешифровка” произвело определенное впечатление на Западе. Книга была сразу же переведена на английский язык [26], а затем благодаря усилиям профессора Р.Пешека вышла в переводе на чешский язык [27].

В 1971 году С.А.Каплан принял участие в 1-ой советско-американской конференции SETI в Бюракане. По моей инициативе оргкомитет конференции разослал её участникам и некоторым другим видным ученым “Анкету SETI” с целью выяснения мнения специалистов по некоторым важным вопросам. К моменту конференции ответы были получены, но я предполагал обработать их позднее. Самуил Аронович предложил сделать быстрый “экспресс-анализ”. Он выполнил его во время

конференции и в конце её познакомил участников с некоторыми предварительными выводами. Эти результаты он опубликовал в предисловии к трудам Бюраканской конференции [28]. Труды вышли на русском и английском языках, и конечно, редактором русского издания был С.А.Каплан.

В приложении к русскому изданию предполагалось опубликовать данные по анкетному опросу. Мы с Самуилом Ароновичем подготовили большую статью. Однако, издательство не решилось её принять, так как среди респондентов анкеты был Андрей Дмитриевич Сахаров. Нам предложили изъять всё, что касалось Сахарова, и так как мы отказались, статья не была опубликована. Правда, выдержки из ответов на “Анкету SETI”, включая и некоторые высказывания академика Сахарова, были опубликованы в журнале “Земля и Вселенная” в 1972 г. [29]. Позднее уже после ухода Самуила Ароновича из жизни и после начала перестройки мне удалось полностью опубликовать письмо А.Д. Сахарова сначала в журнале “Земля и Вселенная” [30], а потом в трудах 3-й советско-американской конференции SETI в Санта Круз, Калифорния [31].

Что касается анализа всего материала, то он до сих пор оставался невостребованным. Мы с редактором Трудов данной конференции решили опубликовать его в настоящем сборнике (см. стр. ??). Это будет неплохой данью памяти Самуила Ароновича Каплана.

Последний вклад С.А.Каплана в проблему SETI был связан с Зеленчукской школой-семинаром SETI (октябрь 1975 г). Он выступил там совместно с Н.С. Кардашевым с докладом “Астроинженерная деятельность и возможности её обнаружения” [32]. После окончания школы Каплан сразу же взялся за подготовку к изданию её трудов, но его трагическая гибель не позволила довести эту работу до конца. Труды школы-семинара [33] вышли уже после ухода Самуила Ароновича из жизни, и эту книгу можно рассматривать как один из памятников ему.

SETI и Пикельнер

Теперь о Соломоне Борисовиче Пикельнере. Как он относился к проблеме SETI? Соломон Борисович, насколько можно судить, не был энтузиастом SETI. Он не принимал участие ни в одной конференции SETI, не написал ни одной статьи на эту тему. Но это не значит, что у него не было своей точки зрения на проблему. В ответе на анкету SETI он поделился своими соображениями о том, что следует понимать под внеземной цивилизацией. По мнению С.Б.Пикельнера, *“Внеземная цивилизация — некоторая организованная система, сохраняющая низкий уровень эн-*

тропии за счет целесообразных направленных действий. Обмен информацией между разными частями системы, перестройка окружающего мира, способность к построению абстрактных понятий и их обобщений (т.е. те признаки, на которые указывали многие авторы — Л.Г.), по-видимому существенны, но не обязательно относятся именно к цивилизации.”

На вопрос о распространенности внеземных цивилизаций Пикельнер ответил: “Считаю, что [наша] цивилизация не единственная в Галактике, особенно если подтвердится, что основные органические соединения содержатся уже в межзвездной пыли”. (Как известно, вскоре органические соединения были обнаружены в межзвездной среде методами радиоастрономии.) В дополнении к анкете СЕТИ он уточнил, что считает наиболее вероятной оценку числа цивилизаций в Галактике от 10^4 до 10^6 .

Под контактом с ВЦ Пикельнер понимал “обнаружение сигнала заведомо неестественного происхождения”. Он считал такой контакт “в принципе возможным”. Что касается интерпретации сигналов, возможности понять содержащуюся в них информацию, Соломон Борисович высказал мнение, что несмотря на очень большую сложность этой задачи, “на каком-то уровне она [интерпретация] должна быть принципиально возможна”. Но “получить информацию, существенно большую нашей, вряд ли будет возможно, хотя бы из-за трудностей понимания на чужом “языке” без возможности вести диалог с вопросами и т.д.”

В отношении направлений исследования Пикельнер высказал следующее мнение: “обсуждать общие проблемы и ждать необычных сигналов”. Он также скептически отнёсся к совместным международным проектам, считая, что “международное сотрудничество пока может дать только лучшее обсуждение возможностей и семантических проблем”. Полагая, что вероятность обнаружения сигналов пока невелика, Пикельнер высказал мнение, что “наверное, нецелесообразно строить специальную аппаратуру, а лучше иметь в виду такую возможность [обнаружение сигналов ВЦ] при интерпретации обычных наблюдений”. Это близко к точке зрения С.Э.Хайкина и Ю.Н.Парийского. Что касается затрат на SETI, то Пикельнер полагал, что “они должны быть на два порядка меньше, по сравнению с затратами на обычную науку в этой области”. Надо сказать, что хотя по сравнению с ответами других респондентов, это довольно скромная оценка, но и она не так уж мала (особенно если к “обычной науке в этой области” отнести не только наземную астрономию и биологию, но и космические исследования).

Было бы интересно сопоставить ответы Шкловского, Каплана и Пи-

кельнера (как и других ученых) на анкету SETI. Но это уже выходит за рамки настоящего доклада.

Хотя Соломон Борисович не проявлял особого интереса к проблеме SETI и даже относился к ней несколько скептически, он сыграл весьма существенную роль в становлении этой проблемы, по крайней мере в нашей стране. Я имею в виду публикацию в Астрономическом журнале статьи Кардашева “Передача информации внеземными цивилизациями” [8]. Собственно с этой публикации всё и началось. И серьезные предварительные дискуссии со специалистами, и первое всесоюзное совещание по внеземным цивилизациям, и развитие исследований по этой проблеме в нашей стране. Сейчас факт публикации кажется вполне естественным. Но тогда это было не так. Недаром Уолтер Салливан заявил, что в то время поставить вопрос о серьезных научных исследованиях по поиску внеземных цивилизаций было бы самоубийственно для научной репутации [18]. И это касалось не только репутации отдельных ученых, но и научных журналов не в последнюю очередь. Поэтому не столь уж естественно, что статья на **такую** тему могла появиться в столь серьезном (и что греха таить — довольно консервативном) журнале, как АЖ. Конечно, это стало возможным только благодаря Соломону Борисовичу Пикельнеру. И то, что сам он скептически относился к этой проблеме, только делает честь его поступку. Таков был Соломон Борисович Пикельнер, он считал, что спорные вопросы в науке должны решаться путем открытой дискуссии, а не путем административных запретов.

Литература

1. Cocconi G., Morrison P. Searching for interstellar communications // Nature. 1959. **184**. P. 844-846.
2. Шкловский И.С. Возможна ли связь с разумными существами других планет? // Природа. 1960. № 7. С. 21-30
3. Shklovskiy I.S. Is Communication Possible with Intelligent Beings on Other Planets? // Interstellar Communication / A.G.W. Cameron, editor. W.A. Benjamin, Inc. New York-Amsterdam. 1963. P. 5-16.
4. Шкловский И.С. Вселенная, жизнь, разум. М.: Из-во АН СССР, 1962. 239 с.
5. Шкловский И.С. Поиски внеземных цивилизаций. / В кн.: И.С.Шкловский. Вселенная, жизнь, разум. М.: Наука, 1987. Прил. 1. С. 302-308.

6. Shklovskii I.S. and Sagan C. Intelligent Life in the Universe. Holden-Day Inc. San Francisco, London, Amsterdam. 1966. 509 P.
7. Саган К. / В кн: И.Шкловский. Разум. Жизнь. Вселенная. М.: ТОО “Янус”, 1996. С. 59-63.
8. Кардашев Н.С. Передача информации внеземными цивилизациями //Астрон. журн. 1964. **41**. С. 282-287.
9. Гиндилис Л.М. Три десятилетия SETI в СССР //Земля и Вселенная. 1995. № 3. С. 34-42. № 4. С. 59-68.
10. Шкловский И.С. Множественность обитаемых миров и проблема установления контактов между ними //Внеземные цивилизации. Тр. совещ., Бюракан, 20-23 мая 1964 г. Ереван: Изд-во АН Арм. ССР, 1965. С. 15-28.
11. Очерки истории радиоастрономии в СССР. Киев: Наукова думка, 1985. 280 с.
12. Шкловский И.С. Проблема внеземных цивилизаций и её философские аспекты //Вопросы философии. 1973. № 2. С. 76-93.
13. Шкловский И.С. О возможной уникальности разумной жизни во Вселенной //Вопросы философии. 1976. № 9. С. 80-93.
14. Шкловский И.С. О возможной уникальности разумной жизни во Вселенной //Астрономия, методология, мировоззрение. М.: Наука, 1979. С. 252-274.
15. Кардашев Н.С. О стратегии поиска внеземных цивилизаций //Вопросы философии. 1977. № 12. С. 43-54.
16. Маковецкий П.В., Петрович Н.Т., Троицкий В.С. Проблема внеземных цивилизаций — проблема поиска //Вопросы философии. 1979. № 4. С. 47-59.
17. Лем С. Одиноки ли мы в Космосе? //Знание — сила. 1977. № 7. С. 40-41. Шкловский И.С. Отвечаю Лему // Там же. С. 41-42.
18. Салливан У. Мы не одни. М.: Мир, 1967. 384 с.
19. Swift D.W. SETI Pioneers. Tucson: The University of Arizona Press, 1990. 434 p.

20. Шкловский И.С. Существуют ли внеземные цивилизации? // Земля и Вселенная. 1985. № 3. С. 76-80.
21. Шкловский И.С. Замечания о частоте встречаемости внеземных цивилизаций. / Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986. С. 21-25.
22. Гиндилис Л.М. / И.Шкловский. Разум. Жизнь. Вселенная. М.: ТОО "Янус", 1996. С. 123-125.
23. Гиндилис Л.М., Каплан С.А., Кардашев Н.С., Пановкин Б.Н., Сухотин Б.В., Хованов Г.М. Внеземные цивилизации. Проблемы межзвездной связи /под ред. С.А.Каплана. М.: 1969. 438 с.
24. Каплан С.А. Экзосоциология — поиск сигналов внеземных цивилизаций. / Там же. с. 7-24.
25. Гиндилис Л.М. Некоторые философские и методологические аспекты проблемы SETI //Астрономия, методология, мировоззрение. М.: Наука, 1979. С. 282-304.
26. Extraterrestrial civilizations: Problems of Interstellar Communication: Trans. from Russ. /Ed. S.A.Kaplan. Wash (D.C.); Jerusalem: Isr. Program for Sci. Transl., 1971. 265 p.
27. Gindilis L.M., Kaplan S.A., Kardashev N.S. et all. Mimoszemské civilizace: Problemy mezihvezdneho spojeni /Red. S.A.Kaplan. Praha: Academia, 1972. 311 p.
28. Проблема SETI (Связь с внеземными цивилизациями)./Под редакцией С.А.Каплана. М.: Мир, 1975. 351 с.
29. Анкета SETI // Земля и Вселенная. 1972. № 4. С. 57.
30. Гиндилис Л.М. Андрей Дмитриевич Сахаров о поисках внеземных цивилизаций. //Земля и Вселенная. 1990. № 6. С. 63-67.
31. Gindilis L. Andrey Dmitriyevich Sakharov and the Search for Extraterrestrial Intelligence //Third Decennial US-USSR Conference on SETI. San Francisco, 1993. P. 27-33.
32. Каплан С.А., Кардашев Н.С. Астроинженерная деятельность и возможности ее обнаружения. / там же с. 45-55.
33. Проблема поиска внеземных цивилизаций. М.: Наука, 1981. 264 с.

Н.Т. Петрович (МТУСИ)

Оценка гипотезы: корреспондент SETI помогает обнаружить его сигналы, тонущие в шумах приемников

Несмотря на многие миллиарды окружающих нас звезд, на почти полувековой поиск землянами сигналов SETI, РАЗУМНЫЙ КОСМОС МОЛЧИТ! Выдвинуто много гипотез, пытающихся объяснить этот парадокс. Ниже предлагается еще одно его объяснение.

Нет оснований исключать ситуацию, при которой сигналы SETI благополучно достигают Земли, но их уровень ниже уровня суммарных шумов на входе наших приемников, и мы ошибочно считаем, что их вовсе нет.

Такая ситуация может возникнуть из-за сверхгигантских расстояний между корреспондентами (тем более, что Земля очень удалена от центра Галактики, где, возможно, находятся высокоразвитые цивилизации, посылающие нам сигналы SETI), из-за невозможности создания сверхмощного передатчика без нарушения экологии цивилизации, посылающей сигналы [1], из-за ослабления и искажения сигналов неоднородностью межзвездной среды, скопления пылевидных облаков и др.

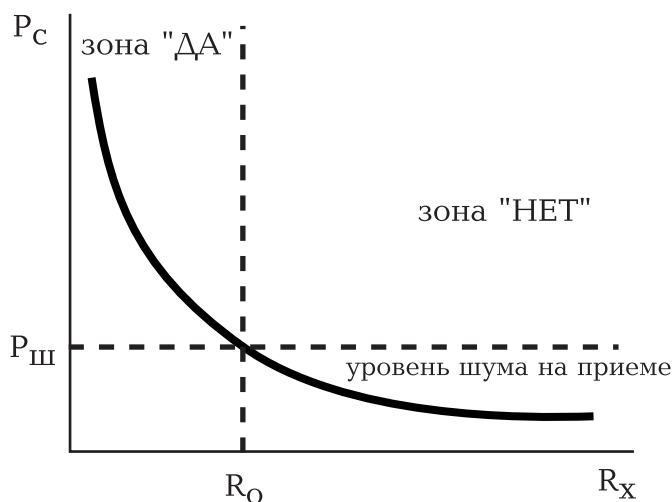


Рис. 1.

Пусть некоторая цивилизация X излучает сигналы SETI. По мере удаления от этой звезды на расстояние R_x мощность сигналов P_c будет, как известно, снижаться по закону $P_c = A/R_x^2$, где A — константа, зависящая от параметров передающего устройства. На рис. 1 показана эта зависимость. Там же нанесен уровень шумов $P_{ш}$ на входе приемника цивилизации Y , ведущей поиск этих сигналов. Для

определенности будем считать, что прием возможен при $P_c > P_{ш}$ и невозможен при $P_c < P_{ш}$ [2].

Возникают две характерные зоны: “ЗОНА ДА” (сигнал может быть

обнаружен) и “ЗОНА НЕТ” (сигнал маскируется шумами). Границу этих зон определяет критический радиус R_0 , который зависит от мощности передатчика, направленности передающей и приемной антенн, уровня шумов приемника и рабочей волны.

Предположим, что обе стороны X и Y , пытающиеся установить контакт с помощью электромагнитных колебаний, исчерпали все свои возможности по увеличению критического радиуса R_0 для “ЗОНЫ ДА”, но не достигли результата — приемник находится в “ЗОНЕ НЕТ”.

Естественно, возникает вопрос: есть ли принципиальная возможность у цивилизации Y обнаружить сигнал, утонувший в шумах? Есть такая ЕДИНСТВЕННАЯ возможность: можно обнаружить сколь угодно малый сигнал в шумах, если реализовать тем или иным способом большое число отсчета смеси сигнала и шума (обозначим его N), в которых сигнал был бы коррелирован сильнее, чем сопутствующие отсчетам шумы, и просуммировать эти отсчеты. Это известный метод накопления сигнала [3].

Логично предположить, что понимая не хуже землян эту ЕДИНСТВЕННУЮ возможность, передающая сторона X для увеличения критического радиуса своих сигналов R_0 будет, возможно, посылать такие сигналы, которые позволяли бы реализовать большое число отсчета сигналов на приеме, в надежде на то, что принимающая сторона Y догадается накапливать эти сигналы. Это и был бы отличный пример конвергенции цивилизаций X и Y навстречу друг другу, которая так необходима для установления контакта.

Какие же это могут быть сигналы?

Тут несколько возможностей:

1. Передача длительных по времени сигналов (аналоговых или дискретных).
2. Передача коротких сигналов одновременно на многих различных несущих частотах.
3. Передача длительных сигналов одновременно на многих частотах (этот метод мы называли “космическая катюша” [4]).

Реализация второго и третьего методов сложна на передаче и особенно на приеме. Поэтому, вероятнее всего, следует считать использование ВЦ первого метода — передача длительных сигналов. Это, по существу, более эффективное использование фактора времени, так как проблема контакта не накладывает сильных ограничений на длительность элементарных посылок (хотя бы для придания сигналам SETI “разумности”).

В скобках заметим, что есть еще один способ получения большого числа отсчетов, не требующий помощи наших корреспондентов. Это прием сигналов SETI на большое число антенн (и приемных устройств), разнесенных на расстояния, обеспечивающие декорреляцию космических шумов. Мы его не рассматриваем ввиду сложности реализации, но полученные ниже оценки числа необходимых отсчетов элементарной посылки N относятся и к этому случаю: число N будет соответствовать числу необходимых антенн и приемных устройств, используемых для накопления сигнала.

Какие же длительные сигналы, позволяющие их накапливать, следует ожидать от передающей цивилизации X?

По-видимому, самые простые из них — двоичные сигналы. При этом элементарная посылка, передающая “1” для аналоговых сигналов — длительный отрезок синусоидального колебания, а для дискретных сигналов — длительная периодическая последовательность импульсов, а элементарная посылка, передающая “0” — есть пауза между посылками “1” той же длительности (см. рис. 2). С точки зрения получения большого числа отсчетов N у аналоговых и дискретных двоичных сигналов нет заметных различий, но есть некоторое различие в реализации накопителя на приеме.

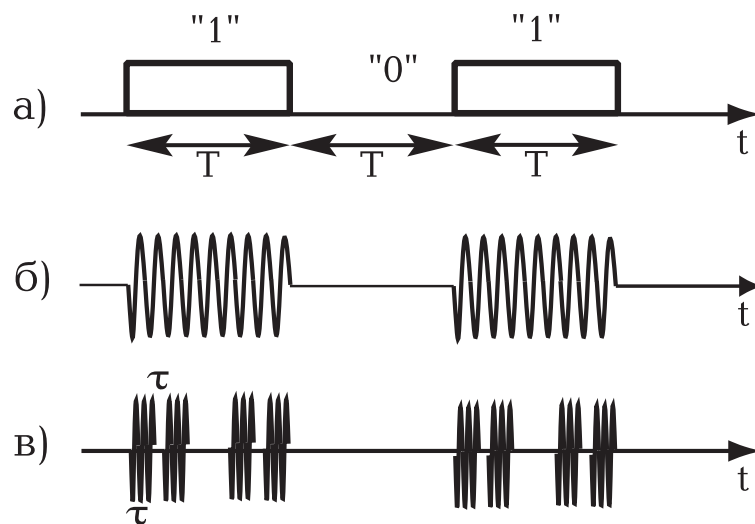


Рис. 2. Простые аналоговые и цифровые элементы сигналов, передающие “1” или “0” для накапливания их на приеме.

Степень расширения “ЗОНЫ ДА”, то есть увеличения радиуса R_0 , существенно зависит от метода накопления отсчета на приеме. Тут две возможности: когерентное и некогерентное накопление. Рассмотрим вначале когерентное накопление, полностью реализующее потенциальные

возможности метода накопления. В этом случае отсчеты смеси сигнала и шума берутся в линейной части приемника (то есть до детектирования) и синфазно суммируются, то есть с совпадением фаз составляющих сигналов в отдельных отсчетах. Анализ когерентного накопления приводит к зависимости [3]:

$$\left(\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}\right)_{\text{вых}} = \left(\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}\right)_{\text{вх}} \frac{1 + \frac{2}{N} \sum_{l=1}^{N-1} (N-l) K_c(l)}{1 + \frac{2}{N} \sum_{l=1}^{N-1} (N-l) K_{\text{ш}}(l)}, \quad (1)$$

где $\left(\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}\right)_{\text{вх}}$ и $\left(\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}\right)_{\text{вых}}$ — отношение мощностей сигнала и помехи на входе и выходе накопителя, $K_c(l)$ и $K_{\text{ш}}(l)$ — коэффициенты корреляции отсчетов по сигналу и по шуму, N — число накапливаемых отсчетов.

При полной корреляции сигнала ($K_c = 1$) и полной декорреляции помех ($K_{\text{ш}} = 0$) в отсчетах из (1) получаем:

$$\left(\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}\right)_{\text{вых}} = \left(\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}\right)_{\text{вх}} \left[1 + \frac{2}{N} \sum_{l=1}^{N-1} (N-l)\right] = \left(\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}\right) N, \quad (2)$$

то есть отношение сигнал/шум растет прямо пропорционально N . Следовательно, R_0 будет расти пропорционально N .

Если возникает корреляция, например, между помехами только в соседних отсчетах, то из (1) получаем:

$$\left(\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}\right)_{\text{вых}} = \left(\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}\right)_{\text{вх}} \frac{N}{1 + 2K_{\text{ш}}}. \quad (3)$$

При $K_{\text{ш}} = 1$ получаем снижение выигрыша в 3 раза.

Осуществить когерентное накопление практически, особенно в условиях наличия Доплера и априорной неопределенности сигналов SETI, не представляется возможным. Поэтому перейдем к рассмотрению второго пути — некогерентного накопления, когда взятие отсчетов и их суммирование производятся после детектирования сигналов SETI. При этом мы будем иметь в виду приемник с квадратичным детектором (см. рис. 3), то есть энергетический приемник или радиометр, к выходу которого подключен накопитель сигналов. Таким накопителем может быть частотный фильтр, рециркулятор, компьютер.

Любопытно отметить близкую аналогию решаемой нами задачи — обнаружение сигналов SETI в глубоком шуме — со вполне земной задачей, решаемой радиоразведкой при необходимости обнаружения широкополосного шумоподобного сигнала (ШПС), скрытого шумами [5].

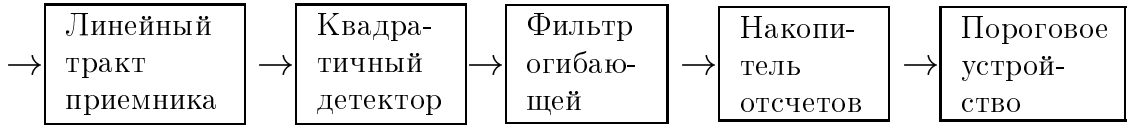


Рис. 3.

В системах связи с ШПС, возникших в последние десятилетия, специально на передаче расширяют полосу частот элементарной посылки и, тем самым, уменьшают ее спектральную плотность настолько, что она становится во много раз ниже спектральной плотности шума на приеме. Делается это для придания системе связи новых качеств, в том числе и скрытности. Поэтому воспользуемся анализом обнаружения наличия ШПС в шумах для приемника, аналогичного рис. 3. Точные формулы для времени обнаружения T_0 сигнала ШПС в шумах довольно сложны [6]. Однако, для случая глубокого погружения сигнала в шум, то есть для случая $P_c \ll P_{ш}$, $N \gg 1$, $K_c = 1$ и $K_{ш} = 0$, удастся получить простую приближенную формулу:

$$T_0 = F d^2 \left(\frac{P_c}{P_{0ш}} \right)^{-2}, \quad (4)$$

где F — полоса пропускания на выходе детектора, $d = \left(\frac{P_c}{P_{ш}} \right)_{\text{вых}}$ — отношение сигнал/шум на выходе накопителя, $P_{0ш}$ — спектральная мощность шума, то есть $P_{0ш} = \frac{P_{ш}}{F}$. Но время обнаружения методом накопления T_0 , согласно теореме Котельникова, есть

$$T_0 = \frac{N}{2F}, \quad (5)$$

где N — число отсчетов. Из (4) и (5) получаем:

$$N = 2 \left(\frac{P_{ш}}{P_c} \right)_{\text{вх}}^2 d^2. \quad (6)$$

Далее, для определения радиуса R_0 “ЗОНЫ ДА” полагаем $d = 1$ и получаем:

$$N = 2 \left(\frac{P_{ш}}{P_c} \right)_{\text{вх}}^2. \quad (7)$$

Но, как мы уже установили:

$$\left(\frac{P_c}{P_{ш}} \right)_{\text{вх}} = \frac{A}{R_x^2}, \quad (8)$$

где A — постоянный коэффициент.

Объединяя (7) и (8), находим:

$$R_x = \sqrt[4]{\frac{A^2 N}{2}}. \quad (9)$$

Отсюда относительное увеличение R_x по сравнению с R_0 , или расширение “ЗОНЫ ДА” определится зависимостью:

$$\frac{R_x}{R_0} = \sqrt[4]{N}. \quad (10)$$

Оценим время, необходимое для передачи одной элементарной посылки T_0 и равное времени накопления отсчетов N для увеличения R_x на заданную величину. Пусть сигнал передается в виде синусоиды длительностью T_0 и детектируется квадратичным детектором. Время декорреляции шумов $\tau_{\text{ш}}$ на выходе детектора определяется полосой пропускания фильтра F на выходе детектора:

$$\tau_{\text{ш}} = \frac{1}{F}. \quad (11)$$

Полагая, для примера, $F = 100$ Гц, получаем время декорреляции шумов

$$\tau_{\text{ш}} = \frac{1}{F} = 10^{-2} \text{ сек.}$$

Следовательно, необходимое время длительности элементарной посылки составит

$$T_0 = N \tau_{\text{ш}}. \quad (12)$$

Используя (10) и (12), получаем величины, приведенные в табл. 1.

Таблица 1. Длительность одной элементарной посылки, передающей “1” или “0”

| R_x/R_0 | N | T , сек (“1” или “0”) | | | |
|-----------|------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | аналоговый сигнал | дискретный сигнал | | |
| | | $F = 10^{-2}$ Гц | $\tau = 10^{-3}$ сек | $\tau = 10^{-6}$ сек | $\tau = 10^{-9}$ сек |
| 10 | 10^{-4} | 100 | 20 | 0.02 | $0.02 \cdot 10^{-3}$ |
| 20 | $16 \cdot 10^4$ | 1600 | 320 | 0.32 | $0.32 \cdot 10^{-3}$ |
| 50 | $625 \cdot 10^4$ | 62500 | 12500 | 12.5 | 0.012 |
| 100 | 10^8 | 10^4 | $2 \cdot 10^5$ | 200 | 0.2 |
| 1000 | 10^{12} | 10^{10} | 10^9 | $2 \cdot 10^6$ | $2 \cdot 10^3$ |

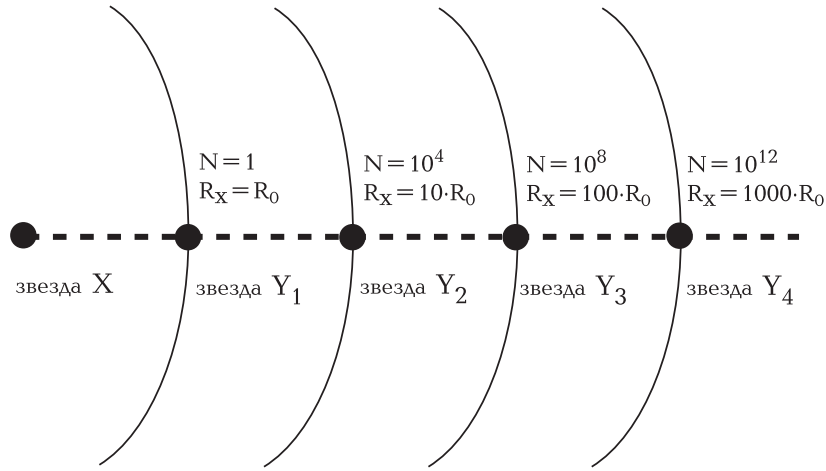


Рис. 4. Необходимые для приема SETI-сигналов значения N .

На рис.4 показаны цивилизации у звезд Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 , принимающие сигнал от звезды X , и необходимая величина N для осуществления этих сигналов (положение в зоне “ДА”). Приведем пример.

Пусть цивилизация X , передающая сигнал, находится вблизи края Галактики и обладает, при сигналах без накопления, малым радиусом "ЗОНЫ ДА": $R_0 = 100$ световых лет. Для перекрытия Галактики ей потребуется увеличить свой радиус R_0 приблизительно в 1000 раз. Используя периодическую последовательность импульсов, составленную из малых наносекундных сигналов ($\tau = 10^{-9}$ сек.), и длительность одной элементарной двоичной посылки $T = 2000$ сек. (~ 0.5 час.), X может достигнуть нужного результата. Соответственно, для передачи смыслового текста, например из 100 двоичных единиц, потребуется в нашем примере 55 часов. При попытках установить радиокontakt с цивилизациями Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 целесообразно время от времени передавать послания при разной длительности элементарных посылок: $10T, 100T, 1000T...$

Наши эксперименты показали, что приведенные оценки необходимого времени накопления можно в несколько раз сократить, если при приеме на входе накопителя применять амплитудное ограничение смеси сигнала со значительно превосходящим его шумом.

Выводы

1. Необнаружение разумных сигналов из космоса, возможно, объясняется тем, что мощность P сигнала SETI (на входе наших приемников) ниже уровня шумов $P_{\text{ш}}$, то есть $P_c < P_{\text{ш}}$ и даже $P_c \ll P_{\text{ш}}$.

2. По мере увеличения дистанции R_x между передающей и принимающей сигналы цивилизациями образуются две характерные зоны: “ЗОНА ДА”, где сигнал превышает шум и прием возможен, и “ЗОНА НЕТ”, где сигнал маскируется шумами и прием невозможен. Границей этих зон можно условно считать $P_c = P_{ш}$, а диаметр “ЗОНЫ ДА” R_0 — критическим. Возможно, Земля находится в “ЗОНЕ НЕТ”.
3. Если все возможности по увеличению отношения $P_c/P_{ш}$ в точке приема исчерпаны передающей и приемной стороной, то ЕДИНСТВЕННЫМ методом увеличения R_0 , то есть расширения “ЗОНЫ ДА”, является более эффективное использование фактора времени — удлинения или повторения передаваемых сигналов SETI, в том числе на разных частотах.
4. Логично предположить, что, хорошо понимая этот объективный закон, инопланетяне, посылающие сигналы SETI, уже используют эту единственную возможность для увеличения критического радиуса R_0 в расчете на то, что в принимающей сигналы цивилизации догадаются накапливать их и, тем самым, обнаружить. Это будет конвергенцией разумных цивилизаций навстречу друг другу.
5. Потенциальные возможности метода накопления реализует когерентное накопление: сложение составляющих сигнала в отсчетах точно в фазе, — что можно осуществить только до детектирования сигналов SETI. В этом случае $R_x = R_0\sqrt{N}$. Однако осуществить такое накопление сигналов SETI чрезвычайно трудно, поэтому реально может быть использован некогерентный метод накопления, то есть накопление отсчетов сигналов SETI после его детектирования.
6. Сделанная оценка показывает, что некогерентный метод накопления значительно уступает когерентному, но вполне может быть использован. В этом случае $R_x = R_0\sqrt[4]{N}$.
7. Из приведенных расчетов (Таблица 1) следует, что удлинение элементарных посылок на передаче и их накапливание на приеме после детектирования позволяет увеличивать радиус действия сигнала, т.е. расширять “ЗОНУ ДА” в десятки, сотни и тысячи раз. Набор элементарной посылки из периодической последовательности импульсов имеет ряд преимуществ: разлагая с помощью ком-

пьютера детектированные импульсы в ряд Фурье, можно установить, имеется ли под шумами сигнал, а применяя фильтр, настроенный на частоту повторения импульсов, осуществить их накопление. Уменьшение длительности импульсов, из которых набирается элементарная посылка, сокращает необходимое время накопления. Следовательно, поиск таких “удлиненных” сигналов следует вести на широкополосных приемниках.

Если применить амплитудное ограничение смеси сигналов и шума на входе накопителя, то, как показал наш эксперимент, также можно сократить время накопления в несколько раз.

8. Рассмотренный метод расширения радиуса действия R_x сигналов SETI не имеет принципиальных ограничений, и при достаточной длительности элементарных посылок R_x может не только достичь границ нашей Галактики, но и выйти за ее пределы.
9. Целесообразно оборудовать приемники сигналов SETI накапливающими устройствами для обнаружения возможных скрытых шумами сигналов SETI, а в будущем, когда энергетика нашей цивилизации позволит посылать сигналы другим цивилизациям, предусмотреть сигналы, позволяющие их накапливать на приеме.

Литература

1. Троицкий В.С. Почему мы не обнаруживаем сигналы внеземных цивилизаций? // М., Земля и Вселенная, 1981, № 1, с.63-65.
2. Шкловский И.С. Вселенная, жизнь, разум. М., Наука, 1987, с.221-237.
3. Харкевич А.А. Борьба с помехами. М., Наука, 1965, с.70-74.
4. Петрович Н.Т. Проблема радиоконтакта с внеземными цивилизациями (Проблема SETI) // М., Зарубежная радиоэлектроника, 1995, № 2/3, с.3-27.
5. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. М., Радио и связь, 1985, с.254-256.
6. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. М., Радио и связь, 1976, с.462-467.

В.М. Липунов (ГАИШ МГУ)

О проблеме сверхразума в астрофизике

Аннотация

Отсутствие следов внеземной жизни (“Космических Чудес”), быстрое, по астрономическим масштабам, развитие нашей цивилизации находятся в вопиющем противоречии с “материалистическим здравым смыслом” и должны рассматриваться как самое настоящее Космическое Чудо. Этот кризис можно преодолеть, признав существование сверхразума, или “научно открываемого Бога”.

В современном естествознании есть совершенно непонятый и парадоксальный экспериментальный факт, находящийся в вопиющем противоречии со всеми современными ортодоксальными представлениями о мире, — это факт отсутствия Сверхцивилизаций или факт “Молчания Вселенной”. Факт, открытый и понятый, конечно, не сейчас. Особенно остро он был осмыслен в посмертной статье И.С. Шкловского 1985 года [1].

Abstract. The Giant Silence of the Universe or the absence of “Space Miracles” is in an obvious contradiction with the fast evolution of our civilization. The most striking is the fact that both these phenomena, if taking separately, are in crying contradiction with “materialistic common sense” and are to be considered as real Space Miracle themselves. As a matter of fact, this is the main problem of the modern natural science. This crisis may be overcome if we recognize Superintelligence, that is God which is discovered scientifically.

Парадокс Ферми

В сущности, все сводится к так называемому парадоксу Ферми, сформулированному в пятидесятые годы [2], который на современном языке звучит так [3]:

мы имеем два наблюдательных или, если угодно, экспериментальных факта:

- 1) возраст Вселенной (T) примерно равен 10 миллиардам лет,
- 2) характерное время экспоненциального развития нашей цивилизации (τ) исчисляется десятками лет. Для простоты примем безусловно завышенную величину 100 лет. Возникает гигантское безразмерное число, характеризующее рост технологической цивилизации за время существования Вселенной: десятка с 43 миллионами нулей:

$$K = \exp(T/\tau) \approx 10^{43,000,000}. \quad (1)$$

С такими большими безразмерными числами теоретическая физика никогда не сталкивалась. Например, полное число элементарных частиц

во Вселенной выглядит просто смехотворно малым — всего лишь десятка с восьмьюдесятью нулями. Не говоря уже ничего более, такое число должно насторожить любого здравомыслящего теоретика. Любая другая цивилизация, появившаяся “немного” раньше нашей, должна неизмеримо превосходить нас. Действительно, вариации “мощностей” оказываются также велики:

$$\delta K \sim \delta(\exp((t - t_0)/\tau)) \sim \exp(\delta(t_0)/\tau) \approx 10^{43,000,000}, \quad (2)$$

где t_0 — момент возникновения цивилизации на технологической стадии. Энрико Ферми просто воскликнул: “Если есть где-либо цивилизации, то их космические корабли давно уже в Солнечной системе” (за дословность цитаты не ручаюсь). Конечно, ведь это число настолько велико, что всякие неизвестные промежуточные коэффициенты не могут быть важны. Например, можно утверждать, что вероятность отсутствия “космических чудес” в нашей Вселенной просто равна нулю! Мир без “космических чудес” — НЕВЕРОЯТЕН. Тем не менее, их никто не обнаружил даже после 20 лет поиска — наоборот, обнаружилось Великое Молчание Вселенной. Мир без чудес невероятен, но он существует — вот в чем парадокс.

Идея единственности

Как разрешить парадокс Ферми в рамках современного научного подхода? В середине семидесятых годов Шкловский сформулировал концепцию “Космического чуда” как результат деятельности Сверхцивилизаций и предложил идею единственности нашей цивилизации во всей огромной Вселенной [4]. Раз нет “Космических чудес” и “Вселенная молчит”, то, значит, и нет никакого внешнего Разума.

Но так ли уж естественна гипотеза единственности Земной Цивилизации? Да нет, конечно. Эта гипотеза сама находится в вопиющем противоречии с наблюдаемой однородностью и изотропией Вселенной, установленной благодаря открытию реликтового излучения. Представляется мало вероятным возникновение лишь одной цивилизации в целом однородной и изотропной Вселенной, в ничем не примечательной галактике вблизи обычной желтой звезды. В нашей галактике таких звезд миллиарды. А самих галактик еще больше.

Вот и сам Шкловский в последней своей статье отказывается от идеи уникальности и выдвигает еще более неутешительную гипотезу “тупиковой ветви”. Глядя на приведенную выше формулу, замечаешь, что единственная возможность как-то избавиться от этого гигантского числа —

это предположить, что продолжительность технологической стадии развития цивилизации много меньше времени жизни Вселенной. Другими словами, Гигантское Молчание Вселенной можно объяснить, предположив, что технологические сверхцивилизации попросту не возникают.

Почему? Возможны два ответа: из-за потери интереса к технологическому развитию или гибели. Шкловский выбирает, и, замечу, не без оснований (ведь пока не видно и конца технологическому развитию), второй вариант. Ведь известно, как пишет Шкловский, что наша Земля является в сущности кладбищем видов: по оценкам биологов с начала возникновения жизни на Земле проэволюционировало около одного миллиарда видов, а сейчас их всего два миллиона. Не является ли и разум некоторой гипертрофированной (как масса тела у динозавров) функцией, ведущей к неизбежной гибели? Таким образом, разум — это всего лишь неудачное изобретение природы, тупиковая ветвь. Какова конкретная причина гибели? Атомная война, экологическая катастрофа? Вряд ли. Ясно, что при всем возможном многообразии “местных” условий и специфик, гибель разных цивилизаций должна происходить по одной универсальной причине. По какой? Интересная возможность обсуждается Вл. Хлумовым [5]. Универсальная причина гибели Разума во Вселенной может быть связана с потерей его основной функции — функции познания. Вот как выглядят его аргументы.

Простая Вселенная

Что есть разум или разумная жизнь? В чем цель ее появления среди неживой и живой природы? Нет смысла вдаваться в подробное обсуждение этих вопросов. Достаточно ограничиться следующим простым тезисом: разумная жизнь характеризуется стремлением понять и объяснить происходящие вокруг явления. Важно, что возникающие при этом интерес и любопытство весьма неустойчивы. Интерес к понятию явлению пропадает практически мгновенно. Открыв какой-либо закон природы, мы начинаем искать новые явления, не подчиняющиеся ему. Никакие самые “интересные практические приложения” старых законов не могут заменить поиска новых. Всевозможные частные случаи, новые режимы, оригинальные подходы и проч., как бы они ни были заманчивы, — все это бледная тень настоящего процесса познания. Разум чахнет без принципиально новых, необъясненных явлений.

Погибнуть можно от атомной или биологической бомбы. Но все это — детские игрушки по сравнению с тем, что могла бы придумать цивилизация, опережающая нас лет на двести. Уже сейчас, в рамках открытых нами законов природы, можно представить столь мощное оружие,

последствия применения которого носили бы галактические масштабы. Такая братоубийственная война вполне сошла бы за космическое чудо. А чудес нет!

Силы, препятствующие развитию разума, должны иметь совсем иную природу. И они, конечно же, должны носить универсальный, не зависящий от конкретных условий характер.

Прежде чем переходить к описанию возможной причины, приводящей к гибели разума (естественной гибели разума), подумаем над следующей проблемой: почему человеку за кратчайшие (по космологическим масштабам) сроки удалось понять законы природы, которым подчиняется вся наблюдаемая часть Вселенной? Каких-то двух-трех тысяч лет оказалось достаточно, чтобы дойти до квантовой механики и общей теории относительности. Каким образом человек, чей повседневный опыт ограничивается банальными масштабами, измеряемыми метрами, скоростями, в десятки миллионов раз меньшими скорости света, и ничтожно слабым полем тяготения, — каким образом это слабое существо (не выходя из дома) проникло в гигантские просторы Вселенной и вглубь бесконечно малых элементарных частиц?

Античные философы описывали процесс познания так. Представим себе бесконечную плоскость. Кружочек на плоскости — это часть познанного нами. В процессе познания круг увеличивается, поглощая предыдущее знание, но растет и граница с непознанным. Познание рождает все новые и новые вопросы. Процесс бесконечен.

Точка зрения эта стара как мир. Но не является ли она слишком примитивным обобщением нашего мимолетного опыта? Неужели бесконечно сложный объект так прост? Скорее нет, чем да. Ведь “сложность” — в первую очередь характеристика качественная, а не количественная. Бесконечно сложный объект должен состоять из бесконечно сложных, качественно различных частей и не обязательно совместимых. Мир, а точнее, система знаний о мире — это не матрешка. Познав часть такого непростого объекта, мы не можем быть уверены в том, что наши знания впишутся в последующую систему знаний подобно тому, как маленькая матрешка входит в большую. Скорее всего, познание должно быть сильно нелинейным процессом. Экстремальным (но вовсе не частным) случаем могла бы быть столь сильная нелинейность, что познание какой-либо части вообще невозможно без знания полной картины. Другими словами, бесконечно сложный объект непознаваем в принципе. Разум не мог бы возникнуть в бесконечно сложной Вселенной!

Высказанный выше негативный тезис о несоответствии последовательно познаваемых частей находится в вопиющем противоречии со

всем нашим опытом. Весь наш опыт кричит о том, что наш мир — матрешка. Например, механика Ньютона, стала частью специальной теории относительности Эйнштейна, которая в свою очередь, стала частью Общей Теории Относительности. Это то, что называется принципом соответствия Бора.

Как же снять очевидное противоречие? Есть два выхода: либо мы неправильно представляем себе бесконечно сложный объект, либо окружающий мир не является бесконечно сложным. Выбрать правильный ответ можно только опираясь на наблюдаемые факты...

Вспомним: разум, лишенный пищи, погибает. Все становится на свои места. Экспериментально доказанное отсутствие сверхцивилизаций свидетельствует о том, что наша Вселенная слишком проста для разума. Быстро (за несколько тысяч лет) познав ее законы, разумная жизнь исчерпывает все возможности своих применений и исчезает. Парадоксально, но факт: разум возникает и погибает по одной и той же причине — по причине простоты устройства нашего мира.

Конечно, идея простоты устройства мира естественным образом объясняет почему разум является тупиковой ветвью, но кажется все-таки вырожденным случаем. Более естественной, представляется идея бесконечной сложности мира, но в самом общем, а не в вырожденном “матрешечном” виде.

Парадокс Циолковского

Вернемся к формуле (1). Наиболее последовательно свои мысли Циолковский изложил только устно, в разговоре с Чижевским, который позже записал их беседу [6]. Циолковский понимал, стоя на чисто материалистической точке зрения, что бесконечное развитие природы рано или поздно должно было закончиться полной экспансией разума. В этом случае $T = \infty$:

$$K = \exp(\infty/t) \approx \infty. \quad (3)$$

Отсюда идея разумного атома и “совершенных существ” и, наконец, идея Разумной Вселенной, которая может восприниматься современным естествоиспытателем как угодно иронически, но сама-то причина появления на свет этих мыслей совершенно естественна для научного метода. Если Вселенная жила бесконечно долго, то Парадокс Циолковского может быть решен только в одном ключе — ключе существования Сверхразума.

Вы скажете, в XX веке Эдвин Хаббл, открыл расширение Вселенной, и мы поняли, что Вселенная наша была не вечно. Всего-то десять

миллиардов лет, а там, глядишь, можно закрыть глаза на десятку с сорока тремя миллионами нулей и отделаться уникальностью, тупиковой ветвью или восточным вариантом. Во-первых, как мы видели, сделать это совсем не просто, так сказать, за давностью отжитых природою лет, а во-вторых, так ли уж не вечен этот мир?

Несмотря на спасительное открытие Э. Хаббла, вопрос о безграничности во времени нашей Вселенной опять всплыл в связи с теорией стохастически рождающейся Вселенной. Как и в девятнадцатом веке, и опять замаячил стационарный вариант Эйнштейна, а впоследствии Бонди-Хойла. Конечно, на самом деле теперь уже речь идет совершенно о другом понятии времени, но для нас важно, что у природы было и есть бесконечное число возможностей для создания Вселенных типа нашей и, следовательно, для возникновения жизни и, следовательно, опять нужно как-то разрешать парадокс Циолковского.

Научно открываемый Бог

Здесь уместно привести отрывок из письма А. Эйнштейна к Морису Соловину от 30 марта 1952 года [7]: “Вы находите удивительным, что я говорю о познаваемости мира (в той мере, в какой мы имеем право говорить о таковой) как о чуде или о вечной загадке.

Ну что же, априори, следует ожидать хаотического мира, который невозможно познать с помощью мышления. Можно (или должно) было бы лишь ожидать, что этот мир лишь в той мере подчинен закону, в какой мы можем упорядочить его своим разумом. Это было бы упорядочение, подобное алфавитному упорядочению слов какого-нибудь языка. Напротив, упорядочение, вносимое, например, ньютоновской теорией гравитации, носит совсем иной характер. Хотя аксиомы этой теории и созданы человеком, успех этого предприятия предполагает существенную упорядоченность объективного мира, ожидать которую априори у нас нет никаких оснований. В этом и состоит “чудо”, и чем дальше развиваются наши знания, тем волшебнее оно становится.

Позитивисты и профессиональные атеисты видят в этом уязвимое место, ибо они чувствуют себя счастливыми от сознания, что им не только удалось с успехом изгнать бога из этого мира, но и “лишить этот мир чудес”. *Любопытно, что мы должны довольствоваться признанием “чуда”, ибо законных путей, чтобы выйти из положения у нас нет. (Курсив мой, — В.Л.)* Я должен это особенно подчеркнуть, чтобы Вы не подумали, будто я, ослабев к старости, стал жертвой попов” (конец цитаты).

Очень характерное высказывание. Здесь, в основном, два пункта.

Первое, признание существования настоящего “космического чуда”, и, второе, несомненное понимание того, что из этого немедленно должно последовать признание существования Бога, но сделать это, конечно, нельзя, чтобы не стать “жертвой попов”. Но и нельзя одновременно признать бесконечную сложность мира и успешную нами познаваемость (т.е. фактически само существование разума в бесконечно сложном мире) и не признать при этом существование Сверхразума — научно открываемого Бога [8]. Если бы А. Эйнштейн хотя бы подозревал о парадоксе Циолковского, то ничего более естественного ему не нужно было и сделать.

Бесконечно сложный мир

Что есть научно открываемый Бог или Сверхразум, и что есть будущая наука о бесконечно сложном Мире? Может ли вообще человеческий разум создать хотя бы примитивную модель, теорию, концепцию бесконечно сложного, непознаваемого по частям объекта? В рамках современной науки — вряд ли. Ведь она вся изначально построена на атомарной, матрешечной логике, на признании линейности мира, которая только одна и может предполагать существование независимых, исчисляемых элементов. Сам математический аппарат, с которым имеет дело современная физика, основан изначально на цифровом пастушьем опыте чисел — стадо баранов может быть расчленено на отдельные особи и посчитано. (Приходится только опять удивиться, как при этом мелком багаже науке удалось проникнуть в глубинные тайны Вселенной и атомов?) В нем, в классическом научном методе, изначально заложен прогрессистский подход от простого к сложному. В этом и состоит смысл современной науки — “объяснить”. Но в человеческом лексиконе есть еще два важных слова: “понять” и “поверить”. Одно из них принадлежит, скорее, искусству, и особенно литературе (она, как и наука, использует язык слов), а другое — религии. Но как совместить это все вместе, каким образом можно придать, например, формальным математическим высказываниям этическую окраску? И как наш научно открываемый Бог, к которому неизбежно пришла современная простая наука, соотносится с Богом религиозным?

Да, здесь скорее прав В.Ф.Шварцман [9], полагая, что будущее науки стоит за синтезом всей культуры, но как должен выглядеть этот будущий Метаязык, приходится лишь гадать. По-видимому, двигаться дальше можно лишь, пытаясь отвечать на необычные вопросы, например, такого плана: как соотносятся понятия добра и зла с принципом причинности? А с присутствием времени или его отсутствием? Возмож-

ны ли подтексты в научных высказываниях, двусмысленности, вероятностная интерпретация?

Одним из важнейших естественнонаучных направлений, конечно, должен быть поиск внеземного разума. При этом нужно трезво понимать, что сам факт открытия обитаемых планетных систем хоть и интересен, но вряд ли приведет к существенному продвижению. Такое открытие сродни открытию индейцев Колумбом. Гораздо важнее не они сами как биологический вид, а их представление о Боге, о Добре и Зле.

Литература

1. И.С.Шкловский, Земля и Вселенная, 1985, № 3, с.76.
2. С.Sagan //Planet Space Sci., 1963, v.11, p.485.
3. В.М.Липунов //Астрон. Ж., 1988, т.65, с.433.
4. И.С.Шкловский, Вопросы философии, 1976, № 9, с.80.
5. Вл.Хлумов //Земля и Вселенная, 1987, № 1, с.95.
6. К.Э.Циолковский, “Монизм Вселенной”, в сборнике “Грезы о Земле и Небе”, Тула, Приокское Книжное Издательство, 1986 г., с.276 и с.419 (А.Л. Чижевский, “Теория Космических Эр”).
7. А.Эйнштейн, Собрание научных трудов, Наука, Москва, 1967, т.4, с.567.
8. В.М.Липунов //Земля и Вселенная, 1995, № 1, с.37.
9. В.Ф.Шварцман, “Проблема поиска жизни во Вселенной”, М., Наука, 1986, с.230.

Л.В. Ксанфомалити (ИКИ РАН)

Возможно ли выполнение межзвездной экспедиции за время жизни одного поколения?

Аннотация

Рассматриваются предельные возможности межзвездного аппарата с энергетической системой, основанной на термоядерной дейтерий-гелиевой реакции. Показано, что экспедиция к ближайшей звезде с возвращением в течение жизни одного человека невыполнима даже при условии полного, без потерь, использования всей выделяемой энергии. Расчеты показывают, что средняя скорость аппарата, состоящего только из “топлива” (дейтерия) и модуля астронавтов, составляющего 0.01 массы топлива (с нулевой массой самой конструкции аппарата и его двигателя), не может превысить $17.6 \cdot 10^3$ км/с, а продолжительность экспедиции достигает 150 лет. Даже с абсолютно нереалистической относительной массой модуля 10^{-4} она составляет 105 лет. Если не будут найдены другие, пока неизвестные источники энергии или способы перемещения, пилотируемые межзвездные полеты навсегда останутся мечтой.

Введение

Б.М. Оливер (ныне покойный), широко известный не только как автор проекта “Циклоп” и других работ по проблеме SETI, но и как автор-разработчик первого электронного калькулятора, часто подчеркивал, что вся экономика Земли бессильна перед теми энергетическими затратами, которые требуют пилотируемые межзвездные полеты [1]. По существу, слово “пилотируемые” здесь означает достаточно быстрые полеты (с таким же успехом это может быть экспедиция высокоорганизованных автоматов, которые должны доставить на Землю материальные результаты миссии за время жизни разработчиков последней). Экспедиция к ближайшей цели, α Центавра (4.4 св. года), и обратно должна длиться не более 40 – 50 лет. Следовательно, необходима средняя скорость полета не менее 0.2 с. Согласно одной из оценок масса межзвездного аппарата должна составлять не менее 2000 тонн. Это, главным образом, — запасы топлива (далее показано, что масса аппарата даже с самым эффективным источником энергии должна быть значительно больше). Чтобы масса в 2000 тонн достигла скорости 0.2 с, потребуется энергия 10^{15} кВт·ч, которую все вместе взятые электростанции Земли в состоянии выработать лишь за 10 лет. Так как для торможения у цели, а затем для возвращения понадобится сравнимое количество энергии (или намного большее, если сохранить указанную среднюю скорость),

затраты окажутся еще выше. Поэтому Б.М. Оливер писал о разорительности подобного проекта.

Впрочем, возможен и иной подход. Аппарат можно оснастить автономным высокоэффективным источником энергии, например, термоядерным.

Идеализированный межзвездный аппарат

Большинство физиков не сомневается, что до лабораторного овладения термоядерной дейтерий-гелиевой реакцией уже недалеко. Предположим (1), что это уже произошло, и (2), что на этой основе создан чрезвычайно эффективный ракетный двигатель, который способен превратить всю высвобождаемую в термоядерной реакции энергию в кинетическую энергию межзвездного зонда, направляемого к ближайшей звезде. Термоядерная дейтерий-гелиевая реакция представляет собой самый эффективный имеющийся на Земле источник энергии ($1.4 \cdot 10^9$ кВт·ч/кг). Поэтому интересно оценить, на какую минимальную продолжительность экспедиции к α Центавра с дейтерий-гелиевой энергетической установкой можно было бы рассчитывать.

Рассмотрим идеализированный случай и будем считать невесомой всю конструкцию ракеты, включая ее двигатель. Тогда ее массу составят только источник энергии (дейтерий) и модуль астронавтов. Для расчета не имеет никакого значения, какова будет абсолютная величина массы модуля, а весь расчет ведется для единицы (например, для $M = 1$ кг) массы. Оценка выполнена для трех случаев, когда масса модуля m_m составляет 0.01; 0.001 и 0.0001 соответственно. Поскольку масса самой конструкции равна нулю, бессмысленно делить ракету на ступени — это одноступенчатый зонд. Весь запас топлива энергии используется сначала на разгон на первой половине пути до скорости V_{max} , а затем на торможение до полной остановки у цели. На обратном пути повторяется та же последовательность, причем относительная доля z израсходованной массы — одна и та же на каждой из 4-х частей путешествия. Разумеется, существуют и другие схемы полета [2]. В нашем случае рассматривается этот простейший вариант. Тогда

$$z = (1 - m_m^{1/4}), \quad (1)$$

и для $m_m = 0.01$; 0.001 и 0.0001 масса в конце каждого этапа будет уменьшаться соответственно на 0.684; 0.822 и 0.900. (Для ныне достигнутых значений конечной массы эта величина может быть 0.4 и менее, что просто указывает на несовершенство современных ракет). К сожа-

лению, известная формула для V_{max} :

$$V_{max} = w \ln(M/(1 - z)) \quad (2)$$

оказывается в нашем случае бесполезной, т.к. скорость истечения w для термоядерного двигателя пока неизвестна. (Как указывает В.И. Левантовский, некоторые авторы считают, что w может составлять 100 км/с. В нашем случае она должна быть в десятки раз больше).

Достижимые предельные скорости и продолжительность экспедиции

В рассматриваемом идеализированном эксперименте будем, как уже говорилось, исходить из гипотезы, что вся освобождаемая энергия преобразована в кинетическую энергию аппарата, что выражается следующим уравнением:

$$2Qdm = (m - dm)(V + dV)^2 - (m - dm)V^2. \quad (3)$$

Здесь m и V — текущие значения массы и скорости. Приращение массы в первом члене — это то, что расходуется в двигателе, а во втором — соответствует непрерывному уменьшению массы зонда. Эффективность термоядерной реакции известна, она составляет 0.006 от mc^2 (c — скорость света), или $Q = 5.4 \cdot 10^{14}$ Дж/кг [3]. Для трех приведенных выше значений m_m интегрирование дает следующие скорости V_{max} : $35.3 \cdot 10^3$; $43.2 \cdot 10^3$ и $49.9 \cdot 10^3$ км/с. (Это не так уж много — такой аппарат пройдет земной диаметр за 1/3 с). Средние скорости составят половину этих значений, а время T экспедиции с возвращением есть:

$$T = 4 \cdot (4.4 \text{ св. лет}) \cdot c/V_{max}, \quad (4)$$

или 150; 122 и 105 лет, что превышает время жизни человека даже в этом идеализированном эксперименте. (Величина w , необходимая для такого полета, составляет соответственно 7600; 6200 и 5400 км/с, что значительно отличается от приведенной выше оценки).

Заключение

Несмотря на большие различия в m_m , время экспедиции во всех трех случаях примерно одинаково, что определяется близостью найденных значений к естественному пределу. (Даже при фантастической величине $m_m = 10^{-8}$, $V_{max} = 70 \cdot 10^3$ км/с).

Выше упоминалось, что по некоторым оценкам масса межзвездного аппарата должна составлять не менее 2000 тонн. Приведенные результаты расчета позволяют уточнить эту величину. Исходя из массы модуля 50 тонн и относительных значений $m_m = 0.01; 0.001$ и 0.0001 , минимальная масса даже идеализированного аппарата составит намного больше: 5000, 50000 или 500000 т.

Совершенно очевидно, что масса m_m не может быть столь малой, скорее она должна быть близка к 0.1, но тогда и V_{max} будет намного ниже. О каких еще источниках энергии можно было бы думать? Антиматерии на Земле нет, и для ее синтеза понадобились бы те фантастические затраты энергии, о которых писал Б.М.Оливер. Тем не менее, интересно чисто теоретически сделать такой же расчет для реакции аннигиляции, когда $Q = mc^2$. Тогда для $m_m = 0.1$ средняя достижимая скорость близка к $110 \cdot 10^3$ км/с. Таким образом, приемлемую длительность экспедиции может дать только реакция аннигиляции в качестве источника энергии.

Можно сделать следующий вывод: если физика не отыщет в природе неизвестные науке источники энергии или способы перемещения, человеку в межзвездном полете до цели не дожить, как и не дожидаться возвращения на Землю посланных при его жизни автоматических межзвездных аппаратов.

Литература

1. Oliver, B.: 1994, Interstellar Travel? //SETI News. V.3, № 3, P.2.
2. Левантовский, В.И.: Механика космического полета. 1980, М., Наука, Физматлит, с.511.
3. Оппер, Дж.: 1981, Физика. Мир, Т.2, с.538-544.

Л.В. Ксанфомалити (ИКИ РАН)

Возможность возникновения и развития жизни ограничивается характеристиками планеты

Аннотация

Для возникновения аминокислотно-нуклеиновой формы жизни (АНКЖ) на планете земного типа требуются очень узкие интервалы многих физических параметров, прежде всего ее массы и температурных условий. Кроме того, только звезды спектральных классов от F до K могут обеспечить условия, необходимые для эволюции возникшей жизни в многоклеточные формы.

Такая планета должна иметь:

- массу около $5 \cdot 10^{27}$ г;
- зоны с комфортным для АНКЖ интервалом температур окружающей среды (273-340 K);
- атмосферу, способную поглощать внешнюю жесткую радиацию, но прозрачную для фотонов с $E = 1 - 3$ эВ;
- достаточную плотность лучистой энергии;
- наличие других (химических) источников энергии, например, окислительной атмосферы;
- умеренный уровень гравитации планеты;
- не слишком большой период вращения;
- открытые водоемы и водяной пар в атмосфере при наличии на планете континентов или крупных островов;
- умеренный эксцентриситет орбиты;
- не слишком большой наклон экватора к плоскости орбиты;
- эпохи интенсивного выпадения крупных метеоритов или других космических катастроф, которые стимулируют обновление видов и появление среди них наиболее приспособленных;
- наличие достаточно близкого и массивного спутника (одного или нескольких);
- вулканизм и/или тектонику плит.

Введение.

Процесс возникновения и развития жизни на планете можно разделить, как минимум, на два этапа: (а) протозоя — возникновение и эволюция простейших (одноклеточных) организмов; (б) переход от простейших к многоклеточным и их дальнейшая эволюция в разумные существа. По мере расширения исследований по проблеме SETI становится все более

важным понять именно переход между этими этапами. Несмотря на нерешенность вопроса о происхождении простейших форм жизни, не вызывает сомнений, что этап (а) определяется многочисленными физическими факторами, действующими на планете [1]. В принципе, эти факторы поддаются анализу. Вместе с тем, инициирующий механизм перехода между этапами (а) и (б) остается, как это часто отмечается, совершенно неизвестным. С.Дж. Гулд [2] считает, что вероятность перехода к этапу (б) значительно ниже, чем само появление протозойи на некоторой планете. Почти 4/5 всей истории планеты Земля приходится на безраздельное царство одноклеточных. Комментируя поразительное внезапное и массовое появление многоклеточных 570 млн. лет назад (известное как “кембрийский взрыв”) в своей книге “Удивительная жизнь”, Гулд пишет: “...только последняя 1/6 времени существования жизни на Земле включает многоклеточные организмы... И если вы, тем не менее, хотите рассматривать... переход от симбиоза к интеграции как упорядоченный процесс, объясните мне, почему потребовалось больше половины истории жизни на Земле, прежде, чем начался этот процесс... Космология утверждает, что Солнце уже находится в середине своего жизненного пути... Так как человеческий интеллект возник всего “геологическую секунду” назад, мы сталкиваемся с тем удивительным фактом, что эволюция жизни до уровня самосознания потребовала половины всего потенциального времени существования Земли”.

В настоящей работе рассматриваются вероятные ограничения, с которыми встречаются возникновение и эволюция жизни на планетах. Факторы, действующие на этапах (а) и (б), существенно различны. Одна их часть относится к самому возникновению простейших форм жизни, а другая к ее переходу к сложным многоклеточным организмам. Разумеется, рассматриваемая ниже “комфортность” физических условий понимается применительно именно к нашей, аминокислотно-нуклеиновой форме жизни (далее — АНКЖ), поскольку другого пока не дано. В качестве вероятной Среды обитания приняты гипотетические планеты, аналогичные группе Земли. Планеты-гиганты (газо-жидкой природы), если не принимать всерьез некоторые фантастические гипотезы, требованиям АНКЖ не удовлетворяют и здесь не рассматриваются.

Пониманию того, как и какие физические условия ограничивают возможность образования биосферы, значительно способствует накопление данных в сравнительной планетологии Солнечной системы. Анализ показывает, что гармоничное сочетание целого ряда характеристик планеты, необходимое для того, чтобы жизнь на ней могла возникнуть, может оказаться не таким исключительным и маловероятным, как те

условия, которые необходимы для превращения возникшей протозои в сложные многоклеточные организмы. Рассмотрим сначала ограничения, существенные для возникновения простейших форм жизни.

Ограничения по температуре. Звезды поздних классов. Большая полуось и эксцентриситет орбиты. Период вращения. Наклонение экватора к плоскости орбиты.

Было показано [3], что в гипотетических планетных системах звезд поздних классов не выполняются условия, необходимые для возникновения и развития жизни. Для звезд более поздних классов, чем **K5**, единственная известная аминокислотно-нуклеиновая форма жизни должна встретиться с серьезными проблемами из-за низкой плотности полезной радиации. Для случая же звезд солнцеподобного (**G2**) класса, “комфортная зона” достаточно широка, но ограничена. Например, Л.Р. Дойл [4] приводит следующие ограничения: с одной стороны, существование жидкой воды, с другой — конденсация углекислого газа (что в подавляющем большинстве случаев не позволяет развиваться парниковому эффекту). С учетом последнего, такая зона охватывает интервал планетных орбит от уровня “саморазгоняющегося” парникового эффекта (для Солнечной системы это — случай Венеры), до, примерно, орбиты Марса. Легко видеть, что оба ограничения, по существу, температурные. В комфортных зонах температурный интервал должен быть намного уже; коагуляция белков происходит при температуре $> 65^\circ \text{C}$, следовательно, $273 < T < 340 \text{ K}$. Если под T понимать такую же, как у Земли, равновесную температуру планеты (с большой полуосью орбиты a и сферическим альбедо A_b , находящуюся в системе звезды, создающей болометрическую освещенность E_1), то условием равенства последней с солнечной болометрической постоянной (E_0) будет:

$$a = \left[2.512 \cdot \exp(M_b - M_0) \right]^{1/2}, \quad (1)$$

где M_b и M_0 — абсолютные болометрические светимости звезды и Солнца. При равных альбедо Земли и такой гипотетической планеты равновесная температура последней будет равна земной:

$$T = \left[(1 - A_b) E_1 / (4a^2 \sigma) \right]^{1/4}, \quad (2)$$

где σ — постоянная Стефана-Больцмана.

Если не учитывать другие факторы, может возникнуть впечатление, что за счет уменьшения большой полуоси орбиты a можно добиться таких же, как на Земле, условий на планетах звезд поздних классов, имеющих низкую абсолютную светимость. Такое предположение высказывал К. Саган [5]. В работе [3] была рассмотрена выполнимость условий этой гипотезы применительно к звездам поздних спектральных классов, от **K4** до **M3**, и показано, что во всех случаях большая полуось a оказывается меньше, чем для орбиты Меркурия (0.39 а.е.). Исключение — σ^2 Эридана (0.59 а.е.). Для звезд классов **M5** и **K3** величина a составляет всего от 33 до 6 млн. км. Период обращения такой планеты зависит от массы звезды M и в рассматриваемых случаях составит от 3 до 6 дней:

$$P = 2\pi \frac{a^3}{\gamma M} \quad (3)$$

(здесь γ — гравитационная постоянная). При столь малых a возникает сильное приливное рассеяние энергии; такая планета неизбежно потеряет свой вращательный момент и окажется в резонансной “ловушке” с синхронизацией вращения и обращения. (Можно напомнить, что в Солнечной системе в таких условиях находятся Меркурий, Венера, Луна и близкие спутники всех планет-гигантов. Согласно же принципу изохронизма начальный период вращения у всех планет был примерно одинаков и близок к 6-8 часам, и более или менее сохранился у планет-гигантов). У небесного тела, оказавшегося в “ловушке”, даже в случае непрямого резонанса (соизмеримости) одна сторона окажется раскаленной, другая очень холодной. Пример — планета Меркурий, с температурами 670 и 80 К соответственно. Наличие плотной атмосферы (как у Венеры) может полностью сгладить эти различия, но тогда возникают другие проблемы, о которых речь пойдет ниже. Если же атмосфера тонка и состоит, главным образом, из углекислого газа (что типично для первичных атмосфер⁴), она станет конденсироваться в ловушке на холодной стороне планеты и вскоре от нее мало что останется. Известный пример — полярные шапки Марса. Такова же должна быть участь морей и океанов на подобной планете. Возникновение жизни в таких условиях проблематично.

В работе [3] был сделан следующий вывод: для всех звезд, начиная с класса **K5V** и до поздних звезд класса **M**, существование планет, пригодных для обитания, представляется сомнительным. По-видимому,

⁴Иногда “первичными” называют гипотетические планетные атмосферы, захваченные из протопланетной туманности и потерянные на стадии Т-Тельца. По-видимому, в чистом виде такой процесс не реализовался. Захват комет, планетезималей и более мелких тел сопровождался непрерывной дегазацией материала, с образованием атмосфер, которые мы называем первичными.

имеются ограничения и для классов, более ранних, чем класс **G**, о чем писал Шкловский [6].

С ограничениями, вытекающими из соизмеримостей (орбитально-вращательных резонансов), сходны проблемы, создаваемые большим наклоном экватора к плоскости орбиты (случай Урана). Полярная ночь на такой планете длится до полугода, что ограничивает ее пригодность для обитания. Ограничения создает также слишком большой период вращения, т.к. слишком долгая ночь, когда “выключен” фотосинтез, лишает слабо защищенный организм источников энергии. Как известно, растения Земли ночью потребляют кислород, что свидетельствует об их непрерывных потребностях в энергии. Но в первичных атмосферах кислорода практически нет, поэтому слишком долгая ночь может оказаться критическим фактором для возникновения АНКЖ.

Пределы “комфортной” зоны, о которой говорилось выше, резко сужаются, если эксцентриситет орбиты ε велик; в первом приближении Δa уменьшается как $(1 - \varepsilon)^2$. Это более жесткое условие, чем долгая ночь, поскольку продолжительность слишком холодного или жаркого времени составляет полгода. Поэтому планеты с большим эксцентриситетом орбиты также мало пригодны для АНКЖ.

Наличие открытых водоемов и водяного пара в атмосфере. Атмосфера. Возможная роль вулканизма и тектоники плит. Ограничения на минимальную и максимальную массы планеты.

Согласно существующим представлениям, жизнь возникла в теплых мелких водоемах, насыщенных пребиотическими соединениями. Источниками таких соединений в первую очередь должны быть подводные вулканы и рифы в зонах разломов, где в земных условиях наблюдается поразительное богатство живых форм. Сами продукты аккреции планетезималей и кометарного материала без мощной тепловой обработки в вулканических зонах вряд ли обеспечат наличие жизненно необходимых пребиотических материалов. Вулканизм же в широком смысле — следствие тепловых процессов в недрах планеты. Поэтому для зарождения жизни косвенно необходимы такие явления, как конвекция в ядре, мантии и литосфере планеты.

В свою очередь, развитие конвекции в значительной мере определяется глобальной геохимической дифференциацией с выделением состоящего из тяжелых пород ядра и образованием мантии и литосферы, обогащенной легкими элементами. Радиоактивные изотопы калия, урана и тория, наряду с освобождением энергии в процессе геохимической

дифференциации, — главные источники эндогенного тепла на послееккреционной стадии. Здесь мы встречаемся с еще одним ограничением: для развития охватывающей всю планету геохимической дифференциации ее масса должна быть достаточно большой; можно даже указать — какой. Так, на Марсе из-за малой его массы ($6.4 \cdot 10^{26}$ г) глобальная геохимическая дифференциация оказалась заторможенной, хотя локальные процессы такого рода (Фарсида) оставили самые большие в Солнечной системе вулканические образования. Недра Венеры ($4.9 \cdot 10^{27}$ г), по-видимому, переработаны полностью [7], хотя данных о потоке эндогенного тепла для нас пока нет. Наконец, Земля ($6 \cdot 10^{27}$ г) обладает всеми признаками мощной геохимической дифференциации. (Из этого ряда выпадает Меркурий: его масса всего $3.3 \cdot 10^{26}$ г, но налицо такие несомненные признаки геохимической дифференциации, как магнитное поле и высокая средняя плотность. Причина, согласно одной из гипотез, может лежать в том, что Меркурий когда-то мог быть спутником Венеры, а переработка его недр была инициирована диссипацией энергии его вращательного момента в приливных явлениях).

Таким образом, масса планеты земной группы, пригодной для возникновения АНКЖ, лежит вблизи $5 \cdot 10^{27}$ г. Эта же цифра следует и из совсем другого условия: сохранения атмосферы планеты. Сформулированное выше условие — возникновение АНКЖ в неглубоких водоемах — подразумевает наличие у планеты устойчивой атмосферы (с первичным составом из углекислого газа CO_2 и паров воды). Атмосферы подвержены тепловой (джинсовской) и нетепловой диссипации, причем из-за фотолиза пара H_2O освобождается водород, убегающий в первую очередь. Тепловая диссипация создает поток атомов водорода:

$$\Phi_H = \frac{n_H V_T}{2\sqrt{\pi}} \left(1 + \frac{\gamma M m_H}{R_c k T_c} \right) \exp \left(-\frac{\gamma M m_H}{R_c k T_c} \right). \quad (4)$$

Здесь n_H и m_H — численная концентрация и масса диссипирующего атома, k и γ — постоянные Больцмана и тяготения, R_c и T_c — радиус планеты по критическому уровню и температура на последнем, V_T — тепловая скорость атомов:

$$V_T = \sqrt{k T_c / m_H}. \quad (5)$$

Таким путем Земля теряет около 10^8 г водорода в сутки (что составляет однако пренебрежимо малую величину по сравнению с массой океана, $1.45 \cdot 10^{24}$ г).

Наряду с джинсовской, значительную роль играет нетепловая диссипация атмосферы. Природа этого явления связана с обменом импульсами в процессе столкновений атомов, в результате чего атомы тяжелых

газов тоже приобретают достаточную для убегания скорость. Как было показано, благодаря этому в нетепловой диссипации потери кислорода сопоставимы с потерями водорода [8, 9].

Из (4) легко видеть, что процесс убегания атмосферы экспоненциально растет с уменьшением массы планеты. Атмосферой, блокирующей жесткую радиацию, разрушающую РНК и ДНК, может обладать лишь достаточно массивная планета. С другой стороны, если атмосфера слишком плотна, фотоны с энергией $1 - 3$ эВ, необходимые для фотосинтеза, поверхности не достигают (случай Венеры). В этом случае нет необходимого для поддержания жизни притока энергии. Наконец, в химический состав первичной атмосферы (сохранившейся у Венеры и Марса) не входит в сколько-нибудь значительных количествах кислород, обеспечивающий вместе с окисляемыми материалами энергетическое обеспечение жизни. (Кислород в земной атмосфере, как известно, вторичного, биогенного происхождения).

Возможен также случай, когда спектральное пропускание атмосферы отвечает требованиям АНКЖ, но плотность радиации низка. В этом случае не выполняются температурные ограничения, которые рассматривались выше и в упомянутой работе [4].

По-видимому, то обстоятельство, что при близких массах Венеры и Земли последняя каким-то образом избежала формирования чересчур массивной атмосферы, указывает на важную роль ее других характеристик. Возможно, масса Земли несколько превышает оптимальную для АНКЖ величину и удовлетворяет ее условиям лишь в счастливом сочетании с другими факторами.

Сформулированные выше ограничения объясняют также, почему даже крупные спутники не могут рассматриваться в качестве возможных обитаемых тел: их масса не позволяет удержать атмосферу и не отвечает другим перечисленным условиям. Среди 60-ти спутников планет Солнечной системы лишь один, спутник Сатурна Титан, обладает плотной атмосферой. Но это как раз исключение, подтверждающее правило: его атмосфера удерживается благодаря крайне низкой температуре, около 80 К, что исключает какие-либо перспективы для АНКЖ.

Находки внесолнечных планет.

Недавние открытия планет у других звезд укрепляют оптимизм в отношении поиска жизни во Вселенной. Его поддерживают также предварительные результаты анализа окаменелостей возможных марсианских микроорганизмов [10]. Работы об обнаружении планет (с массами 2.8 и 3.4 земной) у нейтронной звезды (пульсара) PRS B1257+12 [11, 12],

весьма интересны сами по себе. Такие миры могут быть весьма экзотичными. Однако эти работы остаются за пределами нашей темы и скорее иллюстрируют рассмотренные выше ограничения.

В этом отношении очень важны новые публикации [13, 14, 15]. У трех звезд солнечного типа (51 Peg, 47 Uma, 70 Vir) найдены спутники с относительно малой массой. Рассматриваются еще несколько возможных кандидатов. Пока методика исследований не позволяет обнаружить планеты земного типа; это тела с массой, близкой к Юпитеру. Тем не менее, это первое, более или менее прямое свидетельство существования других планетных систем. Большинство обнаруженных планет расположены очень близко от материнской звезды, но это, опять-таки, следствие селекции используемого метода. Нет сомнений, что среди соседей уже найденных планет однажды будут найдены и такие, которые удовлетворяют требованиям АНКЖ, сформулированным выше.

Роль массы планеты, ее спутника и некоторые другие ограничения, существенные для возникновения сложных форм жизни.

Более сложно выделить критические факторы, действующие на этапе (б), поэтому ниже они рассматриваются лишь схематически.

К моменту появления на планете многоклеточных организмов, энергетические потребности которых достаточно велики, окислительная атмосфера (как результат деятельности бесчисленных поколений водорослей) уже должна существовать. Радикальная смена палеоформ, как показывают исследования, и образование новых организмов часто следовали за гигантскими катаклизмами, такими как соударения с Землей крупных метеоритных тел, изменения климата и другими. Крупной вехой был выход животных на сушу. По-видимому, полное изменение образа их жизни подтолкнуло эволюцию к образованию новых форм. На планете, не имеющей островов и сплошь покрытой океаном, такие условия не могли бы возникнуть. Труднее предсказать ход эволюции жизни на планете, имеющей лишь небольшие водоемы на континенте глобальной протяженности.

Важную роль, как на ранних этапах (а), так и при переходе от морских к сложным видам, обитающим на суше, должны играть приливные явления в океане, вызываемые периодичностью гравитационного влияния массивного и близкого спутника планеты, подобного Луне. В отливах обнажаются отмели, и простейшим организмам становится доступен поток радиации звезды, а сложные виды приспосабливаются к предстоящему выходу на сушу. Кроме того, тепловая диссипация энергии

приливов в твердом теле планеты ускоряет, по-видимому, развитие геохимической дифференциации на ранних этапах истории планеты. Уже упоминалась весьма любопытная (и, насколько можно судить, обоснованная расчетами) гипотеза, объясняющая как замедленное вращение Венеры, так и ее и Меркурия глубокую геохимическую дифференциацию. Авторы гипотезы предполагают, что в ранней истории Солнечной системы эти тела составляли столь же тесную пару, как Земля и Луна [16]. Предполагается, что большая масса Меркурия (и изначально быстрое вращение Венеры) в ходе приливного рассеяния энергии привели к его постепенному удалению и, в конечном счете, к его переходу на независимую орбиту.

Масса планеты накладывает дополнительные ограничения при переходе от протозойи к многоклеточным формам. Это ограничения энергетического характера, зависящие от уровня гравитации. Энергетически выгодны небольшие организмы, так как их энерговооруженность, при прочих равных условиях, обратно пропорциональна примерно квадрату характерных линейных размеров. Характерное ограничение — выраженный “потолок” масс летающих птиц. С другой стороны, достаточно сложные животные не могут быть маленькими. Однако слишком крупные виды вынуждены существовать в эволюционном тупике, образуемом положительной обратной связью энергетика-масса-пища. Ограничения очевидны, и о них природа ясно говорит зоологией: животных, больших, чем киты и гигантские рептилии, на Земле не было. Для своего жизнеобеспечения они должны поглощать невероятные количества пищи.

По-видимому, все существа с достаточно сложным поведением неизбежно имеют большие размеры. К самым крупным животным на Земле относится и человек. В этом легко убедиться, если короткий список животных, больших, чем человек, сравнить с бесчисленным перечнем других обитателей Земли. Тем не менее, размеры человека явно оптимальны, что иллюстрирует хотя бы его способность состязаться в скорости с большинством других животных, сохраняя умеренные потребности в пище. Роль гравитации (и массы планеты) здесь очевидна. Таким образом, масса планеты еще раз выступает, теперь уже в качестве критического фактора на чисто биологическом уровне, при формировании экологических ниш.

Заключение.

Данные сравнительной планетологии показывают, что возможные пути эволюции планет неоднозначны и приводят к разительно непохожим

результатам даже при относительно близких исходных предпосылках — сходных характеристиках планет. Для возникновения и развития АНКЖ планета должна удовлетворять большому числу требований, иногда противоречивых. В частности, существование комфортной температурной зоны определяется многими параметрами, включая свойства атмосферы.

Строго говоря, есть некоторые признаки того, что АНКЖ могла бы приспособиться и к более высоким температурам, чем упоминавшийся выше интервал $273 < E < 340$ К. Известные клубеньковые бактерии в своем метаболизме используют, без вреда для себя, энергии пиелектронных связей, достигающие 10 и более эВ. Если рассматривать такие энергии, как воздействие на бактерии эквивалентных (по своему эффекту) температур, они могли бы существовать и на Венере.

Странное образование, которое можно видеть на панораме, переданной аппаратом “Венера-9” в октябре 1975 г. с поверхности этой планеты, позволило автору наполовину в шутку высказать предположение [17] о возможности жизни при температурах около 740 К (условия Венеры). Такое предположение кажется достаточно фантастичным, поскольку на Венере отсутствуют сформулированные выше условия. Кроме того, даже если такой метаболизм возможен, нуклеиновые кислоты высоким температурам противостоять не смогут; следовательно, об аминокислотно-нуклеиновой форме жизни здесь говорить не приходится.

Резюмируя, перечислим основные критические для существования аминокислотно-нуклеиновой формы жизни (АНКЖ) факторы планеты, которые образуют своеобразный лабиринт со множеством тупиков. Прежде всего, планету, пригодную для возникновения жизни, следует искать только в планетных системах звезд, начиная от спектрального класса **F** до ранних подклассов **K**. Такая планета должна обладать следующими особенностями:

- наличие зон с комфортным для АНКЖ интервалом температур окружающей среды;
- способность атмосферы поглощать внешнюю жесткую радиацию;
- доступ сквозь атмосферу к поверхности фотонов с $E = 1 \div 3$ эВ;
- достаточная плотность лучистой энергии;
- наличие других (химических) источников энергии, например, окислительной среды и окисляемых материалов;
- умеренный уровень гравитации планеты;

- не слишком большой период вращения;
- наличие на планете открытых водоемов, водяного пара в атмосфере, континентов или крупных островов;
- наличие достаточно близкого и массивного спутника;
- определенная величина большой полуоси орбиты, достаточно жестко связанная со светимостью звезды;
- умеренный эксцентриситет орбиты, а также не слишком большой наклон экватора к плоскости орбиты;
- вулканизм и/или тектонику плит;
- существование эпох интенсивного выпадения крупных метеоритов или других космических катастроф, которые стимулируют обновление видов и появление среди них наиболее приспособленных;
- масса планеты достаточно жестко ограничена, около $5 \cdot 10^{27}$ г.

Земля представляет собой уникальное сочетание физических свойств, необходимых для АНКЖ и ее перехода к многоклеточным формам, не повторяющееся ни на одной из планет земной группы. Анализ показывает, что лишь очень узкие интервалы многих параметров и их сочетания могут обеспечить условия, необходимые для возникновения аминокислотно-нуклеино-кислотной формы жизни и ее эволюции в разумные формы. Возможно ли подобное сочетание на планетных системах других звезд — станет ясным не раньше, чем системы, подобные Солнечной, будут реально обнаружены.

Литература

1. de Duve, C. / *5th International Conference on Bioastronomy Abstracts*, 1996, Capri, Italy, Paper S3-01.
2. Gould, S.J. *Wonderful Life*, 1989, New York: Norton & Company, 310 p.
3. Ksanfomality, L.V. / *Preprint IAF-85-495 of the 36th Congress of the International Astronautical Federation*, 1985, Stockholm, 1.
4. Doyle, L.R. // *Bioastronomy News*, 1994, **6**, № 3, 1.

5. Саган, К. / В сб. *“Проблема СЕТИ”*. (Ред.С.А.Каплан, 350 с.), 1975, М.: Мир, 39.
6. Шкловский И.С. / *Вселенная, жизнь, разум*. (Изд.3). 1973. М.: Физматлит, 335 с.
7. Ксанфомалити, Л.В. / Планета Венера, 1985, М., Физматлит, 376 с.
8. Bertaux, J.L., Lepine, V.M., Kurt, V.G., Smirnov, A.S.) // *Icarus*, 1982, **52**, № 2, 221.
9. Fox, J.L. // *Geophys.Res.Lett.*, 1993, **202**, 1747.
10. Hartsfield, J. And Salsbury D. / *NASA Press Release*, 1996, 96.
11. Wolszczan, A. and Frail, D.A. // *Nature*, **355**, 1992, 145.
12. Wolszczan, A. // *Science*, 1994, **264**, 538.
13. Guillot, T., Saumon, D., Marley, M.S., Freedman, R.S., Hubbard, W.B., Lunine, J.I., Burrows, A. / *5th International Conference on Bioastronomy Abstracts*, 1996, Capri, Italy, Paper S2-5.
14. Marcy, G.W. and Butler R.P. / *ibid.*, Paper S2-08.
15. Mayor, M. And Queloz D. / *ibid.*, Paper S2-07.
16. van Flandern, T.C. and Harrington, R. // 1976, *Icarus*, **28**, № 4, 435.
17. Ксанфомалити, Л.В. / 1978, *Планеты, открытые заново*. М.: Наука, 152 с.

А.В. Архипов (РИАН)

Техногенный компонент межзвездной среды

Аннотация

Показано, что Земля способна играть роль естественного коллектора внеземных нестерильных артефактов, которые могли спонтанно выпадать на нашу планету. Такие артефакты могут быть агентом межзвездной панспермии даже при современных темпах загрязнения межпланетного пространства.

Extraterrestrial technogenic component of the interstellar medium by A.V.Arkhipov

It is shown, that the Earth is a natural collector of extraterrestrial nonsterile artifacts which could spontaneously fall on our planet. Such artifacts can be an agent for the interstellar panspermia even for the modern space pollution rate.

Введение.

Современное SETI, как практика поиска сигналов и утечки излучений внеземных цивилизаций (ВЦ), отражает привычку астрономов работать почти только с излучениями небесных тел. Вот почему лишь 37 лет — незначительная часть ($\sim 3 \times 10^{-9}$) времени существования Галактики — были доступны для классического SETI. Это обстоятельство вполне способно привести к отрицательному результату и породить иллюзию нашего одиночества, хорошо описанную И.С. Шкловским [1]. Тем не менее существуют методы поиска, способные охватить миллиарды лет и значительную часть “пояса жизни” Галактики без каких-либо спекуляций о желании и средствах ВЦ контактировать с нами, а также совершать межзвездные перелеты. Одним из таких подходов является поиск внеземного космического мусора — артефактов, спонтанно выпадавших на поверхность Земли.

Освоение космического пространства приводит к неизбежному загрязнению Солнечной системы благодаря росту числа отработавшей космической техники (фрагменты ракетополетов, исчерпавшие свои ресурсы космические станции и т.п.), из-за выбросов микрочастиц ракетными двигателями, взрывов пироболтов, преднамеренных и спонтанных взрывов космических аппаратов, выбросов фекалий космонавтов и астронавтов, наконец. Давление света, гравитационное взаимодействие с планетами, столкновения и взрывы (подобно спонтанным взрывам спутников Земли) артефактов во внешних частях планетной системы способны привести к эффективной, неизбежной спонтанной утечке меж-

планетного мусора в межзвездную среду даже без межзвездных полетов [2].

Те же процессы в других планетных системах могли бы привести к формированию техногенного компонента межзвездной среды, даже если межзвездные перелеты в Галактике никогда не осуществлялись.

Утечка артефактов в межзвездную среду.

Для оценки эффективности процесса выброса космического мусора из планетной системы при гравитационных взаимодействиях артефактов с массивной планетой, автор выполнил компьютерное моделирование эволюции облака из 40 тысяч предметов методом Монте-Карло. При этом использовался метод сфер действия, широко применяемый в моделировании динамической эволюции большого числа малых тел в поясе астероидов (см., например [3, 4]). Была принята следующая модель:

а) артефакты одновременно инжектируются в межпланетное пространство случайно расположенными источниками, движущимися по круговой орбите радиуса R_i вокруг звезды солнечной массы и радиуса (этот случай эквивалентен и неодновременной инъекции даже одним источником, но за время гораздо меньшее характерного времени эволюции облака);

б) начальная скорость каждого артефакта относительно источника направлена совершенно случайно и равна V_a (опять же относительно источника);

в) возмущающая планета с характеристиками Юпитера движется вокруг звезды по круговой орбите с радиусом, равным средней большой полуоси орбиты Юпитера; орбитальные плоскости планеты и инжектора (либо инжекторов) совпадают;

г) движение артефактов вне сферы действия планеты считается невозмущенным, а внутри таковой траектория артефакта вычисляется в приближении задачи двух тел: планета—артефакт (в этом как раз и состоит суть метода сфер действия); критерии применимости метода сфер действия [3] выполнялись при всех использовавшихся параметрах модели.

Рассматривались два варианта: инъекция из пояса астероидов ($R_i = 2.7$ а.е. — медианное значение большой полуоси орбит астероидов Солнечной системы [5]) и инъекция из окрестностей обитаемой планеты ($R_i = 1$ а.е. — большая полуось орбиты Земли). В каждом варианте анализировались “плоский” и “трехмерный” случаи, при которых начальный вектор скорости артефакта либо лежал в плоскости орбиты планеты, либо же мог иметь любую ориентацию в трехмерном пространстве.

Полученное число артефактов (N), выброшенных в межзвездную среду, оказалось возможным аппроксимировать выражением

$$N = N_0 \left[1 - e^{-t/\tau} \right],$$

где: N_0 — полное число артефактов, которые могут быть выброшены; t — время, прошедшее с момента инъекции; τ — характерное время эволюции облака артефактов.

В процессе моделирования выяснилось, что артефакты, инжектированные из окрестностей обитаемой планеты, могут просачиваться в межзвездную среду при условии: $V_a > 8.6$ км/с. Поскольку при $V_a > 12.4$ км/с часть артефактов изначально имеет гиперболические скорости, моделирование выполнялось при более низкой начальной скорости: $V_a = 10$ км/с. Суммарная доля артефактов, покидающих планетную систему, оказалась равной 17.8% в плоском случае и 3.4% в трехмерном. Характерное время этого процесса равно соответственно $\tau = 280$ лет и $\tau = 600$ лет.

В случае инъекции из поясов астероидов просачивание в межзвездную среду имеет место уже при $V_a > 2.5$ км/с, а при $V_a > 7.5$ км/с часть артефактов покидает планетную систему сразу же. При начальной скорости $V_a = 5$ км/с приблизительно 32.1% артефактов покидает систему в плоском случае и 7.8% в трехмерном. Шкала времени при этом равна соответственно $\tau = 540$ годам и $\tau = 1650$ годам.

По-видимому, к звездам может уйти еще больше артефактов, чем оценено выше. Ведь неучтенная оскуляция орбит вне сферы влияния планеты увеличивает число артефактов, достаточно близко проходящих около планетной орбиты.

Приведенные выше оценки не противоречат модельным расчетам других авторов. Так, по данным П.Фаринеллы и др. [6], на гиперболические орбиты выбрасывается порядка 30% околоземных астероидов. А в “плоской” модели С.И.Ипатова не менее трети астероидов из разных частей Солнечной системы уходили в межзвездное пространство [4].

Таким образом, значительная часть космического мусора неизбежно должна просачиваться в межзвездную среду за относительно небольшое время (по геологическим и астродинамическим масштабам).

Аккумуляция артефактов на Земле.

Если существуют межзвездные артефакты, некоторые из них могут случайно падать на Землю. Такие события вполне могут происходить достаточно часто для их обнаружения. Действительно, автором было по-

казано, что если всего 1% материала астероидов Солнечной системы переработан в межзвездные артефакты массой по 100 г и 1% планетных систем (или одна звезда из 3000) когда-либо генерировал такие артефакты и в таком количестве, то на Землю должно было бы выпасть порядка четырех тысяч предметов, что в принципе обнаружимо [2].

Межзвездные артефакты могли бы, по крайней мере, частично сохраниться при торможении в атмосфере. Поскольку нижний порог по массе коллекций метеоритов равен ~ 1 г, то 100-граммовый артефакт может быть обнаружен, если от него сохранилось не менее 1%. Согласно известному уравнению Фишера ($m/m_0 = \exp(-\sigma v_g^2/2)$), где: m и m_0 — соответственно конечная и начальная массы метеорита; σ — коэффициент абляции; v_g — начальная геоцентрическая скорость артефакта [7]), — выпавшая на Землю часть метеорита равна $m/m_0 > 0.01$, если $v_g^2 < 9.2/\sigma$. При случайной ориентации гелиоцентрической скорости артефакта около Земли ($v_h = 54.3$ км/с, если скорость артефакта вне Солнечной системы равняется типичной гелиоцентрической скорости ближайших звезд, или 32.5 км/с; [2]) мы можем оценить вероятность выполнения условия “выживания” предмета: $v_g = |v_h - v_e| < (9.2/\sigma)^{1/2}$ (где: $v_e = 29.9$ км/с — орбитальная скорость Земли):

$$P = [1 - (v_h^2 + v_e^2 - 9.2/\sigma)/(2v_h v_e)]/2.$$

Отсюда следует, что обнаружение артефакта возможно ($P > 0$) при $\sigma < 1.5 \times 10^{-8} \text{ с}^2/\text{м}^2$ (для обычных метеоритов принято: $\sigma_0 \sim 2 \times 10^{-8} \text{ с}^2/\text{м}^2$ [8]). Это близкие значения. Кроме того, известны материалы, у которых удельная теплота испарения (Q) отличается от аналогичного показателя метеоров ($Q_0 = 8 \times 10^6$ Дж/кг [8]). Например, артефакт из бора имеет тепло плавления и испарения $Q = 5.53 \times 10^7$ Дж/кг [9]. Тогда имеем: $\sigma = \sigma_0 Q_0/Q = 2.9 \times 10^{-9} \text{ с}^2/\text{м}^2$ и $P = 0.40$. Следовательно, находки внеземных артефактов на Земле не исключены даже без межзвездных экспедиций в Солнечную систему.

Конечно, геоцентрические скорости и абляция предметов при падении их из межпланетного пространства более благоприятны для сохранности артефактов, чем при торможении межзвездного материала. Чужая космическая деятельность в Солнечной системе [10] могла бы привести к загрязнению межпланетной среды задолго до начала космической эры. По крайней мере, существуют интересные кандидаты в чужие артефакты, находящиеся на гелиоцентрических орбитах (например, [11]). Чужой космический мусор может спонтанно падать на Землю, подобно современным искусственным спутникам Земли. Вот почему поиск кандидатов в такие события имеет смысл и достоин обсуждения.

Например, распад искусственного спутника на обломки разного химического состава выглядит как разноцветный (пестрый) болид. Такой феномен не был известен метеорной астрономии до 1957 года [7]. Тем не менее, редкие пестрые болиды наблюдались, например, в 1926 г. [12] и в 1936 г. [13]. В научной литературе описаны случаи выпадения из болидов необычных образований (“псевдометеоритов”) еще до 1957 г. Например, Итонский метеорит упал на глазах очевидца 10 мая 1931 года и обжигал пальцы, когда был подобран. Его гантелеобразная, сглаженная форма соответствует латуни — искусственному сплаву [14]. Существуют и другие находки такого рода (см., например [15]).

Не исключено, что аналогичные события происходили и миллионы лет тому назад. По крайней мере, проблема “ископаемых артефактов”, обнаруженных в геологических слоях “дочеловеческого” возраста, уже фигурировала в научной литературе [16].

Конечно, приведенные примеры пока не могут считаться доказательством существования внеземного разума, они лишь иллюстрируют возможность нового подхода к SETI. Но, к сожалению, этот подход выходит за рамки профессиональной практики специалистов как по метеоритике, так и по SETI, а потому игнорируется.

Астроинфекционный порог.

Как отмечалось ранее [17], обезвоженные при низких температурах бактериальные споры в микроартефактах (например, в каплях ракетного топлива, в фекальном материале, и т.п.) — потенциальная опасность для нашей биосферы. Более того, был сформулирован *Астроинфекционный принцип*: даже умеренное загрязнение межпланетной среды одной планетной системы может привести к спонтанному инфицированию планет многих других систем. Следовательно, важно оценить минимальный порог загрязнения, достаточный для такой панспермии.

Поскольку существуют микроорганизмы диаметром 0.1-0.7 мкм (например, *M.aquaticus*, *M.minimus*, *M.subtilis* [18]) и они должны быть защищены от длительного ультрафиолетового облучения экраном толщиной ~ 1 мкм [18, 19], минимальный радиус артефакта для межзвездной панспермии мог бы быть принят как $a = 2$ мм. Эффект Пойнтинга-Робертсона ограничивает существование таких микросфер, движущихся в районе орбиты Юпитера, временем ~ 35000 лет [5], что более чем на порядок превышает время, достаточное для просачивания существенной части артефактов в межзвездную среду (см. выше).

Космические лучи — основное препятствие для межзвездной панспермии. Уровень радиации в межзвездном пространстве составляет \sim

4×10^{-7} рад/с [20]. Некоторые микроорганизмы (например, *Microcoleus*, *Phormidium*, *Synechococcus* [21]; *Clostridium botulinum* [22]) выживают при дозах ионизирующего излучения вплоть до $\sim 2.5 \times 10^6$ рад. Предел для *Micricoccus radiodurans* составляет 7×10^6 рад [23]. Согласно многочисленным экспериментам [21], предельная доза возрастает на порядок при облучении микроорганизмов при низких температурах в вакууме. Поэтому в межзвездной среде стерильность не может быть гарантирована при дозах облучения $< 10^7$ рад (формально это соответствует критерию стерилизации космических аппаратов по Джаффри [24]). Отсюда максимально допустимое время экспозиции: $t \sim (10^7 \text{ рад}) / (4 \times 10^{-7} \text{ рад/с}) = 2.5 \times 10^{13}$ с. При остаточной скорости артефактов в межзвездном пространстве $v_* \sim 10$ км/с (как у зондов “Пионер-10, 11” и “Вояджер-1, 2”) звезду окружает нестерильная зона (НСЗ) с радиусом $R = v_* t \sim 2.5 \times 10^{19}$ см = 8.1 пс.

В случае равномерной и изотропной инжекции артефактов в межзвездную среду пространственная плотность предметов на расстоянии d от их источника равна $M/(4\pi m R d^2)$, и среднее число артефактов, упавших на Землю в течение пересечения НСЗ, будет

$$n = \omega(M/m)(A/R)^2 \sim 4 \times 10^{-11} [1/\text{г}] M,$$

где: $\omega = 1.87 \times 10^{-9}$ — вероятность падения на Землю артефакта, находящегося ближе 1 пс от Солнца [2]; M — суммарная масса артефактов в НСЗ; $m = 3.4 \times 10^{-11}$ г — средняя масса артефакта, соответствующая сфере радиуса $a = 2$ мкм и плотности $\delta = 1$ г/см³. Здесь A — эффективный радиус орбиты Земли, скорректированный за гравитационную фокусировку артефактов и давление света:

$$A = 1.50 \times 10^{13} \text{ см} [1 + (1 - K^{-1}) V^2 / (v^2 + v_*^2)]^{1/2} = 2.16 \times 10^{13} \text{ см},$$

где $K = (1.7 \times 10^4 \text{ см/г}) a \delta$ — отношение силы солнечного притяжения и силы давления солнечного света на артефакт, [5]; $V = 42.1$ км/с — параболическая скорость в 1 а.е. от Солнца; $v = 32.5$ км/с — типичная гелиоцентрическая скорость ближайших звезд [2].

Согласно результатам экспериментов [25] падение микроартефакта на поверхность Земли может произойти без термической стерилизации, если геоцентрическая скорость предмета меньше чем 40 км/с. При случайной ориентации вектора скорости артефакта вероятность этого условия была оценена как $W = 0.14$ [17]. Тем не менее, солнечное давление излучения уменьшает параболическую скорость для микроартефакта, находящегося в 1 а.е. от Солнца, до величины: $(1 - K^{-1})^{1/2} V = 35.4$ км/с. Тогда пересмотренная оценка будет: $W = 0.20$.

Астроинфекционный порог может быть вычислен, исходя из минимального числа падений нестерильных артефактов на Землю во время пересечения НСЗ звезды: $nW > 1$. Отсюда получаем оценку минимальной суммарной массы микроартефактов в НСЗ, достаточной для инфицирования земноподобной планеты:

$$M > m(R/A)^2/(\omega W).$$

Так как НСЗ заполняется артефактами в течение длительного времени $\Delta t \sim R/v_*$, астроинфекционный порог темпов загрязнения межпланетного пространства равен:

$$M/(\Delta t \Omega) = mRv_*/(\omega \Omega W A^2) \sim 0.05 \text{ г/с},$$

где $\Omega \sim 0.1$ — вероятность гравитационного выброса артефакта в межзвездное пространство согласно результатам численного моделирования, приведенным выше.

Современные средние темпы увеличения общей массы космического мусора составляют $\sim 100 \text{ тонн/год} = 3.2 \text{ г/с}$ [26]. Следовательно, даже пара процентов современного потока материалов на орбите может привести к межзвездной панспермии (если такое мизерное загрязнение будет иметь место в межпланетном пространстве и будет продолжаться на протяжении времени заполнения НСЗ Солнца, т.е. $\Delta t \sim 8 \times 10^5$ лет). При этом опасности спонтанного инфицирования подвергнутся земноподобные планеты в окрестностях $N \sim 4\pi\rho_*R^3/3 = 290$ звезд (где $\rho_* = 4.43 \times 10^{-57} \text{ см}^{-3}$ — звездная плотность около Солнца [5]). Аналогично, порядка $\pi\rho_*vR^2T = 1.2 \times 10^6$ звезд могли бы заразить Землю в течение $T = 4.5 \times 10^9$ лет.

Выводы.

Из вышеизложенного следует:

1. Находки внеземных артефактов на Земле возможны, даже если Земля никогда не посещалась экспедициями из других планетных систем.
2. Следовательно, разумно пересмотреть априори отрицательное отношение экспертов к некоторым псевдометеоритам и предполагаемым артефактам, обнаруженным в третичных и более ранних геологических слоях. Тонкий изотопный анализ мог бы выявить внеземное происхождение некоторых из них.

3. Нестерильные артефакты способны играть роль агента спонтанной межзвездной панспермии даже при современных темпах загрязнения космического пространства около одной звезды из 1200000 (более того, межпланетная среда могла бы загрязняться биологическим материалом даже без технической деятельности — в результате бомбардировки астероидами планет с биосферами). Эта возможность должна быть принята во внимание в экологии, космической политике и дискуссии о происхождении жизни на Земле.

Литература

1. Шкловский И.С. О возможной уникальности разумной жизни во Вселенной. / *Астрономия. Методология. Мировоззрение*. М.: Наука, 1979, с.252-274.
2. Arkhipov A.V. // *The Observatory*, 1996, v.**166**, № 1132, p.175.
3. Ипатов С.И. // *Астрономический вестник*, 1995, т.**29**, № 1, с.11-23.
4. Ипатов С.И. // *Астрономический вестник*, 1995, т.**29**, № 4, с.304-330.
5. Аллен К.У. *Астрофизические величины*. М.: Мир, 1977.
6. Farinella P., Froeschle Ch., Froeschle C. Et al., // *Nature*, 1994, v.**371**, № 6495, p.314-317.
7. Астапович И.С. *Метеоритные явления в атмосфере Земли*. М.: ГИФМЛ, 1958.
8. Бронштэн В.А. *Физика метеорных явлений*. М.: Наука, 1981, с.31.
9. Martin, A.R. // *Project Daedalus*, Journal of the British Interplanetary Society, Supplement, 1978, S116-S121.
10. Foster, G.V. // *Spaceflight*, 1972, v.**14**, № 12, p.447-453.
11. Steel, D., SETA and 1991 VG. // *The Observatory*, 1995, v.**115**, № 1125, p.78-83.
12. Flammarion, G.C. // *L'Astronomie*, 1927, t.**41**, Mai, f.230-231.
13. Kepler, F.W. // *Popular Astronomy*, 1936, v.**44**, p. 569.

14. Buseck, P.R., Holdsworth, E.F., & Scott, G.R. // *Meteoritics*, 1969, v.4, № 4, p.267.
15. Arkhipov A.V. // *Spaceflight*, 1995, v.37, № 3, p.94.
16. Corliss, W.R. (ed.) *Ancient Man: A Handbook of Puzzling Artifacts*, Glen Arm, Sourcebook Project, 1978, p.652.
17. Arkhipov A.V. // *The Observatory*, 1996, v.116, № 1138.
18. Федорова Р.И. Возможность распространения жизнеспособных зародышей в космическом пространстве. / *Жизнь вне Земли и методы ее обнаружения*. М.: Наука, 1970, с.125-135.
19. Weber P., Greenberg J.M. // *Nature*, 1985, v.316, № 6027, p.403-407.
20. Vurphy, J.R. // *Journal of the British Interplanetary Society*, v.34, № 11, p.466-476.
21. Имшенецкий А.А. Биологические эффекты экстремальных условий окружающей среды. / *Основы космической биологии и медицины*. Т.1. *Космическое пространство как среда обитания*. М.: Наука, 1975, с.271-316.
22. Вашков В.И. Современные методы и средства стерилизации космических объектов. / *Жизнь вне Земли и методы ее обнаружения*. М.: Наука, 1970, с.167-176.
23. Рубенчик Л.И. / *Поиск микроорганизмов в космосе*. Киев: Наукова думка, 1983. С.44.
24. Холл Л.Б. Карантин планет: принципы, методы и проблемы. / *Основы космической биологии и медицины*. Т.1. *Космическое пространство как среда обитания*. М.: Наука, 1975, с.391-417.
25. Hoyle, F., Wickramasinghe, N.C., Al-Mufty, S., // *Earth, Moon, and Planets*, 1986, v.35, № 1, p.79-84.
26. Heysmann, H., Space Debris. // *Spaceflight*, 1993, v.35, № 6, p.182-184.

Э.Н. Кауров (ЕААО)

SETI и проблема древних цивилизаций⁴

Обсуждая с Н.С.Кардашевым вопрос о месте проведения 1-ой Всесоюзной конференции по ВЦ (Бюракан), И.С.Шкловский, как об этом свидетельствуют его воспоминания [1], сказал следующее: “Именно там, на фоне древних камней Армении, свидетелей ушедших цивилизаций, на виду у ослепительной красоты снежной вершины Арарата, надо провести столь необычную конференцию”.

Был 1963 год. Проблема ВЦ только начинала организационно оформляться в нашей стране. В этом же году британский астроном Дж. Хокинс закончил первый этап своих пионерских исследований, которые стимулировали развитие нового направления на стыке гуманитарных и естественных наук — археоастрономии.

В изучении проблемы SETI, как комплексной задачи, в той или иной степени, также участвовали и представители гуманитарных, исторических наук. На Таллиннском симпозиуме (дек. 1981 года), школе-семинаре по проблеме SETI в Зеленчукской (1975 г.), на второй Бюраканской конференции (сентябрь 1971 г.), помимо астрономов, обязательно присутствовали какие-либо представители гуманитарных наук (истории, лингвистики и т.д.). Но их участие носило фрагментарный характер. Видимо, лишь на Таллиннском симпозиуме была предпринята попытка более широкого участия гуманитариев-неастрономов в этой тематике, однако, такое сотрудничество и взаимодействие астрономов и представителей гуманитарных наук происходили вне рамок научного сообщества, занимающегося проблемами SETI.

На первых порах и там возникали аналогичные сложности. К примеру, работа Дж. Хокинса по проблеме астрономической интерпретации интереснейшего памятника конца неолита — начала бронзового века (1700 г. до н.э.) Стоунхенджа была отрицательно встречена британскими археологами. Но затем, не без помощи известного астрофизика Ф. Хойла, проблема Стоунхенджа перешла в русло нормального научного изучения [2].

Последующее развитие археоастрономии позволило астрономам, работающим по этой проблеме, убедиться в том, что исторические науки, изучающие проблемы древности, выходят в настоящее время на качественно новый уровень в изучении древних цивилизаций, возможно,

⁴Идеи доклада стали основой постановки проблемы “SETI и древние цивилизации” на междисциплинарной конференции “Древняя астрономия: Небо и Человек” (Москва, ГАИШ, 19-24 декабря 1997 г.) См.лит-ру: **а)** Тезисы докладов. Программа конференции. 1997. Москва. **б)** Труды конференции. 1998. Москва.

представляющий интерес для специалистов, занимающихся SETI.

Дж. Хокинс еще в своих исследованиях Стоунхенджа столкнулся с целым рядом новых фактов исторического плана, которые он счел нужным отметить специально. Стоит привести выдержку из его книги, чтобы понять тот круг проблем, с которыми столкнулся астроном.

“На протяжении последних двух лет у меня постепенно складывалась следующая рабочая гипотеза: если я могу уловить соответствия, общую взаимосвязь или функции различных частей Стоунхенджа, то ведь его создатели должны были знать все эти факты. Ведомый этой гипотезой, я шел поистине невероятными путями. Задним числом она представляется мне консервативной, так как опирается на допущение, что строители Стоунхенджа были равны мне, но не умнее меня. Многие же факты, как, например, 56-летний цикл затмений, оставались прежде неизвестными ни мне, ни другим астрономам, но были открыты (вернее, вновь открыты) в процессе разгадки тайн Стоунхенджа.”

И далее, задаваясь вопросом, использовался ли Стоунхендж как своеобразная счетно-вычислительная машина для предсказания затмений и других календарных расчетов, Дж.Хокинс пишет, отвечая на этот вопрос: *“...Скептицизм можно распространить и на других исследователей, работающих в области древних культур. Неужели мы должны видеть следы губ на кубке, кровь на кинжале и искры, летящие из-под кремня, ударяющего по огниву, чтобы поверить, что все эти предметы действительно употреблялись?”*

Поставленный Дж.Хокинсом вопрос отражает весьма актуальную сегодняшнюю ситуацию, сложившуюся в исторических науках (в частности, археологии и истории Древнего мира) в процессе интерпретации новых фактов и концепций, связанных именно с выходом на новые рубежи исследования.

Не оказались в стороне от разрешения этой противоречивой ситуации и астрономы, занимающиеся проблемами археоастрономии. Более того, в каком-то смысле, они стимулировали развитие этого процесса, например, таким исследованием, как происхождение созвездий Зодиака [3]. Вопрос о значительно большей древности своеобразных, но сложных технологий, более характерных для современности, все больше проясняется в сторону позитивного ответа.

Сохранившиеся памятники древности, такие как египетские пирамиды или Стоунхендж, свидетельствуют о высокой инженерной строительной культуре древних, не похожей на нашу, поскольку воспроизвести эти сооружения при нынешней технологии затруднительно. Техни-

ческие приемы в древности сильно отличались от нынешних, хотя могли приводить к хорошим результатам даже по современным меркам. Так, древнерусские иконописцы расписывали внутреннюю сферическую поверхность куполов соборов, предварительно разметив ее координатной сеткой, отображающей проекцию прямоугольной системы координат на сферообразную поверхность куполов [2], при этом никакую ЭВМ они, естественно, не использовали. По современным понятиям, они пользовались аналоговым методом.

Дж. Вуд приводит пример оригинального инженерного решения при строительстве пирамид, когда египетские инженеры выравнивали строительные площадки под пирамиды с помощью высыхающей воды — поверхность получалась на уровне современной строительной точности [2]. Следовательно, можно утверждать, что хотя характер решения научных и технических проблем в древности был качественно иным, чем в современности, но результат в итоге был на уровне современных требований. Существует и еще ряд факторов, например, связанных с высоким технологическим развитием древнекитайской цивилизации [4].

В прямой связи с этим трактуется и вопрос о том, что непонятно для нас в соотношении между трудозатратами на сооружение “чудес света” и их реальным предназначением; этот вопрос решается, если принять во внимание, что эти колоссальные сооружения имели, по-видимому, высокую духовную ценность для древних, оправдывая затраченный на них труд [2]. Это означает, что система духовных ценностей древних цивилизаций, видимо, резко контрастировала с нашими современными понятиями.

Косвенным подтверждением этого является иная система мировоззрения древних и иные способы его выражения. Эта сторона подверглась существенному обсуждению в дискуссии круглого стола по проблеме “Зодиак в истории культуры” [5], в которой приняли участие астрономы, историки астрономии, историки Древнего мира, археологи, культурологи — специалисты, так или иначе, связанные с проблемами археоастрономии. В заключительном обзоре дискуссии было отмечено, что, во-первых, в недифференцированных культурах древности астрономические представления (как и любые представления в подобных культурах) бытовали не изолированно, не составляли автономной сферы знания, но пронизывали самые разные стороны бытия и соотносились с иными аспектами мироосмысления в рамках целостной картины мира посредством взаимных перекодировок; во-вторых, была отмечена семантическая устойчивость всего комплекса представлений, связанных с ключевыми для мироосмысления аспектами астрономического знания.

В связи с этим немаловажным являются и установленные факты наличия устной традиции, связанной с передачей именно символов (образов), как неотъемлемого и важного элемента древних культур. Это и изустная передача Талмуда в эпоху (I в. до н.э.-III в н.э.) существования письменности [6], и факт, отмеченный при исследовании “Авесты” и других зороастрийских текстов [7].

Особенно важным в последнем случае является замечание о том, что древние иранцы считали письменность изобретением Злого Духа — Анхра Манью, и она долго считалась непригодной для записи священных слов. Священные тексты передавались по типу устной традиции, а высказывания Заратуштры были записаны спустя тысячу лет после их произнесения.

По-видимому, можно говорить об отторжении новых культурных влияний нарождающегося дифференцированного общества в отношении уходящих древних культур по всем направлениям их взаимодействия. В таком случае, это свидетельствует о том, что мы имеем дело не только с антагонистическими культурами, но и с различными типами цивилизаций. Данный тезис может быть проиллюстрирован примером ситуации, сложившейся с оценкой древних цивилизаций в свете обсуждения некоторых новых открытий, касающихся культуры палеолита. Речь идет об оценке интеллектуальных способностей фиксаторов небесных феноменов в палеолите. Оценку Дж.Хокинса в отношении создателей Стоунхенджа, приведенную выше, для астрономов, работающих в археоастрономии, по-видимому, можно считать базовой. Вот ее обобщение: “В археоастрономии следует отказаться от стандартного мышления. Нам предстоит понять, осмыслить и воссоздать подлинный строй мыслей наших предков” [2].

Однако, в конкретном плане большого продвижения пока нет. Почти всеобщий скептицизм вызывает, к примеру, нижеприведенная точка зрения [8]:

“Если продолжать воспринимать охотника и собирателя ледниковой поры как интеллектуального примитива, существо бездуховное, лишенное способности создать мировоззренческую концепцию, то в ближайшие десятилетия не стоит надеяться на принципиально новый уровень познания искусства древнекаменного века. Современные служители слегка модернизированной теории *Urdummheit*, “первородной глупости предка”, продолжают занимать прочные позиции в археологии палеолита и в точности так же, как ее творцы столетие назад, воинственно нетерпеливы к инакомыслию. Игнорируются даже робкие попытки К.Абсолова, А.Маршака и Б.А.Фролова подтвердить (в свете разви-

тия идей, высказанных ранее Буше де Пертом, Э.Лартэ, М.Ферворном, М.Бодуэном, К.Хентце и Ф.Бурдые) способность палеолитического человека к счету, возможность счисления им времени, внимание его к небу, светилам и в целом к космосу...

...Так называемые знаковые записи — определенным образом сгруппированные черточки, зарубки или разные по форме лунки. Они образуют, по мнению одних, элементы орнаментального узора, “украшающего” предмет, по мнению других — строго подобранные по числу знаков блоки, поддающиеся интерпретации. Восприятие этих записей как своего рода текстов, содержащих в зашифрованном виде исключительную по ценности информацию, позволяет принять на вооружение строгий постулат А.Леруа-Гурана: “...при семантических оценках образов искусства древнекаменного века нужно прежде всего исходить из того, что дает исследование самого объекта, а не проводить сразу напрашивающиеся при его осмотре этнографические или иные аналогии.”

К этому следует добавить идею о том, что в древних цивилизациях, по-видимому, существовали иные стимулы к развитию астрономии, чем необходимость ориентироваться при миграциях или потребность в регламентации сельскохозяйственных работ. Среди астрономов (геофизиков) существует точка зрения [9], согласно которой в древнем обществе могли использоваться иные, нежели астрономические, системы ориентации. Этот факт, кстати, подтверждают современные археологические исследования древних поселений лесной и лесостепной зон территории России; а пристальный интерес к астрономическим наблюдениям, по-видимому, возник до начала развития производящего хозяйства, т.е. не связан с регламентацией сельхозработ.

Не исключено, подчеркивается в связи с этим, что к интересующей нас проблеме прямое отношение имеет вопрос о влиянии космических факторов на биологические явления (включая организм человека), причем в этой области исследования достигнут некоторый прогресс. Не вдаваясь в детали, можно отметить, что есть некоторые основания предполагать более значительное влияние солнечной активности и некоторых других космических факторов на природные экосистемы, а следовательно, и на практику ведения натурального хозяйства, в эпоху, предшествующую расцвету мегалитической астрономии (в частности, обсерваторий-святилищ типа Стоунхенджа).

Важность календарного исчисления в эпоху, начиная примерно с 7 тыс. лет тому назад, когда социальная активность, стимулируемая более интенсивными, чем ныне, космическими факторами, проявлялась в строительстве мегалитических святилищ-обсерваторий, хорошо иллю-

стрируется и другими, связанными с календарным исчислением, гипотезами и факторами. Так, например, в археологии выдвинута гипотеза о том, что человеческие жертвоприношения того времени могут интерпретироваться как вид календарной обрядовости, связанный с функционированием общественного института “космических странников”, обеспечиваемый также специфическим видом ритуального искусства, иногда спекулятивно трактуемого в рамках тематики, связанной с НЛО [10].

Суммируя результаты проведенного анализа, можно сказать, что в последнее время происходит качественный скачок в изучении древних цивилизаций. Археология, история древнего мира и другие гуманитарные науки, занимающиеся изучением конкретных вопросов, специфичных для своего предмета, в силу накопления разнообразного материала нарастающего объема все больше обращаются к вопросам методологического характера и построению обобщающих концепций. При этом, следуя своим традициям, они зачастую сталкиваются с серьезными трудностями в своих построениях при интерпретации тех или иных фактов, относящихся к архаической специфике древних цивилизаций.

И хотя на данном этапе этот процесс имеет характер тенденций, все же более отчетливой становится идея о том, что начальные этапы развития современной цивилизации, когда мы сталкиваемся с так называемыми архаическими системами, на самом деле представляют собой не что иное, как переходный этап, носящий характер разрыва с предшествующим периодом существования древних цивилизаций иного типа, т.е. цивилизаций, находящихся в других природных условиях, имевших другой способ восприятия мира и иные способы его отображения в своем мировоззрении. При этом отсюда отнюдь не следует, что они имели высокий уровень развития производительных сил. Речь идет лишь о том, что это были другие цивилизации. В этих условиях большую роль в их изучении могут сыграть методологические разработки по проблеме SETI, более свободные от предубеждений и предрассудков, накладываемых современным способом мышления.

С другой стороны, разработки соответствующих наук могут предоставить конкретную методико-фактологическую базу для развития исследований по SETI.

Возвращаясь к характеристике, данной И.С.Шкловским Бюракану, как месту, вызывающему интуитивно-эмоциональные ассоциации между проблемами ВЦ (в данном случае, возможно, подсознательно ассоциирующимися с внеземной, космической красотой Арарата) и проблемами древних цивилизаций, следует подчеркнуть, что интуитивно Иосиф Самуилович, как всегда был далеко впереди той стадии взаимоотноше-

ний, на которой находились эти две, казалось бы, далекие — тогда — проблемы.

Это дает возможность высказать предположение о том, что интуитивное восприятие ушедших цивилизаций не как предшествующих, а как альтернативных, было одним из первых кирпичиков того фундамента, на основании которого И.С.Шкловский сформулировал свою последнюю гипотезу в проблеме SETI — гипотезу об уникальности технологической цивилизации на Земле и неизбежности ее финала.

Литература

1. Шкловский И.С. / *Вселенная, жизнь, разум*. М., Наука, 1987, с.305.
2. Гурштейн А.А. // *Успехи археоастрономии*. ИАИ, вып. XVI, М., Наука, 1983, с.391-400.
3. Гурштейн А.А. // *Реконструкция происхождения созвездий Зодиака*. ИАИ, вып. XXIII, М., Наука, 1992, с.19-63.
4. Сахарчук Г.Д. / *Общество и государство в Китае*, Тезисы, XXV научная конференция, М., 1994, с.217-224.
5. *Вестник Древней истории*, 1995. № 1. с.153-199.
6. Штейнзальц Р.А. / *Введение в Талмуд*. М.-И., 1993, с.1.
7. Мейтарчян М.Б. / *Древность: историческое знание и специфика источника. Тезисы докладов конференции, посвященной памяти Эдвина Арвидовича Грантовского (25-27 сентября 1996 г.)*, 1997, с.87-88.
8. Ларичев В.Е. / в сб. *Древние культуры Южной Сибири и Северо-Восточного Китая*. Новосибирск, Наука, 1994, с. 9-40.
9. Владимирский Б.М., Кисловский Л.Д. / *Археoaстрономия и история культуры*, М., Знание, серия К и А, № 3, 1989, с.1-58.
10. Шилов Ю.А. // ИАИ. вып. XXIII, М., Наука. 1992. с.272-303.

Н.С. Кардашев (АКЦ ФИАН)
Космология и цивилизации

Аннотация

Совокупность данных наблюдений и космологических моделей указывают на возможность существования суперцивилизаций с возрастом технологического развития на 6-8 млрд. лет большим, чем на Земле. Возможность их обнаружения, по-видимому, связана с наблюдениями в диапазоне длин волн от 3 мкм до 3 мм, а также с решением проблемы скрытой массы и обнаружением многосвязности Вселенной.

Введение и постановка задачи

С самого начала поиска жизни во Вселенной определились два направления исследований. Одно из них — это систематический поиск в радиодиапазоне информационных сигналов в направлениях на ближайшие солнцеподобные звезды. Предполагается, что передающие цивилизации связаны с планетарными системами и их технологический уровень не сильно отличается от современного на Земле. Другой путь нацелен на исследование физических условий, необходимых для возникновения и эволюции жизни во Вселенной, изучение возможности развития цивилизации, ограничиваемого физическими законами, поиск и исследование принципиально новых астрономических объектов, возможно связанных с сверхцивилизациями.

Первый наиболее полный обзор и анализ этих двух направлений был дан в книге И.С.Шкловского “Вселенная, жизнь, разум” [1], а также в совместной их с К.Саганом книге “Intelligent Life in the Universe” [2]. Обе книги и до настоящего времени являются наилучшим введением в проблему обнаружения внеземных цивилизаций, представленным в тесной связи с основными данными современной астрофизики.

В настоящей статье предполагается основное внимание уделить второму — астрофизическому направлению исследований, считая крайне мало вероятным контакт с цивилизацией, находящейся на этапе развития, близком к нашему.

Астрофизическое направление поиска тесно связано с постоянным прогрессом в обнаружении новых объектов и полнотой данных об известных объектах Вселенной, как в непосредственной окрестности Земли, так и далеко за ее пределами вплоть до космологических расстояний. В последние годы получены важные данные об эволюции Вселенной, образовании галактик, звезд и планетарных систем, впервые обнаружены планеты около некоторых звезд и даже около пульсаров —

нейтронных звезд и, наконец, даже обнаружены остатки примитивной жизни на Марсе. Эта совокупность новых данных наблюдений и согласующихся с ними моделей эволюции Вселенной и отдельных ее объектов позволяет сделать оценки момента зарождения жизни во всем объеме Метагалактики, возникновения первых цивилизаций и их эволюции с учетом природных возможностей и ограничений, что, вероятно, позволяет наметить программу их обнаружения.

Стандартная космологическая модель

Современная космология (см., например, [3]) исходит из представления о том, что Вселенная существует в бесконечном пространстве и бесконечно во времени. Большая часть пространства заполнена материей в особом состоянии, называемом сверхплотным скалярным полем или вакуумом. Благодаря флуктуациям этого поля во Вселенной возникают области пространства, эволюция которых описывается инфляционной моделью: первоначальное экспоненциальное расширение-раздувание, превращение скалярного поля в сверхплотный релятивистский газ, который в процессе дальнейшего расширения образует наблюдаемый набор элементарных частиц. Плазма рекомбинирует при красном смещении $z \sim 1200$, затем в результате гравитационного сжатия вещества образуются все наблюдаемые объекты нашей части Вселенной.

Одной из важнейших нерешенных проблем современной астрофизики является вопрос о природе темной (т.е. не наблюдаемой в телескопы) материи — скрытой массы, которая по современным оценкам составляет более 95 % средней плотности, в то время как обычное вещество (в основном барионы, образующие ядра атомов водорода, гелия и др. элементов) составляет менее 5 % средней плотности нашей части Вселенной.

Одно из стандартных предположений — частицы скрытой массы движутся с нерелятивистскими скоростями, т.е. их давлением можно пренебречь при оценке темпов расширения (модель доминирования холодной материи). Для этого случая “стандартной” космологической моделью можно считать модель Эйнштейна-де Ситтера: плоское пространство (кривизна $k = 0$), плотность в настоящее время обусловлена холодной материей $\rho_0 = 3H_0^2/(8\pi G)$, темп расширения — постоянной Хаббла H_0 и расширение сопровождается торможением из-за самогравитации. Для наблюдателя объектов с красным смещением z средняя плотность будет $\rho = \rho_0(1+z)^3$, возраст от момента образования нашей части Вселенной $t = \frac{2}{3}H_0^{-1}(1+z)^{-1.5} = 13 \times 10^9(1+z)^{-1.5}$ (лет), время от момента излучения до момента наблюдения $\Delta t = 13 \times 10^9[1 - (1+z)^{-1.5}]$ (лет).

Здесь принято $H_0 = 50$ км/с Мпс и оценки возраста согласуются с оценками возраста и темпами эволюции наиболее старых объектов Вселенной, а также наблюдаемым обилием химических элементов.

Однако, согласно некоторым наблюдениям значительная часть скрытой массы в настоящее время может быть связана с так называемой ненулевой плотностью вакуума, соответствующей Λ -члену в уравнениях расширения Вселенной Фридмана [4]. В этом случае космологическое расширение проходит с ускорением под действием давления скалярного поля, а согласовать данные наблюдений и теории для возрастов объектов и химического состава возможно, даже если величина H_0 существенно больше 50 км/с Мпс. При доминировании плотности вакуума современное расширение нашей части Вселенной экспоненциально (модель де Ситтера). Однако, в зависимости от доли плотности вакуума по отношению к полной современной плотности от 65 % до 95 %, в космологически недалеком прошлом, при $z \geq 0.2 - 1.7$, это расширение все-таки шло по модели Эйнштейна-де Ситтера, т.к. плотность нормального вещества превышала величину возможной плотности современного вакуума. На последнем этапе, когда плотность вакуума уже доминирует, соотношение между временем распространения излучения и красным смещением изучаемого объекта будет $\Delta t = H_0^{-1} \ln(1 + z)$.

Сопоставление временных интервалов для космологических моделей хорошо согласуется с возрастом объектов по другим астрофизическим данным. Полный интервал времени от момента обособления нашей части Вселенной составляет не менее 13 миллиардов лет. Характерные времена космологической эволюции при этом существенно превышают время эволюции Земли.

Об этапах эволюции Земли и космологических катастрофах

Согласно современным данным (см., например, [1, 5]), возраст Солнца и Солнечной системы: 4.7×10^9 лет, причем для процесса сжатия самого Солнца требуется только 10^6 лет. Возраст Земли составляет 4.6×10^9 лет. По-видимому таков же возраст мирового океана. Возраст самых древних из обнаруженных пород и самых древних микроорганизмов: 3.8×10^9 лет. Как известно, наличие растительного мира определило состав атмосферы Земли, поставляя кислород. Крупные катастрофы в эволюции Земли, вероятно обусловленные столкновениями с космическими телами, происходили 65 и 230×10^6 лет назад. Многократное вымирание крупных животных указывает на период 26×10^6 лет, последнее произошло 13.5×10^6 лет назад.

Основными гипотезами, объясняющими эти периодически происхо-

дящие катастрофы, являются: 1) наличие массивного спутника или скопление многих объектов на сильно вытянутой орбите около Солнца, прохождение которого в перигелии сопровождается резким увеличением бомбардировки земной поверхности крупными телами, 2) периодические колебания Солнца около плоскости Галактики [6].

Другими катастрофическими событиями в эволюции жизни на Земле могли быть вспышки сверхновых в окрестностях Солнечной системы, возможное слияние компактных звездных объектов (белых карликов, нейтронных звезд или черных дыр звездной массы) или взрывы в районе ядра Галактики. Однако современные палеонтологические данные и само наше существование указывают на то, что жизнь на Земле в течение всей ее истории никогда полностью не прерывалась.

Человек и первые признаки цивилизации на Земле обнаружены на этапе $\sim 3 \times 10^9$ лет от настоящего времени. Главный вывод — современные данные свидетельствуют о том, что наблюдаемая Вселенная существовала более 8×10^9 лет до образования Солнечной системы, а жизнь на Земле развивалась более 3.8×10^9 лет.

Условия для возникновения жизни во Вселенной в космологических масштабах

Крупнейшим и неожиданным открытием последних лет явилось обнаружение пыли, т.е. твердого вещества из тяжелых химических элементов, в далеких галактиках [6]. По спектру излучения на миллиметровых волнах наличие пыли было установлено для радиогалактик 4C41.17 ($z = 3.8$), 1435+635 ($z = 4.26$), радиоспокойного квазара BR1202 – 0725 ($z = 4.69$) и других. Таким образом, строительный материал для образования планет, подобных Земле, был уже готов примерно через $t_1 = 10^9$ лет после начала расширения нашей части Вселенной, что соответствует красному смещению наблюдаемых объектов для “стандартной” модели $z_1 \sim 4$ и времени распространения излучения от них $\Delta t_1 \sim 12 \times 10^9$ лет.

Принимая темпы возникновения и развития жизни подобными земным, можно ожидать появление первых цивилизаций с нашим технологическим уровнем при $t_2 = 6 \times 10^9$ лет, что соответствует $\Delta t_2 = 7 \times 10^9$ лет и $z_2 = 0.7$ и очерчивает вокруг нас сферу, где цивилизации могут быть обнаружены.

Здесь важно отметить принципиальную связь размеров пространства, которое мы исследуем, и максимального возраста изучаемых объектов. Чем более далекие области мы рассматриваем, тем менее развитая жизнь и цивилизации там ожидаются. Наиболее развитые цивилизации, которые мы можем наблюдать, учитывая время распространения

сигналов, ожидаются вблизи нас (в космологическом масштабе времени):

$$t_3 \geq t_2 + \alpha \Delta T_2 = (9.5 \div 12.3) \times 10^9 \text{ лет и } z_3 \leq 0.04 \div 0.2,$$

где $\alpha = 0.5 - 0.9$ — доля времени эволюции по отношению к максимально возможному времени эволюции после нашего уровня, которое равно Δt_2 .

Катастрофические воздействия

Исходя из данных об эволюции Земли и астрономических данных, можно предположить, что наиболее критическими для жизни могут быть события, связанные с резким повышением плотности жесткого космического излучения или столкновением с другими космическими телами. Данные о распределении космических лучей в нашей и других галактиках на разных этапах эволюции указывают, что такая опасность существует, но она реализуется не везде. Вклад в генерацию опасного для жизни излучения получен как по исследованиям отдельных объектов, так и по изучению спектра космического фона, в котором аккумулируется излучение всех объектов за космологические интервалы времени. Сейчас уже выявлено, что наибольший вклад в жесткое электромагнитное излучение дают активные галактики типа лацертид, квазары с крутым спектром радиоизлучения, Сейфертовские галактики 1 и 2 типа и вспышки сверхновых звезд типа SNe Ia [7]. Совпадение данных об интенсивности фона в жесткой части спектра и суммарного вклада отдельных объектов позволяет надеяться, что вывод о возможности длительного развития жизни без катастроф является достаточно надежным.

Возможность существования древних суперцивилизаций и позиция И.С.Шкловского

Приведенные выше данные наблюдений и современная концепция космологической эволюции Вселенной указывают на возможность возникновения и длительного развития жизни, на много миллиардов лет опережающего время эволюции жизни на Земле. Это обстоятельство многократно обсуждалось с И.С.Шкловским, и единственной причиной, почему сверхцивилизации до сих пор не обнаружены, он считал большую вероятность социальных катастроф. Так, в своей последней на эту тему статье, написанной на основе доклада на Всемирном геологическом конгрессе в Москве [8], И.С.Шкловский писал: *“...не является ли самоубийственная деятельность человечества (чудовищное накопление*

ядерного оружия, уничтожение окружающей среды) такой же гипертрофией, как рога и панцирь какого-нибудь трицератопса или клыки саблезубого тигра? Наконец, не является ли тупик возможным финалом эволюции разумных видов во Вселенной, что естественно объяснило бы ее молчание?

Став на точку зрения, что разум — это только одно из бесчисленных “изобретений” эволюционного процесса, да к тому же не исключено, приводящий вид, награжденный им, к эволюционному тупику, мы, во-первых, лучше поймем место человека во Вселенной и, во-вторых, объясним, почему не наблюдаются космические чудеса”.

С тех пор прошло более 10 лет, которые связаны не только с крупными достижениями в астрономии, но и с крупными социальными переменами. Наша точка зрения по-прежнему опирается на необходимость систематического поиска новых классов объектов во Вселенной, связанных с астроинженерной деятельностью сверхцивилизаций. Пока еще нельзя сказать, что все основные виды объектов уже выявлены в результате исследований во всех диапазонах электромагнитного спектра. Нельзя забывать и о том, что более 95 % вещества современной Вселенной все еще недоступна для наблюдений и проявляется только по гравитационному воздействию.

Поиск нового класса объектов и астроинженерная деятельность

Одним из наиболее перспективных диапазонов поиска следов астроинженерии является область электромагнитного спектра от длины волны в несколько микрон до нескольких миллиметров, что соответствует излучению твердотельных конструкций с собственной температурой от 3 до 300 К. Характерный размер такой конструкции и наблюдаемый поток излучения определяются соотношениями

$$d = \frac{L}{\sqrt{\pi\sigma T^4}}, \quad F_\nu = \frac{kL}{2\sigma T^3 \lambda^2 D^2} \frac{x}{(e^x - 1)}, \quad x = \frac{h\nu}{kT},$$

где L — болометрическая светимость, D — расстояние до исследуемого объекта. Оценки, получаемые для различных температур, показывают возможность обнаружения с помощью самых современных инструментов цивилизаций II типа в нашей и ближайших галактиках и III типа даже на космологических расстояниях.

В связи с такой перспективой были проанализированы объекты, обнаруженные в результате обзора неба с помощью спутника IRAS [9].

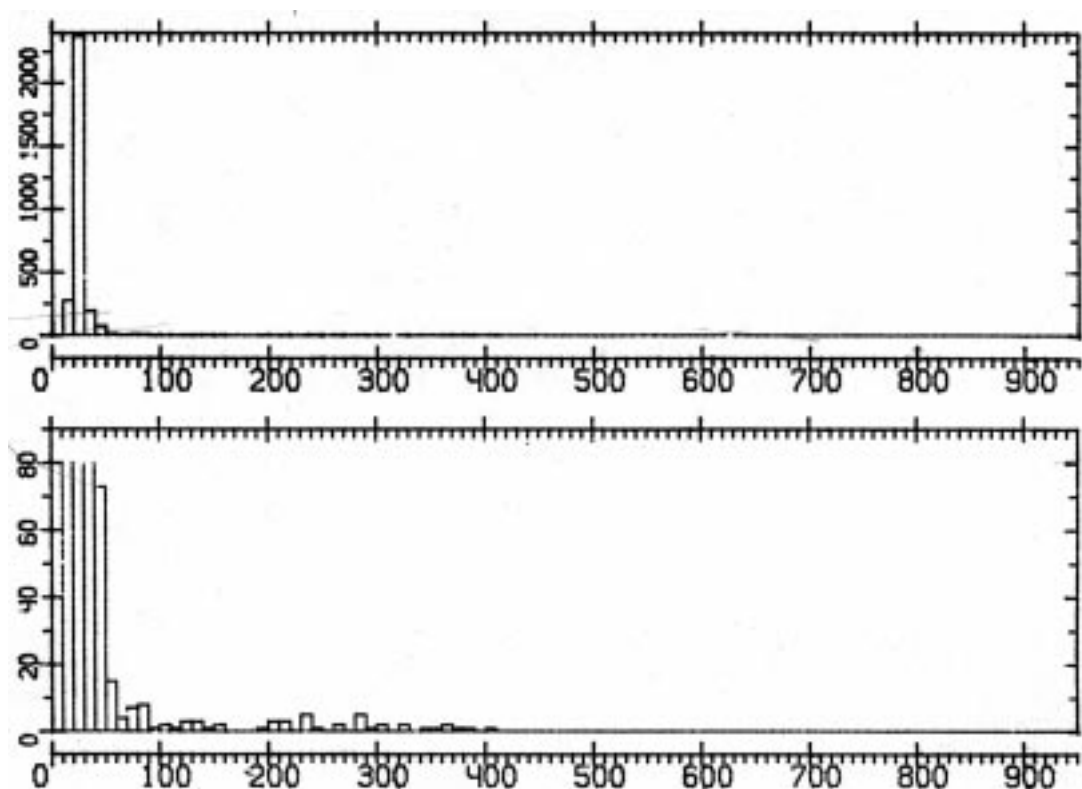


Рис. 1. Гистограмма цветных температур в направлении на Центр Галактики (в двух масштабах).

Сначала в каждом из 4-х направлений (Центр и Антицентр Галактики, ее Северный и Южный полюс) были выбраны по 3000 источников каталога IRAS. Их спектр по наблюдениям в 4-х полосах аппроксимировался спектром черного тела. Для полученных температур были построены гистограммы, приведенные на рис. 1-4. Интересной особенностью этих гистограмм является пик для температур 110-120 К в направлениях полюсов, а также резкое увеличение числа объектов для температур 280-290 К. Подавляющее большинство источников каталога имеет более низкие температуры, и пока еще нет данных наблюдений, позволяющих построить гистограммы в области самых низких температур.

В дальнейшем мы совместно с В.И.Журавлевым провели исследование распределения числа объектов с температурами 110-120 К и 280-290 К по всему небу. На рис.5 и 7 приведены данные о числе объектов с этими температурами из 3000 источников в каждом из указанных направлений в галактической системе координат. На рис. 6 и 8 приведены плотности таких источников на квадратный градус. Анализ распределения показывает, что объекты с температурой 110-120 К резко концентрируются к плоскости Галактики, к ее центру, а в плоскости Галактики их больше в области долгот $180-330^\circ$, чем в противоположной. Доля та-

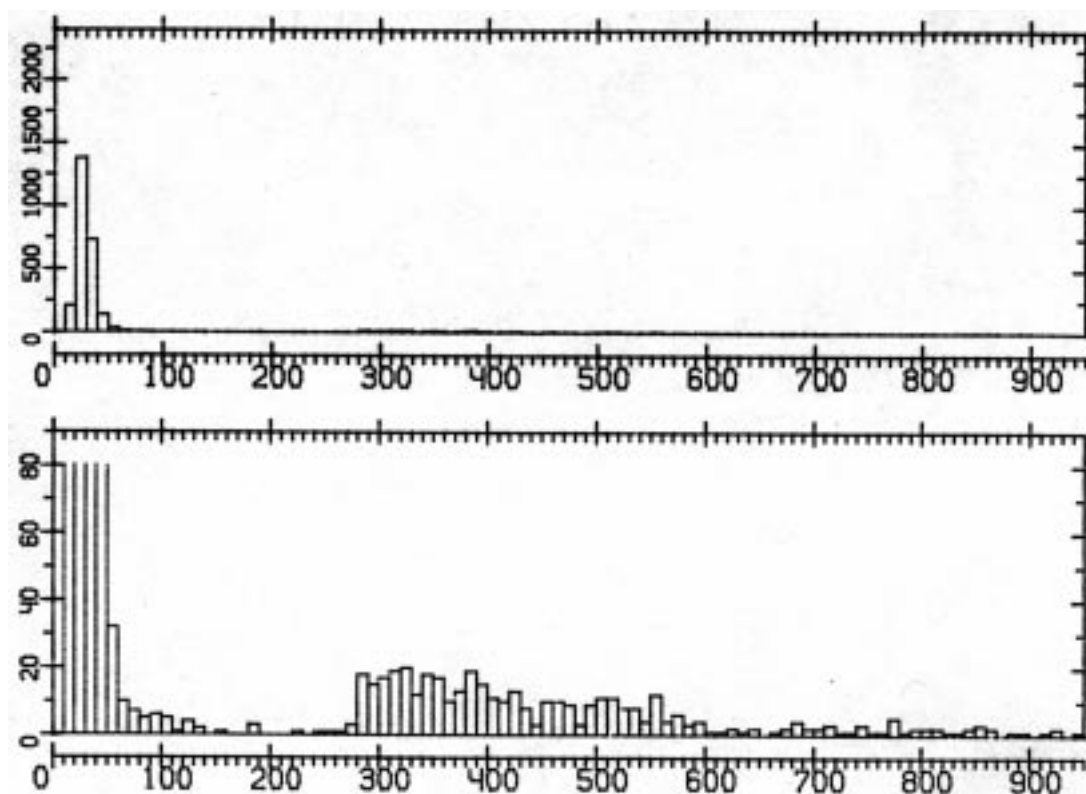


Рис. 2. Гистограмма цветовых температур в направлении на Антицентр Галактики.

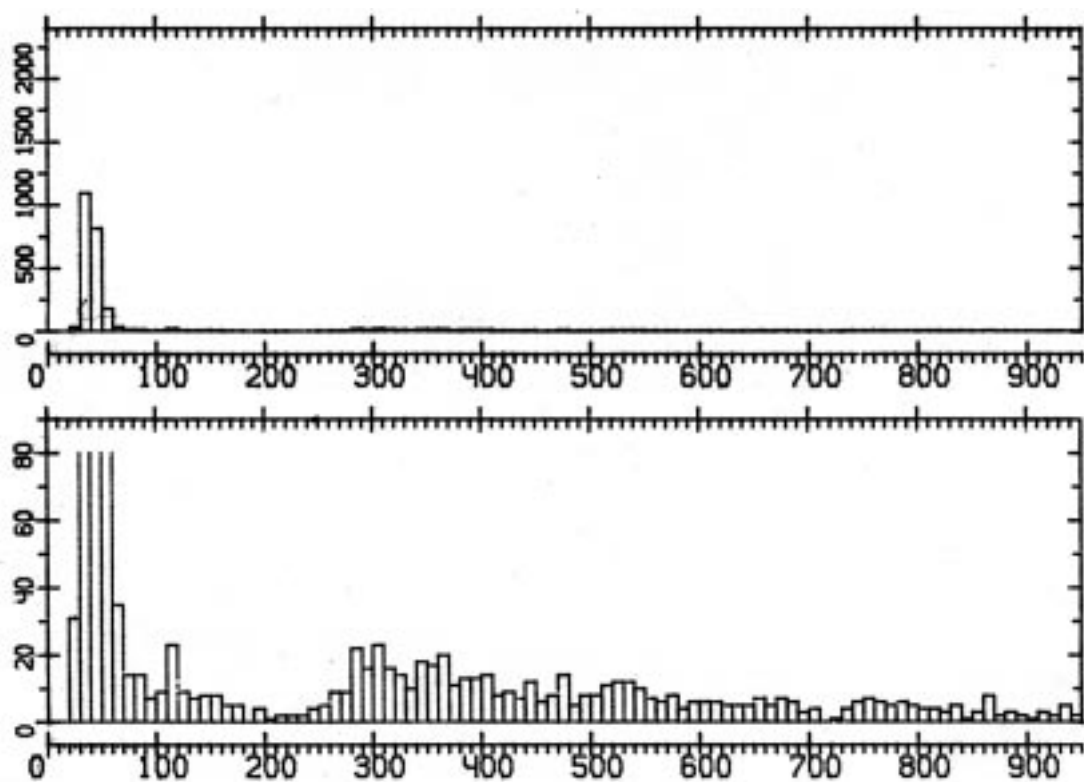


Рис. 3. Гистограмма цветовых температур в направлении на Северный Полус Галактики.

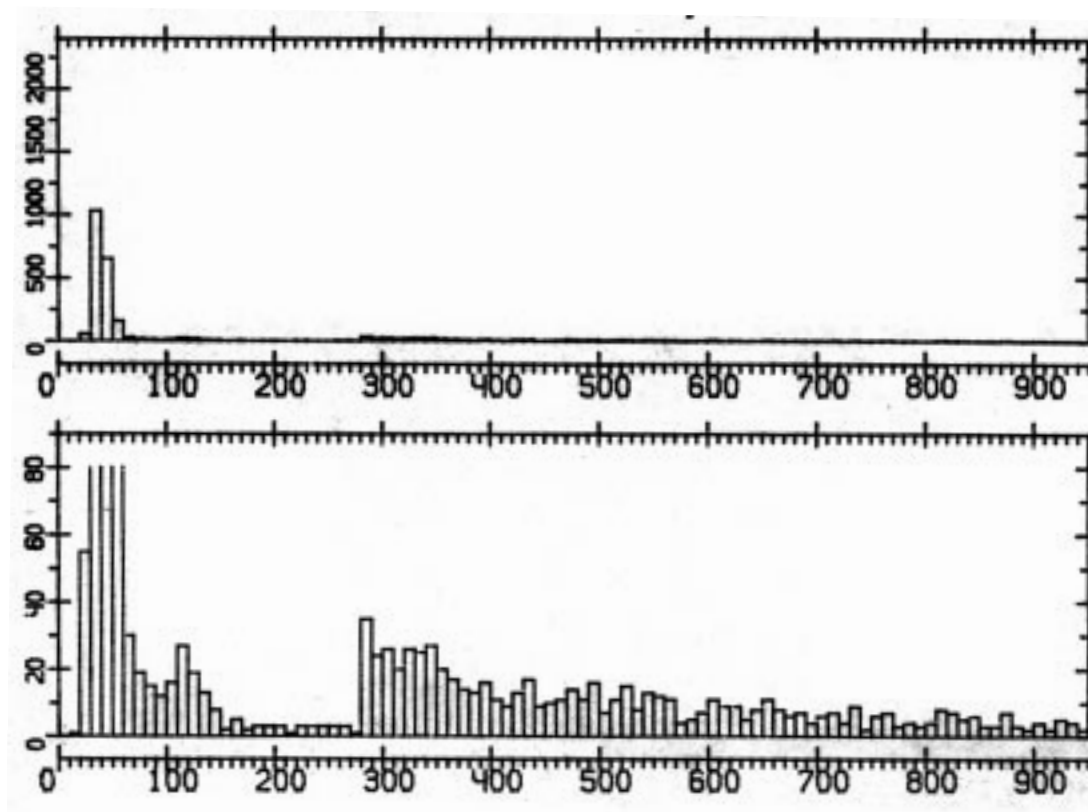


Рис. 4. Гистограмма цветových температур в направлении на Южный Полюс Галактики.

ких источников выше для больших галактических широт. Источники с температурой 280 – 290 К также концентрируются к плоскости и имеют ту же асимметрию по долготe, но эта концентрация не столь сильная, как для температуры 110 – 120 К, и не виден максимум в направлении на центр Галактики. Доля этих источников так же выше для объектов с высокой галактической широтой. Работа по изучению особенностей источников IRAS каталога продолжается.

Обнаружение нового типа объектов, связанных с астроинженерной деятельностью, можно ожидать в результате дальнейших исследований в космосе с помощью новых крупных обсерваторий инфракрасного и субмиллиметрового диапазонов (SIRTF, FIRST), а также на крупных наземных телескопах и их системах миллиметрового диапазона (PT-70 на плато Суффа в Узбекистане и MMA в горах Чили). Эти диапазоны, по-видимому, также оптимальны для передачи информационных сигналов. Особенно высокую чувствительность и разрешение, видимо, удастся получить с помощью криогенных телескопов миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов (проект “Миллиметрон”) [10].

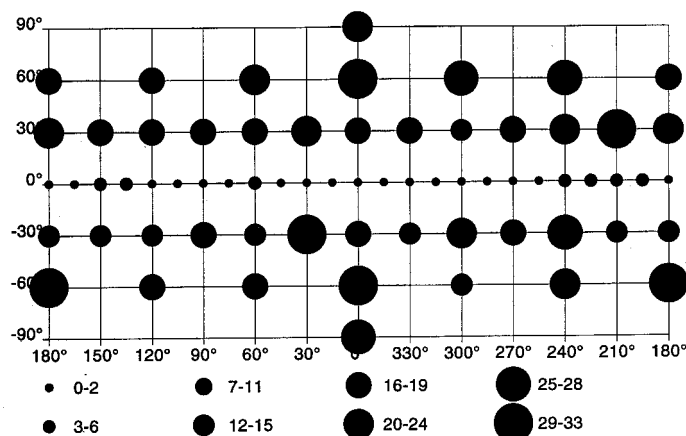


Рис. 5. Число объектов с цветовой температурой 110-120 К из 3000 источников в каждом из направлений (галактическая система координат).

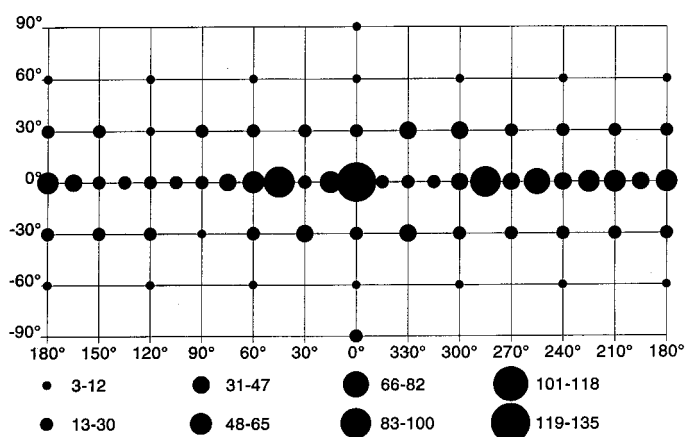


Рис. 6. Поверхностная плотность источников (в единицах 0.001 источника на кв. градус) для объектов с температурой 110-120 К.

Заключение

Итак, анализ современных астрономических данных указывает на возможность существования среди внегалактических объектов суперцивилизаций с временем технологического развития существенно большим (на 6-8 млрд. лет), чем земное. Возраст диска нашей Галактики по наблюдениям старейших белых карликов более 9.5 млрд. лет [11], а по изотопному составу некоторых зерен в метеоритах возраст этих включений и, соответственно, возраст Галактики после образования тяжелых элементов составляют 14.4 ± 1.3 млрд. лет [12], т.е. и в Галактике должны бы быть цивилизации на 6-8 млрд. лет старше нашей. При таком различии в возрасте можно быть уверенными, что все звезды Галактики Ими давно были изучены и наше присутствие в Солнечной системе извест-

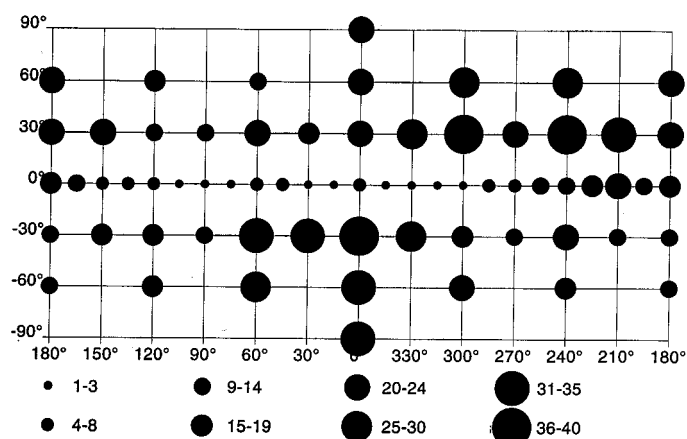


Рис. 7. Число объектов с цветовой температурой 280-290 К из 3000 источников в каждом из направлений (галактическая система координат).

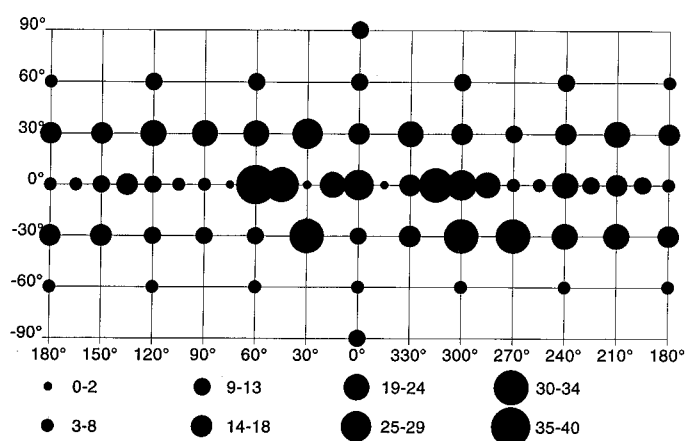


Рис. 8. Поверхностная плотность источников (в единицах 0.001 источника на кв. градус) для объектов с температурой 280-290 К.

но. Таким образом, новые данные астрономии подчеркивают важность фундаментальной проблемы, кратко сформулированной еще в 1950 году Э.Ферми: “Куда же вы подевались?” [13]. Эта величайшая загадка природы, и для ее разрешения необходимо проведение исследований в нескольких направлениях.

Четкая программа ближайших лет связана, главным образом, с обзором всего неба и изучением отдельных источников в диапазоне от 3 мкм до 3 мм. Ожидается, что в результате таких исследований может быть обнаружен новый класс объектов, связанный с астроинженерной деятельностью суперцивилизаций. Отрицательный результат такого поиска вряд ли возможен, но он означал бы, скорее всего, справедливость предвидения И.С.Шкловского о неизбежной гибели каждой цивилиза-

ции в силу социальных причин.

В заключение также надо упомянуть и еще об одной интересной перспективе. В оценках числа цивилизаций большую роль может играть эффект обратной связи. При достаточно высоком уровне технологического развития цивилизациям вероятно выгодно объединяться, чтобы сократить время за счет распространения сигналов для коммуникаций. Это может привести к резкому уменьшению их количества и увеличению возможностей объединенных систем. Это представляется особенно вероятным после контакта цивилизаций разного уровня. При учете обратной связи расстояние между суперцивилизациями должно быть, по-видимому, порядка половины времени технологического развития самых древних, т.е. $\sim \frac{1}{2}\Delta t_2 \sim 3 - 4$ млрд. световых лет, и, следовательно, их может и не быть в Галактике.

Кроме того, что мы обсуждали выше лишь эволюцию нашей части Вселенной, нужно принять во внимание вероятность существования и других частей и даже возможную многосвязность пространства-времени. Тогда эволюция цивилизаций и учет обратной связи в эволюции не ограничивается временем расширения нашей части. Этот интересный вопрос обсуждался в нескольких работах (см., например, [1, 14-16]). Поскольку Вселенная в целом, вероятно, существует бесконечно во времени, то в ней могут существовать цивилизации любого возраста и некоторые из них могут находиться и в нашей части. И это также будут какие-то новые, неизвестные астрономические объекты, контакты с которыми и эффект обратной связи возможен и должен быть очень существенным для судьбы каждой, в том числе и нашей цивилизации.

В заключении отметим также основные направления астрофизических исследований, необходимых для существенного прогресса в попытках обнаружения внеземных цивилизаций:

- выяснение природы скрытой массы Вселенной,
- исследование планетных систем у 100-1000 ближайших звезд, а также некоторых объектов Солнечной системы,
- изучение возможности (хотя бы теоретически) взаимодействия между различными частями Вселенной, т.е. частями примыкающими, но имеющими разную историю эволюции.

Литература

1. Шкловский И.С. / “Вселенная, жизнь, разум”, 5-е издание, Москва, “Наука”, 1987.

2. Shklovsky I.S. & Sagan C. / "Intelligent Life in the Universe", Holden-Day, 1966, 509p.
3. Линде А.Д. / "Физика элементарных частиц и инфляционная космология", Москва, "Наука", 1990.
4. Кардашев Н.С. // Астрон. журн., 1997, т. **74**, № 6, с.803
5. "The Search for Extraterrestrial Life: Recent Developments", M.D. Papagiannis (ed.), p.177-259, Proc. of IAU Symp. № 122, Reidel Pub., 1985; Mojzsis S. et al., Nature, **384**, 55, 1996; Semaw S. et al., Nature, **385**, 333, 1997.
6. R.McMahon et al. // M.N.R.A.S., 1994, **267**, L9; K.Isaak et al. // M.N.R.A.S., 1994, **269**, L28; Dunlop J. et al. // Nature, 1994, **370**, 347; Chini R. & Krugel E. // A&A, 1994, **288**, L33; Ivison R. // M.N.R.A.S., 1995, **275**, L33; Omont A. et al. // Nature, 1996, **382**, 428.
7. Zdziarski A.A. // M.N.R.A.S., 1996, **281**, L9.
8. Шкловский И.С. // "Земля и Вселенная", 1985, № 3, 76.
9. Kardashev N.S., Likhachev S.F., Zhuravlev V.I., 45th Congress of IAF, 1994.
10. Кардашев Н.С. / в сб. "Внеземные цивилизации" под ред.С.А. Каплана, с. 25-100, Москва, "Наука", 1969; Kardashev N.S. // Nature, 1979, **278**, 28-30; Kardashev N.S., Andreyanov V.V., Gramichava A.S., Likhachev S.F., Slysh V.I. // Acta Astronautica, 1995, **37**, 271.
11. Oswald, T. et all. // Nature, 1996, **382**, 692.
12. Nittler, L. & Cowsik, R. // Phys. Rev. Lett., 1997, **78**, 175.
13. "The Search for Extraterrestrial Life: Recent Developments", Paganis, M.D. (ed.), p.435-521, Proc. of IAU Symp. № 112, Reidel Pub., 1985.
14. Новиков И.Д. // ЖЭТФ, 1970, **59**, 262.
15. Kardashev, N.S. / in "Communication with extraterrestrial intelligence (CETI) ", ed. Carl Sagan, MIT Press, 1973, pp.192-198.
16. Сахаров А.Д. // ЖЭТФ, 1984, **87**, 375

М.М. Агрест

Возникновение идеи о палеоконтактах и ее развитие в бывшем СССР

Существуют ли во Вселенной другие цивилизации и посещали ли их представители нашу Землю? Эти интригующие вопросы возбуждали писателей на фантазии от Герберта Уэллса до Станислава Лема. Советскому ученому Матесту Агресту принадлежит заслуга поднять эту проблему до научного уровня.

Иосиф Шкловский

Ромен Роллан вложил в уста своего героя Жана Кристофа знаменитые слова: “Кто может похвалиться, что он имеет друга, иметь друга значит быть счастливым”. ИСШ часто называл меня счастливым, одну из замечательных своих новелл он так и заканчивает словами: “Матест Агрест — счастливый человек”. Да, я счастлив и по названному Р. Ролланом признаку. В лице ИСШ, выдающейся личности XX века, я имел настоящего человеческого друга. Перед ним я никогда не боялся казаться глупым или слабым, и это позволяло мне обсуждать с ним много сумасшедших идей в науке и любые житейские проблемы, он был другом всей моей семьи. Много дней и немало бессонных ночей мы проводили вместе, размышляя над проблемами внеземных цивилизаций и, в частности, палеоконтакта. Светлой памяти ИСШ к восьмидесятой годовщине со дня его рождения посвящаю этот очерк по истории возникновения и развития идеи о палеоконтактах в бывшем СССР.

На глазах нашего поколения цивилизация на Земле совершила резкий скачок в своем развитии. Запуск советских спутников стал преддверием полета самого человека в Космос. Даже дальние рейсы землян в Космос уже в 1959 г. казались недалекой реальностью.

На фоне этих реальностей рост моей убежденности в существовании внеземной цивилизации упирался в весьма волнующий меня вопрос. Если существуют другие цивилизации во Вселенной, то, несомненно, многие из них должны быть более древними и, следовательно, существенно более развитыми. Почему же представители таких цивилизаций не посещают нашу планету? Шестнадцатью годами позже, в 1975 г., этот же вопрос сформулирует английский ученый М. Харт (Hart). Придавая ему исключительное значение, он назовет его “кардинальным” вопросом. Постулируя факт, что на Земле нет никаких следов пребывания представителей внеземных цивилизаций, М. Харт с помощью тонких логических суждений придет к заключению, что цивилизация на Земле является единственной во Вселенной. Многие ученые в 1975 г. совершали вслед за Хартсом поворот на 180 градусов в своих взглядах на проблему о распространенности разумной жизни во Вселенной. Я же в

1959 г. принципиально не мог допустить такого решения “кардинального” вопроса. В одну из ночей июня 1959 г. я снял этот волнующий меня вопрос с помощью другого контрвопроса: верно ли утверждение, что на нашей планете нет никаких следов пребывания когда-либо в ее истории представителей внеземных цивилизаций⁵?

В моей памяти ярко высветились стихи первых глав великой книги “Бытие”, которые волновали меня еще с детского возраста, когда мой отец учил меня Библии: “Нфилим были на земле в днях тех” (Бытие, гл. 6, стих 4). Слово “Нфилим” мой отец тогда переводил на идиш словом, означающим по-русски “упавшие” (Нфилим от корня НФЛ — что значит “падать”). В большинстве же современных переводов Библии слово “Нфилим” переводится словом “Исполины” и читается: “Исполины были на Земле в днях тех”. Но в моей памяти остались более милые тогда для детского разума толкования отца, основанные на комментариях каббалистов к этому стиху. Тем более, что вскоре я сам нашел это место в одном из древнейших переводов Библии на арамейский язык — “Таргум Ионатан”. Оно гласит: “Нфилим, упавшие на Землю, были на Земле в днях тех”.

В ту же, памятную для меня, ночь я вспомнил известную легенду о вознесении Еноха. В той же книге “Бытие” (гл. 5, стих 24) она передается лаконичными словами: “и ходил Енох перед Богом, и не стало его, ибо Бог убрал его”. Позже, в 1965 г., мне удалось получить разрешение познакомиться с апокрифической “Книгой Еноха”, хранящейся в центральной библиотеке им. В.И.Ленина. Книга Еноха упоминается во многих древних источниках, например, апостол Иуда цитирует ее, как пророческую, но книга надолго была утрачена. Лишь в начале прошлого столетия она была обнаружена в одном из захоронений в Эфиопии на эфиопском языке. Эта находка была самым сенсационным открытием века! В шестой главе этой книги (стихи 1-7) сказано:

1. И случилось — после того как сыны человеческие умножились в те дни⁶...
2. И ангелы — сыны неба увидели их.
5. ...было же их всего двести.
6. И они спустились на Ардис, который есть вершина горы Ермон⁷.

⁵В моей статье “The Paleocontact Ideas in the Middle Ages”, опубликованной в “Ancient Skies”, 21, № 5, 1995, показано, что за триста лет до Дж. Бруно известный ученый средних веков Рамбан верил в идею о палеоконтактах. Для правящих идеологов того времени эти идеи были значительно более опасными, чем менее революционные идеи Дж. Бруно о множественности цивилизаций во Вселенной для правящих идеологов в 1600 г., когда Дж. Бруно был сожжен на костре. Но Рамбан не только проявил храбрость размышлять над этими опасными идеями, но более того, опыт его идеологических диспутов подсказал ему путь для сохранения этих идей для будущих поколений, зашифровав их в его известных комментариях к Библии в книге “Бытие”, XIX, 4.

⁶дни Яреда — отца Еноха

⁷отроги гор Антиливана

7. И вот имена их начальников...⁸.

В ту ночь, не выпуская книгу “Бытие” из рук, я развернул страницы гл. 19 (стихи 23-30), рисующие гибель городов Содома и Гоморры. Для современного человека очень впечатляющим являются лаконичные описания, напоминающие картину атомного взрыва и сопутствующих взрыву явлений⁹. Тогда же, не сомкнув глаз, я перечитал все эти главы книги “Бытие” и соответствующие страницы книги “Зогар (Сияние)”, являющейся катехизисом мистического учения “Кабаллы”. Это учение передавалось из уст в уста, причем, от учителя к лучшему его ученику, начиная, считают мистики, от Моисея — с 14-го века до н.э. (Сама книга “Зогар” на арамейском языке была обнародована М. Делионом лишь в 12-м веке н.э.).

К утру у меня сложилась полностью замкнутая гипотеза о посещении Земли много лет назад представителями другой высокоразвитой цивилизации. Возникла необходимость поделиться своими мыслями! Но на дворе был 1959 г. Допустимо ли было произносить слово Библия в на-

⁸перечислены 20 имен

⁹Предполагая, что города Содом и Гоморра были разрушены атомным взрывом, легко интерпретировать широко известный стих в книге Бытие XIX, 26 (“Жена же Лота оглянулась позади его и стала соляным столпом”), как описание реального факта: жена Лота при взрыве сама сторе-ла, но тень ее осталась на стоящем позади нее соляном столбе, аналогично тому, как это было с жертвами атомной бомбардировки городов Хиросима и Нагасаки в 1945 г. Около Мертвого моря на горе Jabul Usdom, на высоте 454 фута от зеркала воды, стоял 13-метровый столб из известняка и соли. Издалека это образование было похоже на женскую фигуру, и именно ее демонстрировали многочисленным туристам, как жену Лота. В 1991 г. 27.11 это образование свалилось, и было предсказано резкое уменьшение потока туристов к Мертвому морю. В сентябре 1992 г. я гостил в Израиле и посетил район Мертвого моря. Я не грустил по свалившейся “жене Лота”. Свалившаяся глыба не имела никакого исторического значения. Лишь сравнительно недавно ее стали именовать женой Лота. Вот цитата из известного письма одного из выдающихся ученых средних веков Овадия из Бартнура, посланного из Палестины в августе 1488 г. его отцу в Citta di Castella: “Я нахожусь в Иерусалиме, с вершины Масличной горы можно видеть район бывших городов Содома и Гоморры в виде озера из соли и воды. Все, кто посетил это место, говорят — там всюду соль. Я спрашивал их о жене Лота, ни один из них не ответил мне о ней. Они сказали: там очень много соли и большое число столбиков из соли. Невозможно определить, какой из них жена Лота.” 400 лет назад, следовательно, никто не искал на горе Jabul Usdom жену Лота. Мое первое впечатление у берега Мертвого моря было, что Лот имел не одну жену, а тысячу жен, как Соломон Мудрый, там огромное число соляных столбиков человеческого роста. Вид этого района точно соответствовал описанию средневекового ученого Овадия Бартнури. Высокая температура в этом районе и недостаток времени не позволили мне задержаться у этих солевых столбиков и исследовать их с точки зрения моей гипотезы. Несомненно, однако, что свалившаяся глыба не уменьшит интерес к поискам исторических памятников от разрушенных городов Содома и Гоморры. Безусловно, действия солнца, ветра и дождей являются разрушающими силами и с течением времени приводят к полному исчезновению многих очень важных памятников. Но те же самые силы засыпают, прячут и хранят памятники для далеких грядущих поколений. Можно надеяться, что где-нибудь глубоко на суше у берега Мертвого моря или в самом море будет найден соляной столб (может, даже не один) с изображением тени человека на его поверхности. Более подробно об экспериментальных исследованиях в районе Мертвого моря для проверки гипотезы о палеоконтактах можно прочитать в статье: M. Agrest. Experimental Proof of the Paleocontact Hypothesis. “Ancient Skies”, 21, № 6, 1995.

учном коллективе? Допустимо ли говорить о полетах человека в Космос еще в глубокой древности? Уже через год все острие критики этих взглядов будет направлено против моих ссылок на Библию, а через два года мне, в действительности, будет брошено суровое обвинение в том, что я умаляю престиж Советской науки. Утверждая, что Ю.Гагарин был не первым человеком в Космосе, что задолго до него в Космос летал Енох, я совершаю предательство перед Родиной. В начале июля 1959 г. я пошел с напечатанной на машинке рукописью на консультацию к зав. отделом агитации и пропаганды Абхазского Обкома партии т. М.Хварцкия. В статье говорилось, что, помимо записей астронавтического характера в древних письменных памятниках и дошедших до нас устно передаваемых мифов и легенд о пришельцах из Космоса, было бы естественным считать, что инопланетяне оставили на Земле также и материальные памятники о своем пребывании. Также естественно было предположить, что такие памятники могли бы быть в виде циклопических сооружений, которые должны были бы изумлять землян в течение многих поколений. В связи с этим в статье упомянута Баальбекская терраса и знаменитые циклопические “Трилитоны”. Далее, само приближение космического корабля к Земле должно вызвать на поверхности планеты долго сохраняемые отличительные особенности. В частности, в районе посадки корабля должно было появиться множество оплавленных образований. Такими образованиями могут быть загадочные тектиты (во всяком случае, часть из них), природа которых до сих пор до конца не изучена. Все это было изложено в тексте, переданном т. М.Хварцкия. Через три дня М.Хварцкия, вернув мне рукопись, сказал, что он сам прочел материал с интересом, что я затронул волнующую научную проблему и, что самое главное, он разрешает мне выступить с докладом на эту тему на открытом научном семинаре! В июле 1959 г. состоялся мой доклад на научном семинаре Сухумского Физико-Технического института. В актовом зале собралось много сотрудников, зал был переполнен, стояли в проходах. Доклад длился больше часа, стояла абсолютная тишина. Я слышал собственный голос! В зале произносились цитаты из Библии и книги Зогар! Что думали в это время слушатели, я не знал. В качестве защитной меры я рассказывал свои идеи, не стирая улыбку с лица. В случае острой критики и разных нападков, намеривался сказать: “Товарищи, я пошутил!”. Но вот я закончил доклад словами “спасибо за внимание” и весь зал как будто вышел из оцепенения и, вопреки традициям научных семинаров, разразился аплодисментами. Вот тогда-то я дал свободу своим нервам и дрожь, крупная дрожь охватила мое тело.

Идея палеоконтакта с представителями неземных цивилизаций бы-

ла воспринята всей аудиторией. Более того, один из ведущих научных работников Р.Я.Кучеров отозвал меня в сторону и сказал: “Знаете, Матест Менделевич, мне в голову тоже приходили такие мысли”. Идеи о возможном контакте с другими цивилизациями витали в воздухе. Идея о возможном посещении Земли инопланетянами получила тогда презентацию в научном коллективе СФТИ.

Сразу после лекции я позвонил М.Хварцкия, сообщил о состоявшемся докладе, о реакции аудитории и поблагодарил его за то, что он дал добро моему публичному выступлению. По тону его голоса я почувствовал, что М.Хварцкия сам тоже обрадовался. Он, видимо, немало тревожился своей смелостью. Что ж, “мы все ходили под богом” в те годы. Я его хорошо понимал, ведь до наступления эры нового мышления оставалось еще более четверти века. Еще будет много всплесков реакции, которые с лихвой накроют робкие вершины в развитии мышления и взаимоотношений между людьми.

В Сухуми нашлись настоящие адепты этих новых идей. Наиболее ярким из них был Георгий Аршакович Адамян, крупный инженер, широко образованный и высоко интеллигентный человек. На очереди встал вопрос о публикации моей статьи в каком-либо научном журнале. Один из ведущих физиков-теоретиков Советского Союза — Давид Альбертович Франк-Каменецкий, будучи членом редколлегии журнала “Природа”, предложил мою рукопись вниманию редколлегии этого журнала. Но ответственный по вопросам идеологии в журнале Д.М.Трошин нашел эту статью слишком смелой. Тем временем содержание статьи стало устно распространяться и дошло до И.В.Курчатова через одного из близких его сотрудников. Игорь Васильевич предложил сделать из статьи “Краткое сообщение”, которое он, как академик, представит к публикации в известном журнале “Доклады АН СССР”. Д.А.Франк-Каменецкий предложил свои услуги, чтобы подготовить из моей статьи, находившейся в редакции “Природы”, краткое сообщение для ДАН СССР. Разумеется, это предложение было мною принято с большим энтузиазмом. С целью облегчения работы над моей статьей Д.А.Франк-Каменецкий просил машинистку его отдела сделать несколько копий. Сперва машинистка, по обыкновению, печатала статью автоматически, совершенно не вникая в сущность ее содержания. Но уже на второй странице она стала печатать несколько дополнительных копий на тонкой бумаге для личного пользования. Вскоре вся статья начала безмянно распространяться в рукописи (помимо контролируемой прессы) по Москве, что в те годы было абсолютно не дозволено. В середине декабря 1959 г. я имел встречу с В.Н.Болховитиновым, который был главным редакто-

ром журнала “Юный техник” и одновременно имел связи с редакцией журнала “Природа”. Он мне сообщил, что моя статья незаконно распространяется по городу, что это недопустимо. Одновременно он рассказал мне историю о другой рукописи, которая распространялась от имени академика Зелинского под названием “Как достичь долголетия”. В рукописи был указан образ жизни Зелинского и чем он питался последние десятилетия. Разумеется, все, что было указано в рукописи, было моментально расхвачено жителями Москвы и не только Москвы и стало предметом крайнего дефицита. В действительности же, как позже выяснилось, Зелинский ничего подобного не писал. Все это было делом рук нескольких шустрых завмагов, у которых все названные продукты сильно залежались на складах. Когда об этом стало известно академику Зелинскому, он тут же опубликовал заметку в “Вечерней Москве” о том, что он не имеет никакого отношения к распространяемой от его имени фальшивке.

Я однозначно понял намек Болховитинова и заявил, что я так поступить не могу потому, что я действительно писал статьи на эту тему. Что же касается распространения копий моей статьи, то это абсолютно не приемлемо, ибо к ним могут быть сделаны любые неконтролируемые приписки. “А чтобы покончить с этим абсолютно недопустимым фактом,” — продолжал я, — “опубликуйте, тов. Болховитинов, оригинал моей работы в журнале “Природа”. Этого сделать он не мог и предложил мне другое — написать новую статью для журнала “Юный техник”. Чтобы облегчить мне задачу в перекройке статьи для названного журнала, он обещал мне дать в помощь двух своих сотрудников. Поскольку у меня теплилась надежда на публикацию краткого сообщения в ДАН СССР, я согласился с предложением В.Н.Болховитинова. 28 декабря 1959 г. состоялась моя встреча с предложенными мне в помощь людьми. Ими оказались М.Б.Черненко и В.И.Рич — инженеры по образованию и опытные журналисты на ниве науки. Я быстро нашел контакт с ними, они хорошо меня поняли, быстро уловили, какой мне хочется видеть статью в журнале “Юный техник”. На следующий день я выехал в Сухуми.

Вскоре случилось большое горе; советскую науку постигла большая потеря. 7-го февраля 1960 г. внезапно скончался Игорь Васильевич Курчатов. Для участия в похоронах И.В. была намечена делегация из СФТИ, в нее входил и я. Вечером, накануне отъезда в Москву, раздался в моей квартире телефонный звонок из Москвы. Звонили мои новые друзья из журнала “Юный техник”. Взволнованным голосом М.Б.Черненко передал мне настоятельную просьбу В.Н.Болховитинова

дать согласие на срочную публикацию о моей гипотезе на страницах Литературной газеты (ЛГ). “Мы же договорились о публикации материала в “Юном технике” — удивился я. “Это будет потом, а сейчас необходима публикация в ЛГ. Причину мы Вам сообщим позже”. Я подумал: И.В.Курчатов скончался, шансы на публикацию моего материала в ДАН СССР резко сократились... “Ладно, печатайте в ЛГ” — сказал я в заключении телефонного разговора. Через несколько часов я сам выехал в Москву.

8-го февраля 1960 г. состоялось заседание редколлегии ЛГ, на котором рассматривалась также статья о моей гипотезе. Я был приглашен на это заседание. Члены редколлегии начали уже расходиться. Было принято решение — опубликовать гипотезу Агреста в следующем номере ЛГ, т.е. 9-го февраля 1960 г. Некоторым членам редколлегии меня представили. “Это М.М. Агрест? — Я представлял себе Агреста глубоким стариком с большой бородой!” — воскликнул один. “А не думаете ли Вы, что у Вас будет много противников?” — спросил меня другой член редколлегии. “Не сомневаюсь в этом.” — ответил я. Довольный моим ответом он передал меня третьему члену редколлегии. В достаточно возбужденном состоянии я вернулся в свой номер в гостинице “Пекин”.

Поздно вечером 8-го февраля 1960 г. буквально ворвались в мой номер М.Черненко и В.Рич. В руках у них был свежий номер ЛГ от следующего дня, еще пахнувший свежей краской. На второй странице этой газеты № 17 (4142) от 09.02.60 г. напечатана была подвальная статья, озаглавленная “Следы ведут в космос”, внизу подпись: Михаил Черненко и Валентин Рич. Преамбулу к статье написал известный писатель от науки Данин. Прочитав статью, я выразил свое полное удовлетворение, мы поздравили друг друга с успехом. Лишь в тот вечер мне был выдан секрет, почему потребовалась срочная публикация небольшой статьи в ЛГ еще до выхода в свет более подробного изложения моей работы в журнале “Юный техник”. Выяснилось, что журналист С. представил в ЛГ от своего имени статью, в которой изложил содержание безымянно распространяемой в Москве моей работы. Об этом узнал В.Н.Болховитинов, который курировал в то время отдел науки ЛГ, и, естественно, решил предупредить назревающую несправедливость. Можно было бы тут же отклонить статью журналиста С. Но, зная этого человека, В.Н.Болховитинов опасался, что он может предложить “свою” работу другому издательству и его статья может появиться в печати раньше, чем будут опубликованы эти материалы в “Юном технике” от имени истинного их автора. Это создало бы крайне неприятные обстоятельства. Поэтому им было принято решение задержать в

редакции ЛГ работу С., формально не отказывая в ее публикации. Тем временем, до выхода в свет запланированной статьи истинного автора в “Юном технике”, опубликовать ее краткое изложение на страницах ЛГ и, тем самым, закрепить авторство излагаемых идей.

Несмотря на спокойный тон опубликованной в ЛГ статьи и употребление в ней выражений “а не могло ли быть так?”, ее содержание молниеносно распространилось в мире. Вечером того же дня, 9 февраля, ведущие радиостанции мира передали содержание гипотезы Агреста. А на следующий день, 10 февраля 1960 г., появились изложения гипотезы на страницах газет многих стран Европы и Америки. Очень многие доброжелательно восприняли идею гипотезы, и автор получил много писем из различных городов СССР, а также из-за рубежа. Были также приглашения на встречи и чтения лекций по теме гипотезы. В частности, было приглашение в ГАИШ МГУ на встречу с молодыми научными работниками института. В связи с высказанными в статье предположениями о природе Баальбекской террасы автор получил любезное приглашение посетить международный фестиваль в Баальбеке в 1960 г. от его президента Э.Кеттана (Aimee Kettaneh).

19-го октября 1960 г., совершенно неожиданно не только для автора, была опубликована статья в “Комсомольской правде” (КП) резко критического содержания как в отношении гипотезы, так и в отношении автора гипотезы. Статья была озаглавлена “Следы ведут в ...невежество” и подписана: В.Губарев, М.Ростарчук — инженеры. Особый гнев обращен к автору за толкование текстов Библии. По Агресту выходит, что Библия правду говорит, в то время как “ученые-историки определили Библию как собрание исторических хроник, древних законов, суеверий, мифов и легенд... Священная книга уже глубоко изучена, нет никаких оснований перетолковывать ее страницы, как это делает Агрест.” Далее в статье говорилось: “Гипотеза Агреста вредна еще и потому, что отвлекает нашу молодежь от желания изучать и исследовать “белые пятна” современной науки, неразгаданные тайны природы.” Эта статья, ее чрезвычайно резкий тон вызвали возмущение у многих ученых. Например, Д.А.Франк-Каменецкий в своей речи на диспуте, организованном КП 20.12.60 г. в Центральном Доме журналистов, сравнивал: слово в руках Хвастунова (зав. отделом науки КП), вещь невинную в себе, с дубинкой в лапах Крыловского медведя... На требование Франк-Каменецкого извиниться перед честным советским ученым Агрестом Хвастунов сказал ему, что письмо Агресту он, может быть, напишет, но в газете — ни за что! Зал реагировал криком: “Позор!”.

Я действительно получил весьма любезное письмо от Хвастунова,

чем в немалой степени был удивлен.

Но статья в КП сильно задевала также престиж самой ЛГ. Как же это ЛГ пропагандирует на своих страницах невежественную и вредную “гипотезу”, против которой имеется специальное решение АН СССР. Редакция ЛГ на статью “Следы ведут в ...невежество” отреагировала репликой, опубликованной 8.12 в ЛГ № 145 под заголовком “Куда же все-таки ведут следы”. В реплике говорилось: “чтобы нокаутировать М.М. Агреста, Губарев и Ростарчук наносят ему серию внушительных ударов. Вот один из самых убийственных. Цитируем: “На заседании Академии наук принято специальное решение о вредности пропагандирования “гипотезы” Агреста, как антинаучной”. Мы же получили следующий ответ от главного ученого секретаря Президиума Академии наук СССР академика Е.К.Федорова: — Ни Президиум, ни какие-либо другие учреждения АН СССР не обсуждали гипотезу кандидата физико-математических наук М.М.Агреста и решения о вредности ее пропаганды не принимали...”. Далее в реплике ЛГ было сказано: “Еще удар. Цитируем приведенные в статье (КП) слова известного египтолога профессора В.В.Павлова: — «Только у человека, не знакомого ни с техникой, ни с историей могла возникнуть столь чудовищная идея, как “гипотеза Агреста”». Метод проверки тот же. Результат тот же. Профессор В.В.Павлов был не на шутку удивлен: — “Ни с одной публикацией гипотезы Агреста я знаком не был. Оценки гипотезы Агреста никогда не давал”. Заметим, что слово гипотеза в материалах, напечатанных в КП, постоянно берется в кавычки. В реплике парируются также все остальные высказывания против гипотезы Агреста.

Эту реплику, разумеется, ожидали в редакции КП, и уже на следующий день, 9.12.60 г., они напечатали свою реплику: “Куда же все-таки привели следы?”, в которой отстаивалась точка зрения о вредности гипотезы Агреста. На сей раз слово гипотеза печаталось без кавычек.

Период, когда газеты ЛГ и КП остро дискутировали по поводу статей “Следы ведут в ...Космос” и “Следы ведут в ...невежество”, характеризуется теперь одним словом — “Наследили”!

Безусловно, статья “Следы ведут в ...невежество” возымела свое действие. Так, официальное приглашение в ГАИШ МГУ для беседы с молодыми астрономами было отменено. Лишь по настоянию молодежи¹⁰ эта встреча состоялась в ноябре 1960 г. В конференц-зале ГАИШ собралось много народу и среди них много известных ученых. Сразу по окончании моего выступления поднялся с места один слушатель средних лет и задал вопрос: согласовали ли с партийной организацией ГАИШ прове-

¹⁰В это время в ГАИШ секретарем бюро ВЛКСМ был А.А. Гурштейн. *Прим. ред.*

дение встречи с Агрестом? Председательствующий тут же дал положительный ответ. Но в это время с другой стороны аудитории был задан контрвопрос: почему потребовалось согласование с парторганизацией. Тогда первый выступавший заявил: — “Как же? Вам разве не известно отношение партии и правительства к гипотезе Агреста?”. — “Где же оно было высказано, это отношение?” — спросили в зале. — “Как же, вы разве не читали статью в КП “Следы ведут в ...невежество”?” — “Но эту статью ведь подписали инженеры В.Губарев и М.Расторчук” — была реакция зала. — “Да, но разве вы не знаете, как пишут у нас такие статьи?”. После этого поднялся шум в зале, и было высказано требование, чтобы автор этих заявлений вышел на кафедру и изложил перед аудиторией свои возражения против обсуждаемой гипотезы. Этим человеком оказался лектор Московского Планетария т. Шевляков. Он изложил все аргументы, приведенные в статье КП. На вопрос ИСШ, почему т. Шевляков так резко выступает против Агреста и не выступает в своих лекциях в Планетарии против Джордано Бруно, также проповедовавшего идеи о множественности миров, Шевляков, не смущаясь, ответил: “Да, но Дж. Бруно ведь не утверждал, что космонавты других миров бывали на Земле.”¹¹. Позже этот яркий эпизод будет образно описан ИСШ во время диспута в Центральном Доме журналистов 20.12.60 г. В процессе дальнейшей дискуссии в конференц-зале ГАИШ позиция КП, отстаиваемая т. Шевляковым, была полностью раскритикована. После этого Шевляков и некоторые другие приняли решение — организовать при Московском Планетарии цикл лекций с целью разоблачения антинаучной гипотезы Агреста. По Москве были развешаны афиши о том, что с 6.12.60 г. по 13.12.60 г. в лекционном зале Планетария состоятся лекции о вредности антинаучной гипотезы Агреста. Желающих послушать эти лекции оказалось много, все билеты были распроданы заранее. Однако, накануне первой лекции было получено указание — отменить эти лекции вообще! У касс Московского Планетария скопилось много народу, все требовали вернуть им деньги. Пришлось, естественно, вернуть все ранее полученные деньги. Планетарий понес при этом известные убытки, т.к. уже была израсходована определенная сумма на подготовку к проведению цикла лекций. Распоряжение об отмене лекций поступило из весьма высокой инстанции.

В начале декабря я был в Москве, сам видел напечатанные плакаты, на которых крупным шрифтом выделялись слова: “...антинаучной гипотезы Агреста”. Признаюсь, ощущение было не из приятных. Противники гипотезы, тем не менее, не успокоились, и под руководством

¹¹ см. примечание ??

отдела науки КП был организован диспут на тему: “Фантазия и наука”. Персонально всем мероприятием руководил зав. отделом науки КП т. Хвастунов. В течение всего времени диспута проводилось стенографирование всех выступлений и, помимо этого, они записывались на магнитофонную ленту. Однако, поскольку позиция КП подверглась резкой критике, состоявшийся диспут не был отражен в прессе. Вскользь он был упомянут Г.Остроумовым в пространной статье “Мысль, обогначающая факт”, напечатанной в феврале 1961 г. в приложении к газете “Известия” — “Неделя”, в которой автор яро защищал право на гипотезу и резко выступал против нападок на М.Агреста и А.Казанцева. Вот, что особо возмутило Г.Остроумова.

Летом 1960 г. у меня в гостях был профессор А.Я.Сморodinский. Касаясь проблемы палеоконтактов, он мне сказал: “М.М., вот ежели Вы покажете мне экскремент неземного происхождения, тогда я поверю Вам, что на Земле были инопланетяне!”. Размышляя над этим “злым” замечанием, я пришел к мысли: не являются ли таинственные космические лучи, или хотя бы часть из них, с их чудовищной скоростью движения остатками реактивных струй фотонных ракет, несущихся в мировом пространстве со скоростями, близкими к скорости света. Будучи в Москве осенью 1960 г. я высказал эту мысль ИСШ. Он тут же отверг “всю эту чушь”, назвав меня даже ненормальным. Через несколько дней ИСШ позвонил мне в больницу на Басманной, где я находился на лечении, и сообщил следующее: “В беседе со мной профессор Покровский выразил тревогу о тебе, сказал, что тебе сильно попадет за твою “идею о Енохе”, затем, внезапно остановившись, он сказал: “Слушай, Иосиф, предположим твой друг Агрест прав”. После паузы он буквально дословно повторил то, что ты мне сказал о фотонных ракетах и космических лучах. Я был ошеломлен и сказал Покровскому, что лишь вчера я назвал Агреста ненормальным за такие мысли. Покровский на это отреагировал:

“Мы все немного ненормальные”. Матест, раз так, то значит такие мысли носятся в воздухе. Крайне целесообразно опубликовать об этом заметку в печати”. По выходе из больницы мною была подготовлена такая заметка от имени Агреста и Покровского и, по договоренности с Даниным, она должна была быть включена в его обзорную статью о новостях науки для ЛГ. Находясь в редакции ЛГ, курирующий отдел науки В.Н. Болховитинов попросил меня в его присутствии позвонить Покровскому и попросить его согласия упомянуть его имя. Но Покровский отказался, опасаясь, что его сочтут несерьезным человеком, скажут, что такие бредни не к лицу ученому. Заметка не была предана

гласности. В этом факте Г.Остроумов усмотрел прямой вред, нанесенный позицией КП.

Тем временем эти идеи распространились по Москве и на разных уровнях дискуссировались. Я.Б. Зельдович позвонил мне утром и в веселом тоне сказал: “Долетела и до меня Ваша идея о фотонных кораблях, сеющих космические лучи. Неужто можно единичными полетами кораблей насытить космическими лучами всю Вселенную?” Я ответил в том же тоне: “Мы еще пока не получили информацию из Андромеды, как часто они считают в своей аппаратуре прохождения космических лучей. Может быть, этих лучей не так уж много и распространяются они лишь по трассам фотонных кораблей. Шлейфы частиц растут по мере движения корабля, и они будут проявляться в районе его посадки в течение времени, не меньшем времени полета фотонного корабля”. Как правило, дискуссии носили всюду доброжелательный характер. Один лишь ученый буквально вскипел от ярости и назвал эту идею и самих авторов одним и тем же именем. Именно к нему обратился Болховитинов за советом, и он яростно запретил публиковать подготовленную заметку в ЛГ.

Позднее в Советском Союзе были изданы два сборника по проблемам SETI и палеоконтакта. Ни одна из моих статей не была включена в них. Один из редакторов этих сборников член-корреспондент АН СССР В.С.Троицкий в письме от 19.10.86 г. писал мне: “Общественное мнение у нас еще не в состоянии оценить проблему палеоконтакта как научную и по традиции сводит ее к попыткам возрождения религиозных мотивов. Это наиболее серьезный аргумент, с которым мы столкнулись при издании обоих сборников”. Что такое общественное мнение и чье это мнение, хорошо было многим известно не только в Советском Союзе. Это общественное мнение было грозным оружием, с помощью которого в течение многих лет власти боролись против целых разделов науки, таких как кибернетика, генетика и теория относительности. Выдающиеся ученые в этих областях знаний изгонялись, арестовывались и даже уничтожались. Это же “общественное мнение” привело к знаменитому навету — “Делу врачей”, и, если бы insult не удушил Сталина 3.03.53 г. (в день еврейского праздника Пурим), то это же “общественное мнение” привело бы к полному изгнанию почти двухмиллионного народа из своих мест в далекие края. Карающая сила “общественного мнения” ослабла последнее время в СССР, однако, идти открыто против нее не все ученые готовы были. В итоге моя статья “Космонавты древности” была опубликована лишь в альманахе “На суше и на море” в 1961 г. по настоянию общественных деятелей, в их числе был и писатель

А.П.Казанцев. В то же время, принимая во внимание, что статья имела много потенциальных читателей, за рубежом она была переведена на многие иностранные языки, включена в сборник “Тайна близка к разгадке” и издана (без моего ведома и согласия) издательством Progress. Эти сборники продавались за рубежом, а также в одном специальном магазине для иностранцев в Москве, на валюту.

Общественное мнение, упомянутое в письме В.С.Троицкого, мало менялось в Советском Союзе. В итоге, научная гипотеза о палеоконтактах не развивалась в стране, где она родилась.

Анкета СЕТИ

При подготовке Первой советско-американской конференции по проблеме связи с внеземными цивилизациями, которая состоялась в сентябре 1971 г. в Бюраканской астрофизической обсерватории, советский оргкомитет разработал для участников конференции анкету следующего содержания¹².

Анкета СЕТИ

1. Что Вы понимаете под внеземной цивилизацией?
2. Ваше мнение о существовании цивилизаций за пределами земного шара? Допускаете ли Вы, что наша цивилизация единственная
 - а) в наблюдаемой области Вселенной?
 - б) в нашей Галактике?
3. Считаете ли Вы возможным контакт с внеземными цивилизациями, учитывая физические, технические, семантические и др. возможные ограничения?
4. Существует ли, по Вашему мнению, принципиальная возможность интерпретировать (понять) информацию, содержащуюся в сигналах внеземных цивилизаций, учитывая различие в системе понятий, или такая интерпретация принципиально невозможна?
5. Ваше мнение о методике поиска сигналов ВЦ. Следует ли для обнаружения сигналов использовать специальную программу и аппаратуру, или следует ожидать их обнаружения в процессе обычных астрономических и радиоастрономических наблюдений?
6. Какие затраты средств и времени Вы считаете допустимыми для организации работ по обнаружению сигналов внеземных цивилизаций?
7. Ваше мнение о необходимости международного сотрудничества в области поиска сигналов внеземных цивилизаций

¹²Статья была подготовлена в 1973 г. Термин СЕТИ (Communications with Extra-Terrestrial Intelligence — связь с внеземными цивилизациями) был предложен Рудольфом Пешekom в 1965 г. и продержался до середины 70-х годов, когда он стал вытесняться более адекватным термином SETI (Search for Extra-Terrestrial Intelligence — поиск внеземных цивилизаций).

- а) совместные проекты;
 - б) координация работ в области СЕТИ.
8. Представителей каких наук следует привлечь к разработке проблемы СЕТИ?
9. В каких направлениях следует развивать исследования по проблеме СЕТИ? Какие конкретные проекты обнаружения внеземных цивилизаций Вы можете предложить?
10. Ваше мнение о возможных последствиях контакта?

Дальнейшая детализация 2, 3 и 5-го вопросов содержалась в дополнении к анкете.

Дополнение к анкете

2.1. Ваша оценка числа цивилизаций в Галактике (в наблюдаемой Вселенной). Укажите пределы, которые представляются Вам наиболее вероятными от _____ до _____.

2.2. Ваша оценка факторов, входящих в формулу для числа цивилизаций. Укажите возможные пределы для следующих параметров:

- а) доля звезд, имеющих планетные системы;
- б) доля планет с подходящими для возникновения жизни условиями;
- в) вероятность происхождения жизни на планете с подходящими условиями;
- г) вероятность появления разумной жизни в процессе биологической эволюции;
- д) вероятность возникновения цивилизаций, идущих по пути технического развития;
- е) время жизни технически развитых цивилизаций.

3.1. Что Вы понимаете под контактом с внеземной цивилизацией?

3.2. Какой тип контактов, по Вашему мнению, является преобладающим (т.е. какой тип вероятнее всего реализуется и на какой из них в связи с этим следует ориентироваться в первую очередь)

- а) прямые контакты (взаимные посещения);
- б) контакты по каналам связи с использованием электромагнитных волн;
- в) контакты смешанного типа (посылка в район изучаемой системы кибернетических устройств, передающих информации по каналам связи);
- г) другие типы контактов;

д) контакты по каналам связи неизвестной природы.

5.1. Позволяют ли, с Вашей точки зрения, современные технические средства обнаружить сигналы внеземных цивилизаций?

5.2. Ваше мнение об оптимальном диапазоне электромагнитных волн для передачи сигналов между космическими цивилизациями?

Цель анкеты состояла в том, чтобы выяснить мнение ученых по некоторым принципиальным вопросам проблемы СЕТИ. Численные оценки в силу огромной неопределенности исходных данных, естественно, не могли иметь большого значения. Составители анкеты вполне отдавали себе отчет в субъективном характере подобных оценок. Для развертывания практических работ в области СЕТИ, на наш взгляд, наибольшее значение имеют следующие вопросы:

- возможность контактов и их последствия;
- методика поиска;
- допустимые затраты.

Ввиду негативной позиции, занятой американским оргкомитетом, анкета была разослана только советским ученым, а также Р.Пешеку (ЧССР), Г.Марксу (ВНР) и С.Лему (ПНР). В основном, анкета рассылалась предполагаемым участникам конференции, а также тем, чье мнение составителям анкеты представлялось интересным. Никакой **сознательной** селекции по принципу оптимизма или энтузиазма при этом не проводилось, хотя непреднамеренно она могла иметь место.

Всего разослано 64 анкеты и получено 37 ответов (58 %). Распределение участников анкеты по специальностям приведено в таблице 1.

Явное преобладание астрономов объясняется их наибольшей “заинтересованностью” (не обязательно, правда, благожелательной), и, в какой-то мере, отражает круг научных знакомств составителей и организаторов анкеты. Безусловно, это — недостаток проведенного опроса, так как такое преобладание специалистов одной профессии может привести к определенной односторонности взглядов, что следует учитывать при рассмотрении результатов опроса.

Некоторые выдержки из ответов на анкету были опубликованы в журнале “Земля и Вселенная” № 4, 1972 г. В настоящей статье приводятся результаты обработки проведенного опроса. По многим вопросам мнения участников анкеты отличаются большим разнообразием. Мы старались учесть и отразить все разнообразные точки зрения и даже незначительные нюансы. При этом мы не ставили своей задачей критический анализ высказываний, наша цель состояла в том, чтобы дать по

Таблица 1. Распределение участников анкеты по специальностям

| Специальность | Разослано | Получено ответов |
|-------------------------------------|-----------|---------------------|
| астрономы (включая радиоастрономов) | 34 | 21 |
| специалисты в области радиосвязи | 8 | 5 |
| физики | 8 | 4 |
| биологи | 4 | 2 |
| математики (включая кибернетиков) | 3 | 2 |
| философы | 2 | — |
| литераторы | 2 | 2 |
| лингвисты | 1 | 1 |
| историк | 1 | — |
| геофизик | 1 | — |

возможности объективную картину результатов опроса, которую можно было бы рассматривать, как некую характеристику современного “общественного мнения” по проблеме СЕТИ.

1. Первый вопрос: что Вы понимаете под внеземной цивилизацией?

Излишне говорить о том, что сколько-нибудь **разработанного понятия** “внеземная цивилизация” в настоящее время не существует. Предпринимаются только первые попытки подхода к разработке этого понятия. Цель вопроса состояла в том, чтобы выявить, что же понимается под ВЦ, хотя бы на интуитивном уровне. И хотя каждому это понятие кажется интуитивно ясным, нетрудно убедиться, что в него часто вкладывается различное содержание. Как следует из многочисленных дискуссий по проблеме СЕТИ, и как это, в частности, подтверждается анализом настоящего опроса, то или иное понимание Внеземной цивилизации (часто неявно принимаемое автором) влияет на его точку зрения по другим вопросам проблемы СЕТИ, в том числе о необходимости и направлении исследований в этой области. Поэтому ответ на данный вопрос часто помогал понять точку зрения авторов по другим вопросам настоящей анкеты.

Всего на данный вопрос получено 30 ответов. Двое участников анкеты, по существу, воздержались от ответа:

- *Мне кажется, что определение цивилизации должно быть продумано, но я не берусь сделать это сразу.* — В.А.Амбарцумян.
- *Ответ не может быть дан путем однократного размышления*

даже многих умных людей. Его необходимо разрабатывать теоретически специалистами (логик, психолог, радиоастроном), в том числе возможны и экспериментальные попытки на Земле (дельфины? муравьи?). — Л.М.Гиндилис.

Остальные 28 человек попытались дать ответ на вопрос. Следует подчеркнуть, что от участников анкеты не требовалось сформулировать определение ВЦ, достаточно было разъяснить свое понимание этого термина. Вот несколько ответов именно в таком плане:

— Неясно, скорее всего, то, что хотелось бы назвать “разумным”, конкретнее можно было бы сказать “самоорганизующимся”, вне Земли. — Л.И. Гудзенко.

— Линейную экстраполяцию земной цивилизации. — В.С.Троицкий.

— То же, что земная цивилизация (хотя, конечно, не обязательно антропоморфная), но на совершенно другой стадии технологического и научного развития. — И.С.Шкловский.

— Цивилизация вне Земли, могущая делать то же, что и земная в области технологии и/или культуры. — П.В.Щеглов.

Большинство участников анкеты попытались дать определение ВЦ. Данные определения можно разбить на две группы:

1. Внеземная цивилизация — общество, совокупность некоторых существ (индивидуумов). Например:

— Общество разумных существ, имеющих технику... — В.Г.Курт.

— Общество разумных существ, аналогичное человеческому. — В.И.Мороз.

— Сообщество разумных существ. — Л.И.Мухин.

— Любое сообщество разумных существ, возникшее на любом космическом теле. — Н.Т.Петрович.

— Совокупность взаимодействующих субъектов, задающихся вопросом о существовании других таких совокупностей. — Ф.А.Цицин.

и т.д., всего 11 человек.

2. Внеземная цивилизация — высокоорганизованная форма материи, высокоорганизованное состояние вещества или некоторая система (структура), обладающая определенными функциональными свойствами.

Вот несколько примеров подобных определений:

— ВЦ — высокоорганизованные формы материи во Вселенной, существенно преобразующие себя и окружающую среду (или только себя) с целью выживания. — Б.Н.Пановкин.

— Высокоустойчивое состояние вещества, способное собирать, абстрактно анализировать и использовать информацию для получения

максимума информации об окружающем и о самом себе и для выработки сохраняющих реакций. — Н.С.Кардашев.

— Под внеземной (космической) цивилизацией я понимаю сложную, высокоорганизованную систему, действующую в масштабе не менее планетарного, способную к целенаправленным действиям, способную познавать окружающий мир (и самое себя), т.е. строить модели мира с помощью абстрактных понятий, используя результаты познания в соответствии со своими целями. — Л.М.Гиндилис.

— Цивилизация — сложная организация, (“машина” в понятии кибернетики), активно познающая окружающий мир; непременно создающая для этой цели абстракции, по меньшей мере эквивалентные или более сложные, чем абстракции второй сигнальной системы человека. Непременным условием цивилизации, вероятно, является сознание разной степени сложности (индивидуальное, общественное и более сложные). — И.Д.Новиков.

— Внеземная цивилизация — некоторая организованная система, сохраняющая низкий уровень энтропии за счет целесообразных действий, реагирующая на внешние сигналы (т.е. то, что входит в нашу жизнь) и одновременно активно накапливающая информацию за счет целесообразных направленных действий. Обмен информацией между разными частями системы, перестройка окружающего мира, способность к построению абстрактных понятий и их обобщений, по-видимому, существенны, но не обязательно относятся именно к цивилизациям. — С.Б.Пикельнер.

Следует отметить, что большинство участников анкеты при определении внеземной цивилизации стараются избегать терминов “живое”, “разумное”, “мыслящее” (термин “живое” употреблен двумя авторами с оговоркой, что он сам нуждается в разъяснении, термин “разумное”, “мыслящее” использовали 6 человек). Подобное стремление избегать употребление этих терминов представляется вполне оправданным, т.к. иначе нам грозит “опасность” свести понятие “внеземная цивилизация” к столь же неопределенному понятию “внеземной разум”.

Большинство определений носит функциональный характер. Анализ ответов позволяет выделить следующие признаки (свойства) цивилизаций:

1. Способность к абстрактному анализу;
2. Активное использование (преобразование) окружающего мира, способность создавать и совершенствовать условия своего развития, наличие техники, деятельность по созданию материальных и духовных ценностей;
3. Накопление и отбор информации, обмен информацией, общение

между индивидуумами, извлечение практических уроков из полученной информации;

4. Выработка сохраняющих реакций, гомеостатичность;
5. Способность к познанию (окружающего мира и самое себя);
6. Самосовершенствование, развитие, способность преобразовывать самое себя;
7. Способность к целенаправленным действиям;
8. Способность к прогнозированию (прогнозирующие реакции, прогнозирующие действия), способность анализировать прошлое, настоящее и будущее;
9. Сохранение низкого уровня энтропии;
10. Наличие “сознания”, разумные действия, способность различать простые и составные числа.

В этом списке свойства цивилизации приводятся не в порядке важности, а по “числу поданных голосов”. Поэтому, например, такое важное с нашей точки зрения свойство, как способность к целенаправленным действиям, попало во вторую половину списка. Вместе с тем следует отметить, что значительная часть участников анкеты считают способность к абстрактному анализу, к использованию абстрактных категорий в процессе познания характерным свойством цивилизаций.

Перечисленные признаки можно считать в той или иной степени необходимыми. Но какая совокупность признаков является достаточной?

Иными словами, как определить **уровень организации**, начиная с которого сложную систему можно отнести к классу космических цивилизаций? На наш взгляд, этот вопрос нуждается в самой серьезной научной разработке. За неимением ничего лучшего в качестве мыслимого теста можно использовать **критерий диалога**, который предлагался в связи с проблемой машинного разума. Применительно к рассматриваемой проблеме его можно сформулировать следующим образом:

Будем считать, что две сложные высокоорганизованные системы относятся к классу космических цивилизаций, если они (или какие-то из их подсистем) потенциально способны, хотя бы при определенных условиях (например, при непосредственном контакте), и после надлежащего обучения обмениваться смысловой содержательной информацией, вести диалог “на абстрактные темы”, в частности о своем понимании (о своей модели) окружающего мира (и их самих как части этого мира).

В более узком смысле, применительно к проблеме обнаружения сигналов ВЦ, под цивилизацией можно понимать **систему, способную к целенаправленной передаче информации по каналам связи**.

Вопрос о ее субстрате, структуре, организации и других свойствах с этой точки зрения несущественен.

Подобный **узкий подход** к определению ВЦ с точки зрения СЕТИ привлекателен тем, что позволяет отбросить наиболее сложные, “проклятые” вопросы, на которые мы пока не можем ответить. Впрочем, не следует преувеличивать значение этого облегчения; поскольку при практическом расчете линии связи необходимо знать расстояние между цивилизациями и, следовательно, их число во Вселенной (или в Галактике). А это опять-таки зависит от того, что понимать под цивилизацией, так что указанные трудности появляются вновь.

2. Второй вопрос: допускаете ли Вы, что наша цивилизация единственная: а). в наблюдаемой области Вселенной б). в нашей Галактике?

На первую половину вопроса (а) ответили 32 человека, на вторую (б) — 35. Один из участников анкеты, Б.Н.Пановкин, считает, что вопрос поставлен некорректно:

— вопрос представляется не вполне корректным ввиду отсутствия определения термина ВЦ. Проблема же существования высокоорганизованных форм материи во Вселенной представляется мне ясной с общих философско-методологических позиций; согласно положениям современного диамата “сознание” является важным общим свойством развивающейся материи. Существует и потенциальная, и актуальная возможность реализации высокоорганизованных систем в Космосе. “Жизнь”, “Разум” — не что-то особенное, привносимое в материю “дополнительно”. Элементы регуляции, управления, отражения, информационных связей присущи и неживой природе в актуальной, хотя и “примитивной” форме. Современная кибернетика, в частности, укрепляет с естественнонаучных позиций этот вывод, определяя широкий класс возможных условий создания высших форм материи.

С учетом этого мнения ответы участников анкеты распределились следующим образом:

Обращает на себя внимание большой процент “уклончивых” ответов. Среди них такие ответы, как:

- вряд ли;*
- существование цивилизаций за пределами земного шара весьма вероятно;*
- существование других цивилизаций в Галактике весьма вероятно;*
- вероятность единственности мала;*
- вероятность единственности ошутима; и т.д.*

Таблица 2. Допускаете ли Вы, что наша цивилизация единственная?

| | во Вселенной | | в Галактике | |
|------------------------|--------------------|-----|--------------------|-----|
| | получено 32 | | получено 35 | |
| | ответа, из них: | | ответов, из них: | |
| нет | 15 | 47% | 12 | 34% |
| да | 7 | 22% | 11 | 31% |
| не дали прямого ответа | 9 | 28% | 11 | 31% |
| вопрос не корректен | 1 | 3% | 1 | 3% |

На наш взгляд, это свидетельствует о **неудачной** постановке вопроса. Об этом прямо сказано в ответе Ю.К.Ходарева:

— *Вопрос слишком категоричный. Я предполагаю с достаточной вероятностью наличие цивилизаций в нашей Галактике. Ответ для Вселенной определен первым ответом.*

О неудачной постановке вопроса свидетельствует и следующее. Некоторые участники анкеты, ответившие на этот вопрос утвердительно, не считают, что наша цивилизация единственная, но, строго говоря, не могут исключить такую возможность. Например:

— *маловероятно, но возможно.* — И.Д.Новиков.

— *Думаю, что за пределами земного шара существуют цивилизации, но не вижу принципиальных соображений, исключающих возможность того, что наша цивилизация единственная.* — Л.П.Грищук.

Анализ ответов показывает, что для возможно более полного учета разнообразия мнений, по-видимому, следовало бы просить участников анкеты указать, какой из перечисленных ниже возможных ответов на вопрос — единственная ли наша цивилизация — соответствует их мнению:

- а) да, считаю, что единственная;
- б) вполне возможно (весьма вероятно);
- в) возможно (вероятно);
- г) маловероятно (вряд ли) = существование ВЦ вероятно;
- д) весьма маловероятно = существование ВЦ весьма вероятно;
- е) нет, не допускаю такой возможности.

Если построить гистограмму распределения ответов (а—е), то можно получить один из типов распределения от “предельно пессимистического” до “предельно оптимистического” (рис. 1).

Мы попытались реконструировать подобное распределение для нашей анкеты. Результаты приведены в таблице 3.

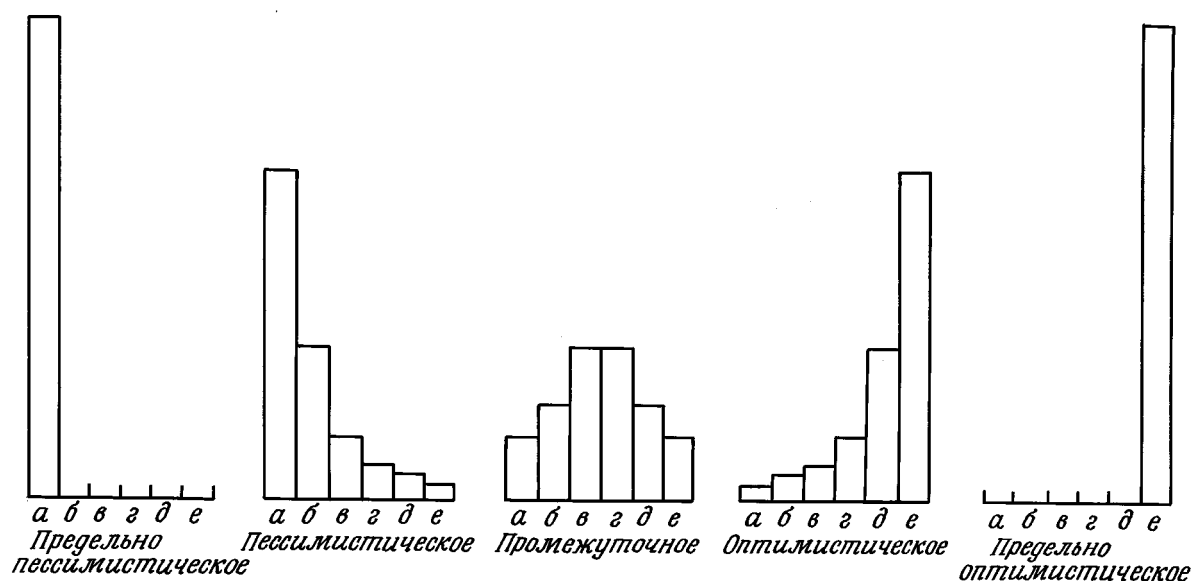


Рис. 1. Возможные типы распределения ответов на вопрос *Единственная ли наша цивилизация?* **а)** да, считаю, что единственная; **б)** вполне возможно (весьма вероятно); **в)** возможно (вероятно); **г)** маловероятно (вряд ли) = существование ВЦ вероятно; **д)** весьма маловероятно = существование ВЦ весьма вероятно.

Таблица 3. Наша цивилизация единственная?

| ответы | во Вселенной | | в Галактике | |
|---------------------------------------|--------------|-----|-------------|-----|
| а) да, считаю, что единственная | 1 | 3% | 3 | 9% |
| б) вполне возможно (весьма вероятно) | 2 | 6% | 1 | 3% |
| в) возможно (вероятно) | — | — | 4 | 11% |
| г) маловероятно (вряд ли) | 7 | 22% | 11 | 31% |
| д) весьма маловероятно | 3 | 9% | 2 | 6% |
| е) нет, не допускаю такой возможности | 15 | 47% | 12 | 34% |
| Не поддаются данной классификации | 4 | 12% | 2 | 6% |

Это распределение как для Вселенной, так и для Галактики, скорее похоже на “оптимистическое”. Следует отметить, что поскольку в реконструированном распределении мы сами относили ответ к одной из возможных категорий (а–е), то мнение отдельных авторов может быть учтено не точно, однако на характере распределения в целом это, видимо, существенным образом не сказалось. Особые трудности представляли ответы как раз тех участников анкеты, которые ответили на вопрос прямо так, как он был сформулирован. Например, некоторые участники ответили “да”, т.е. они **допускают**, что наша цивилизация единственная, но это не дает никаких оснований для отнесения их ответов к категории (а) или к какой-либо другой от (а) до (е). Мы учли

Таблица 4.

| фактор | среднее значение фактора | число данных оценок |
|--|--------------------------------|---------------------------|
| доля звезд, имеющих планетные системы; | 7.5×10^{-2} | 16 |
| доля планет с подходящими для возникнове- ния жизни условиями; | 3×10^{-2} | 21 |
| вероятность происхождения жизни на планете с подходящими условиями; | 8×10^{-2} | 19 |
| вероятность возникновения разумной жизни; | 10^{-2} | 18 |
| вероятность возникновения технической цивилизации; | 2.5×10^{-1} | 19 |
| время жизни технической цивилизации; | 2×10^5 | 16 |

эти ответы, как не поддающиеся данной классификации.

Представляет интерес сопоставить результаты данного опроса с результатами международного опроса, организованного в 1966 г. чехословацким журналом “Radar”, о которых любезно сообщил проф. Р.Пешек. Из 38 участников опроса, приславших свои ответы в Прагу, 28 (74 %) выразили мнение, что имеется весьма большая вероятность существования других цивилизаций, 3 участника (8 %) не думают (не верят), что другие цивилизации существуют, и 7 человек (18 %) затрудняются высказать определенное мнение.

В дополнение к анкете содержалась просьба дать интуитивную оценку числа цивилизаций в Галактике, а также оценить факторы, входящие в формулу Дрейка. Оценки числа цивилизаций содержатся в 17 ответах. Согласно этим оценкам, среднее значение нижнего предела для числа цивилизаций в Галактике равно 20, а среднее значение верхнего предела 2^4 ; среднее значение числа цивилизаций в Галактике (в зависимости от способа определения) порядка 200—600. То есть, согласно интуитивным оценкам в Галактике существует несколько сот цивилизаций. Любопытно, что число цивилизаций, полученное по формуле Дрейка, существенно меньше. Среднее значение факторов, входящих в формулу Дрейка, по результатам настоящего опроса приведено в таблице 4.

Число цивилизаций, полученное по формуле Дрейка с использованием этих значений, равно 9.

Разумеется, все оценки подобного рода носят субъективный характер и могут использоваться лишь для характеристики “общественного мнения” или мнения данной группы экспертов. Оценки, содержащиеся

в настоящем опросе, можно характеризовать как “умеренно оптимистические”, указывающие на определенную перспективность планирования работ в области СЕТИ.

3. Третий вопрос: Считаете ли Вы возможным контакт с ВЦ, учитывая физические, технические, семантические и другие возможные ограничения?

Очевидно, что ответ на этот вопрос зависит от того, что понимается под контактом с ВЦ. Поэтому изложение удобно начать с анализа ответов на вопрос 3.1, содержащийся в дополнении к анкете:

3.1. Что Вы понимаете под контактом с ВЦ?

Можно отметить следующие шесть различных подходов к пониманию контакта с ВЦ.

1. Обнаружение факта существования ВЦ.

— *Первая задача состоит в том, чтобы убедиться, что в определенном месте имеется цивилизация.* — А.А. Ляпунов;

— *Получение информации о существовании и, быть может, о свойствах ВЦ.* — Л.И. Гудзенко;

— *Обнаружение ВЦ, прием сигнала.* — Г.М. Идлис;

— *Обнаружение деятельности или информационного сигнала.* — Н.С. Кардашев;

— *Обнаружение сигнала заведомо не естественного происхождения.* — С.Б. Пикельнер;

— *Получение сигналов явно искусственного происхождения.* — И.С. Шкловский.

Заметим, что в последних ответах говорится именно (и только) **об обнаружении сигнала, а не о приеме сообщения**, и тем более не **об обмене информацией**. Вопрос о том, как можно обнаружить ВЦ, ее деятельность или ее сигнал, как можно отличить ее от естественного феномена, в рамках данного понимания контакта не обсуждается. Видимо, интуитивно предполагается наличие каких-то достаточно строгих критериев искусственности.

2. Взаимное установление существования друг друга.

— *Когда “мы” и “они” знаем о существовании друг друга, причем “мы” знаем, что “они” о нас знают и наоборот.* — Л.П. Грищук;

— *Только доказательство ее существования и любой вид ее реакции на факт нашего существования.* — Ю.Н. Парийский.

3. Получение и обмен информацией.

— *Хотя бы одностороннее получение сообщений по каким-либо каналам связи.* — В.А. Амбарцумян;

- *Обмен (по крайней мере односторонний) любой информацией, начиная от обнаружения.* — И.Д.Новиков;
- *Односторонняя связь, т.е. взаимное вещание.* — В.С.Троицкий;
- *Двусторонний обмен информацией.* — В.И.Мороз, Л.И.Мухин, В.И.Крысанов, В.А.Согласнов, В.И.Сифоров, Б.В.Сухотин, Ю.К.Ходарев.

4. Обмен информацией и соприкосновение с материальными объектами.

- *Обмен информацией и материальными предметами* — Ю.П.Кузнецов;
- *Непосредственное соприкосновение с материальными объектами цивилизаций (или продуктами их деятельности), либо обмен смысловой содержательной информацией* — Л.М.Гиндилис.

Заметим, что вопрос о возможности непосредственного контакта в рамках данного понимания не обсуждается. Предполагается, что надо дать по возможности широкое понимание контакта, а вопрос о том, какие виды контакта осуществимы — исследовать особо.

5. Наличие предполагаемого феномена

- *Наличие феномена, который заставляет одну сторону предполагать существование другой стороны.* — Г.М.Хованов.

Близкая точка зрения по этому вопросу высказана В.И.Слышом. Согласно В.И.Слышу, астрофизические исследования необычных объектов и явлений могут привести к следующим ситуациям:

- а) объяснение их с помощью известных законов физики;
- б) открытие новых знаков природы и объяснение с их помощью необычных явлений;
- в) интерпретация их как проявление деятельности ВЦ, либо занесение в список так и не понятых явлений (в зависимости от вкуса (!)).

6. Естественнонаучное изучение

- *Контакт могу понимать только как естественнонаучное исследование высокоорганизованных систем. Успех зависит от возможностей изучения предметно-материальной деятельности этих систем (т.е. если угодно “непосредственный” контакт в смысле возможностей изучения всего комплекса этих действий).* — Б.Н.Пановкин;

– *Для “них” мы будем слишком мелки, чтобы с нами контактировать. И мы их будем изучать, как изучаем “обычную природу” — Землю, Солярис, Вселенную.* — Ф.А.Цицин.

Что касается **возможности** контакта, все ответы на этот вопрос положительны; причем в двух ответах из 32 контакт считается возможным, но с определенными оговорками. В остальных ответах оговорок

Таблица 5. Типы контактов

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|----|---|---|---|---|
| прямые контакты (взаимные посещения) | 4 | — | 1 | — | 1 |
| контакты по каналам связи с использованием электромагнитных волн | 26 | — | — | — | — |
| контакты смешанного типа (зонды) | 4 | 6 | — | — | — |
| другие типы контактов | 1 | — | 2 | — | — |
| контакты по каналам неизвестной природы | 7 | — | 1 | 1 | — |

насчет возможности контакта не содержится, но в ряде ответов подчеркиваются трудности контакта.

— *Считаю контакт возможным, хоть и полагаю, что эта проблема гораздо сложнее, чем мы это сейчас наивно представляем.* — И.С. Шкловский.

Некоторые участники анкеты отмечают, что не видят причины для ограничения контакта. Наиболее определенно в этом отношении высказался Н.С. Кардашев: — *Контакт возможен, ограничений нет.*

На дополнительный вопрос анкеты:

3.2. Какой тип контактов, по Вашему мнению, является преобладающим, ответили 28 человек. Большинство указали, какой тип контакта (один или два разных типа) они ставят на первое место, некоторые указывали еще второе место. Один из участников расставил все 5 из предложенных типов контактов по местам. Результаты можно резюмировать в виде следующей таблицы (табл.5), где для каждого типа контактов указано, сколько человек поставили его на то или иное место.

Отметим, что “другие типы контактов” и “контакты неизвестной природы” — это не одно и то же. Например, А.А.Ляпунов указывает, что для передачи информации, наряду с электромагнитными волнами, могут использоваться корпускулярные потоки, параметры которых тем или иным образом модулируются. Такой тип контактов, конечно, нельзя рассматривать как контакт неизвестной природы, в рамках нашей классификации мы относим его к “другим типам контактов”.

В связи с рассматриваемым вопросом представляют интерес оригинальные соображения, высказанные В.А.Согласновым: — *Наряду с ординарными цивилизациями, которые подобны нашей и составляют (увы!) большинство, существуют экстраординарные цивилизации (которые мне больше по душе), играющие в интеллектуальном развитии Галактики такую же роль, как гениальные личности в нашей истории (другая аналогия — книги: большинство ординарная посред-*

ственность, лишь часть — собственно литература). Типы контактов: 1) для самых высокоразвитых — электромагнитные волны с энергией кванта 10^{27} эв¹³; 2) для менее развитых — прямые контакты; 3) для самых неразвитых — связь в диапазоне 0.1–10 см (именно этот тип наиболее вероятен для нашей цивилизации).

Четвертый вопрос: Существует ли, по Вашему мнению, принципиальная возможность интерпретировать (понять) информацию, содержащуюся в сигналах ВЦ, учитывая различие в системе понятий, или такая интерпретация принципиально невозможна?

Этот вопрос не является, конечно, повторением предыдущего. Ведь если под контактом понимается только обнаружение факта существования ВЦ или ее естественнонаучное изучение, не говоря уже о “наличии предполагаемого феномена”, — вопрос об интерпретации сигналов не возникает. Он относится только к одному, быть может наиболее интересному и важному типу контактов, связанному с передачей информации. Для планирования работ в области СЕТИ этот вопрос имеет первостепенное значение.

На него получено 33 ответа; из них только один ответ отрицательный: — *Содержательную информацию, передаваемую в сигналах других систем (если таковые сигналы есть), выделить, имея только эти сигналы, принципиально невозможно.* — Б.Н.Пановкин.

Остальные участники анкеты считают, что понимание в принципе возможно. При этом Ю.П.Кузнецов обращает внимание на то, что положительный ответ предопределен самой постановкой вопроса, поскольку предполагается существование цивилизации, способной послать сигнал, несущий разумные сообщения.

Анализ ответов позволяет разбить их на следующие группы (в порядке убывания оптимизма):

1. Понять можно всегда, существенных трудностей нет — 2 ответа (6%).

— *Не вижу трудностей в интерпретации информации, которая могла бы содержаться в сигналах ВЦ.* — С.А.Каплан;

— *Взаимопонимание возможно, никаких понятийных различий нет, кроме различия в терминологии, что не существенно.* — Н.С.Кардашев.

¹³ Автор ответа подчеркивает, что существование таких сверхжестких квантов гипотетично, но если они существуют, то их преимущество — полное отсутствие естественных помех, искажений при распространении (т.к. вещество не успевает взаимодействовать с такими короткими импульсами), а также ничтожное время приема.

2. Понять можно (трудности не отрицаются и не подчеркиваются). Это самая многочисленная группа — 20 ответов (60%). Вот некоторые из ответов:

- *убежден в том, что если информация поступит, то ее интерпретация в принципе возможна.* — В.Л.Гинзбург;
- *Расшифровку информации, если таковая поступит от некоторой ВЦ, считаю вполне возможной.* — А.А.Ляпунов;
- *Понять (или интерпретировать) полученную информацию можно, но обязательно нужно ставить эксперимент, подтверждающий тот факт, что интерпретация верна (хотя бы получением повтора).* — В.И.Крысанов;
- *Считаю, что возможность понять информацию в сигналах ВЦ, имеется. Эта возможность вытекает из единства законов движения материи во Вселенной.* — Н.Т.Петрович;
- *Принципиальная возможность интерпретировать информацию, содержащуюся в сигналах ВЦ, имеется. Эта возможность вытекает из того, что указанная информация отражает объективно существующие общие свойства части Вселенной, в которой расположены обе цивилизации.* — В.И.Сифоров;
- *Возможность интерпретировать сигналы ВЦ зависит, во-первых, от степени “незашифрованности” сигналов ВЦ. С другой стороны, несходство понятий может затруднить лишь понимание кратких сообщений, поскольку это несходство существенно лишь для “элементарных” понятий. Сходство неэлементарных понятий обеспечивается тем, что они отражают подобные или идентичные явления действительности. В качестве поясняющего примера можно указать на сходство картин, изображающих одно и то же, но написанное разными красками. Поэтому возможность интерпретации сигналов ВЦ следует оценить оптимистически.* — Б.В.Сухотин.

3. Понять можно всегда, если не полностью, то, по крайней мере частично. 1 ответ (3%).

- *По-моему существует принципиальная возможность передачи сообщений о логических схемах, системах логических соотношений между какими-то объектами. Однако, возможно, что остается самая большая неоднозначность в интерпретации системы объектов, к которым относятся переданные в сообщении логические схемы. Тем не менее допускаю, что такая информация может оказаться весьма интересной и полезной.* — В.А.Амбарцумян.

4. В принципе понять можно, но не всегда (не обязательно). — 7 ответов (21%). Например:

— Я думаю, что существует: 1) класс цивилизаций, о которых мы никогда ничего не только не будем знать, но даже догадываться; 2) класс цивилизаций, с которыми принципиально можно установить контакт тем или иным способом и 3) класс цивилизаций, относительно которых мы будем строить более или менее разумные догадки, что они существуют, но понять их не сможем. — Л.М.Гиндилис.

К этой же группе отнесены такие ответы, как:

- возможность — да — Ю.Н.Парийский;
- иногда — да — Ф.А.Цицин.

5. Очень трудно, не исключено, что нельзя. 1 ответ (3%)

— Вопрос сложный. Скорее всего мы сможем понять хотя бы часть информации или понять, что информация послана цивилизацией. Однако не исключено, что мы ничего не поймем. — В.Г.Курт.

6. Невозможно. 1 ответ (3%) — Б.Н.Пановкин. (см.выше)

Пятый вопрос касается методики поиска сигналов. Анализ ответов логичней начать с дополнительного вопроса.

5.1. Позволяют ли с Вашей точки зрения современные технические средства обнаружить сигналы ВЦ?

Смысл этого вопроса очевиден: если современные технические средства позволяют обнаружить сигналы ВЦ, хотя бы при некоторых предположениях об их мощности, которые не противоречат законам физики, то искать стоит. Если же современные средства заведомо не позволяют сделать это, то искать не следует.

На этот вопрос получено 26 ответов. Один из участников считает вопрос не вполне корректным.

— Смотря какие сигналы. Вопрос, мне кажется, не совсем корректен. Мы же не знаем, что за сигналы. Поэтому современные технические средства позволяют принять то, что они могут принять. — Л.М.Мухин.

Остальные ответы распределились следующим образом:

| | | |
|-------------------------------|----|-----|
| — не знаю | 3 | 12% |
| — да | 15 | 60% |
| — почти да | 1 | 4% |
| — почти нет | 2 | 8% |
| — нет | 4 | 16% |
| В том числе: | | |
| — сейчас — нет, но скоро — да | 3 | 12% |

Отметим, что эти результаты менее оптимистичны по сравнению с единодушным одобрением резолюции конференции.

Из положительных ответов приведем следующие:

- *Контакт возможен при обеспечении финансирования.* — Н.С.Кардашев;
- *Современные технические средства достаточны для того, чтобы начать поиск сигналов ВЦ. Сильный сигнал будет принят.* — Ю.П.Кузнецов;
- *Если бы во Вселенной были “сверхцивилизации”, их сигналы мы могли бы обнаружить уже сейчас. Вся проблема в том, существуют ли сверхцивилизации.* — И.С.Шкловский;
- *Думаю, что да, тем более, что систематическое изучение всех сигналов, приходящих из Вселенной, несомненно спровоцирует усовершенствование технических средств их ловли. Думаю, что очень большую роль могут сыграть астрономические обсерватории, расположенные на Луне, на искусственных станциях, а может быть на других телах солнечной системы, не защищенных ни атмосферой, ни другими физическими полями. Такие средства позволят сильно увеличить базу и сопоставлять моменты поступления сигналов в разные точки.* — А.А.Ляпунов.

К категории “почти нет”, наряду с ответом Ю.Н.Парийского, мы относим ответ С.Лема:

- *Ситуация представляется с точки зрения наших актуальных возможностей весьма неблагоприятной для межцивилизированного контакта. Такой неблагоприятной, что “Молчание Вселенной” может стать правилом на целый период поисков и наблюдений, и, одновременно, количество цивилизаций в Галактике может быть весьма значительным (расстояние порядка 100-500 световых лет).*

К категории “сейчас нет, но скоро да” отнесены ответы:

- *Нет, но близко к тому.* — В.И.Мороз;
- *При некотором развитии (порядка 5-10 лет) возможно будет средствами радиоэлектроники обнаружить позывные сигналы.* — В.И. Сифоров;
- *В настоящее время малая вероятность, резкое увеличение через 10-15 лет.* — Ю.К.Ходарев.

Рассмотрим теперь ответ на основной вопрос анкеты:

5. Ваше мнение по методике поиска сигналов ВЦ. Следует ли для обнаружения сигналов использовать специальную программу и аппаратуру или следует ожидать их обнаружение в процессе обычных астрономических и радиоастрономических наблюдений?

На этот вопрос получено 33 ответа. Мнение участников анкеты отличается большим разнообразием. Для статистики массового материала удобней иметь ответ в форме “да”, “нет”. Но для небольшого материала, которым мы располагаем, наибольший интерес представляют именно оттенки мнений. Анализ ответов позволяет сгруппировать их следующим образом.

1. Специальную методику и аппаратуру применять надо.
27 ответов (82%). Среди них:

- *Нужна специальная программа и аппаратура.* — В.И.Мороз;
- *Специальная аппаратура и специальная техника представляются неизбежными, обычные радиоастрономические методы недостаточны.* — Р. Пешек;
- *Следует использовать специальную аппаратуру и специальную программу исследований. Процесс, методы и задачи обычных астрономических и радиоастрономических наблюдений не адекватны процессу, методам и объектам специальных поисков.* — В.С.Троицкий;
- *Нужна специальная программа.* — Ю.К.Ходарев;
- *Для обнаружения внеземных сигналов ВЦ следует разработать специальную аппаратуру и работать по специальной международной программе. Конечно, “обычные” астрономические наблюдения, особенно в радиодиапазоне, случайно могут привести к обнаружению ВЦ, но вероятность успеха чрезвычайно мала.* — И.С.Шкловский;
- *Работы по обнаружению ВЦ должны проводиться планомерно, систематически и должны быть рассчитаны на длительный срок (я не верю в возможность легкого успеха). Для обнаружения сигналов необходимо разработать специальную аппаратуру, специальную программу (или ряд программ), использовать специальную методику, которые будут со временем корректироваться и совершенствоваться. Конечно, возможно и чисто случайное обнаружение сигналов ВЦ в процессе обычных астрономических наблюдений. Однако рассчитывать на такую удачу было бы, по меньшей мере, несерьезно.* — Л.М.Гиндилис;
- *Безусловно, следует создавать специальную аппаратуру и осуществлять специальную программу, а также разрабатывать теоретическую базу поиска ВЦ. Нужно, вместе с тем, максимально использо-*

вать для поиска ВЦ информацию, получаемую во всех сферах человеческой деятельности. Не исключена возможность, что ВЦ будет открыта случайно. — В.А.Согласнов.

Приблизительно половина участников анкеты, высказавшихся за специальные методы, подчеркивают, что их следует использовать **наряду** с обычными астрономическими и радиоастрономическими методами.

— *Безусловно надо создавать специальную аппаратуру... Но ни в коем случае не следует отказываться от всех имеющихся каналов, по которым может поступать информация.* — В.И.Крысанов;

— *Поиск сигналов ВЦ можно проводить на базе астрономической и радиоастрономической аппаратуры. Но она должна быть дополнена универсальными устройствами для детектирования декодирования сигналов ВЦ самого различного вида. Так как сигналы ВЦ, вероятно, ограничены во времени (во всяком случае в данном участке неба и в данном участке частотного спектра), то программа поиска их должна отличаться от обычной для радиоастрономии и должна быть непрерывной на больших отрезках времени.* — Н.Т.Петрович;

— *Необходимым условием является известная “бесприигрышность” усилий в том отношении, что в любом случае (т.е. и при неудаче попыток обнаружить другую цивилизацию) будут получены ценные научные результаты астрономического характера. Поэтому нужно создавать грандиозные, уникальные радиотелескопы, которые лишь часть времени будут “искать” гипотетические сигналы от гипотетических цивилизаций на предполагаемых планетах около различных звезд и т.п., а другую (не меньшую!) часть времени будут использоваться для радиоастрономических наблюдений разного типа.* — В.Л.Гинзбург.

Здесь затронут очень важный вопрос “о бесприигрышности” попыток поиска сигналов. На него неоднократно обращали внимание, в частности, инициаторы проекта “Озма” (Ф.Дрейк). Серьезные психологические трудности возникают вследствие того, что длительное получение одних только отрицательных результатов не вдохновляет исследователей (особенно в наш избалованный открытиями век) и не стимулирует тех, кто дает средства. Поэтому всякая программа СЕТИ с самого начала должна строиться так, чтобы обеспечить получение астрономической информации в процессе поисков. По всей видимости необходимо продумать вопрос и о проведении прикладных исследований во время поисков.

Все ответы, в которых признается необходимость использования как специальных, так и обычных астрономических методов, можно подраз-

делить на три группы:

а) преимущественно специальные методы

— Думаю, что следует использовать по преимуществу специальную аппаратуру и программу наблюдений. — А.Е.Андреевский;

— Следует разработать специальную программу поиска. Возможно обнаружение ВЦ и обычными астрономическими наблюдениями. Что окажется более успешным — сейчас сказать трудно, но, вероятно, специальная программа будет более эффективной. — Н.С.Кардашев.

Сюда же относим и ответ С.Лема, который считает, что поиски должны проводиться автоматически с помощью соответствующим образом запрограммированной аппаратуры.

— Не будучи специалистом, не могу ответить на вопрос, в какой степени будут специализированы эти системы, или не приведет ли их специализация на поиск сигналов к полному обесцениванию их как “астрофизических” приборов. Однако мне кажется, что степень специализации должна быть высокой. — С.Лем.

б) оба пути в равной мере

— И то, и другое. — Г.М.Идлис;

— Возможны оба пути. — И.Д.Новиков;

— Думаю, что полезно и то, и другое. — Г.М.Хованов;

— И так, и сяк. — Ф.А.Цицин.

в) Преимущественно астрономические методы

— Думаю, что разделение упомянутых методов довольно условно. Но скорее всего следует ожидать обнаружения ВЦ в процессе “обычных наблюдений”. — Л.П.Грищук;

— Вероятность получения сигналов пока, вероятно, мала. Наверное, целесообразно строить специальную аппаратуру, а лучше иметь ввиду такую возможность при интерпретации обычных наблюдений. — С.Б.Пикельнер.

2. Специальную методику и аппаратуру применять не следует. 6 ответов (18 %)

а) . пока — 3 ответа (9 %)

— Пока не можем теоретически предсказать, искать не стоит. Если будут на этот счет убедительные теоретические соображения — можно и следует рискнуть искать. Сейчас еще рано искать. Думаю, что расширение радиоастрономических наблюдений и поиски закономерностей в естественных сигналах приведут к случайному открытию искусственных сигналов. — В.М.Амбарцумян;

— Этим заниматься еще рано. Пока следует ограничиться только радиообластью. — В.Г.Курт;

— Не ясно, на что нацелить разработку специальной аппаратуры и программы. Хорошо бы вначале уточнить. — Л.И.Гудзенко.

б) . вообще (не следует) — 3 ответа (9 %)

— Последнее — Ю.Н.Парийский;

— Следует ожидать их обнаружения в процессе обычных астрономических и радиоастрономических наблюдений. — В.И.Слыш;

— Считаю, что не существует научно-правильной постановки самой “радиоастрономической проблемы”. Тем более не может быть речи о специальных методах исследования. Добавлю, что мне лично представляется, что при строгом обсуждении весь “радиоастрономический аспект проблемы ВЦ” окажется псевдопроблемой. — Б.Н.Пановкин.

5.2. Ваше мнение об оптимальном диапазоне волн для передачи сигналов между космическими цивилизациями.

На этот вопрос прислано 24 ответа. Из них: 6 человек **затрудняются ответить** (не знаю, не имею мнения, затрудняюсь ответить, вопрос требует специального изучения); 7 человек дали ответ **общего характера** (в большинстве этих ответов содержится предложение искать в **самом широком** диапазоне спектра); 11 человек (т.е. менее половины) попытались дать **определенный** ответ.

Относительно небольшой процент (46 %) определенных ответов вполне понятен, так как вопрос весьма специальный и сложный. Распределение ответов по диапазонам электромагнитных волн выглядит следующим образом:

| | | |
|--------------------------------|--------------|----|
| радиоволны: | | 10 |
| в том числе: | см—дм | 7 |
| | мм | 4 |
| ИК и субмиллиметровый диапазон | (10 мк—1 мм) | 1 |
| гамма | | 1 |
| “супер” гамма* | | 1 |

* См. ответ В.А.Согласнова.

Из “определенных” ответов приведем три развернутых:

— *Оптимальный диапазон зависит от вида связи. Здесь следует различать две задачи: передача позывных и передача высокоинформативных потоков информации. В случае позывных задача решается по-разному для поиска позывных от конкретных объектов (ближайшие звезды, центр Галактики, туманность Андромеды и др.) и поиска абонента, положение которого в пространстве совершенно неизвестно. В последнем случае оптимальный диапазон также зависит от*

ряда факторов, в частности от того, какие параметры антенн (площадь, направленность, стоимость и т.д.) являются заданными. С учетом этих обстоятельств оптимальной, по-видимому, является область $10^9 - 10^{10}$ Гц, а также область вблизи 5.4 мм (56 ГГц). Лично мне представляется целесообразным поиск импульсных сигналов на частоте 56 ГГц. — Л.М.Гиндилис;

— Вероятнее всего либо дециметровый диапазон (минимум радиофона), либо область максимума интенсивности реликтового фона (минимум планковской температуры электромагнитного фона) — миллиметровый диапазон. Позывные ВЦ у ближайшей звезды могут быть обнаружены также в виде всплесков в гамма-диапазоне. — Н.С.Кардашев;

— Диапазон длин волн $0,1 \div 10$ см. (диапазон 1). Имеет смысл также рассмотреть принципиальную возможность использования гигантских квантов с энергией до 10^{27} эв (диапазон II), один такой квант способен передать всю информацию, имеющуюся у цивилизации. Преимущества — полное отсутствие естественных помех, искажений при распространении (вещество не успевает взаимодействовать с такими короткими импульсами), ничтожное время приема. Неизвестно, однако, возможно ли в принципе существование таких квантов в природе — квантовая электродинамика здесь уже не работает. — В.А.Согласнов.

Из ответов “общего характера” приведем следующие:

— оптимальный диапазон электромагнитных волн для передачи сигналов между цивилизациями определяется условиями генерации сигнала, условиями распространения сигнала и уровнем помех, возможностями технического приема сигнала. Условия распространения сигнала и уровень помех относительно известны. Условия передачи определяются техническими возможностями передающей цивилизации и нам не известны. Единственные принципиальные ограничения — общий уровень энергии, находящийся в распоряжении цивилизации, и способность цивилизации управлять для передачи сигналов излучением природных источников излучения, например, пульсаров. Поиск сигналов поэтому следует производить в более широком диапазоне, чем тот, который оптимален с точки зрения шумовых помех. —

Ю.П.Кузнецов;

— Диапазоны должны быть совершенно разные для “маяковых” сигналов и передачи информации разного объема и сложности. Вероятно, “маяковый” сигнал должен быть демаскирующим и одинаковым по характеру в самом широком спектре, чтобы быть не похожим ни на

что природное. — И.Д.Новиков;
— Минимум всех видов помех. — Ю.Н.Парийский;
— Оптимальный диапазон определяется максимальной прозрачностью космической среды. Однако, трудно ожидать, что сигналы ВЦ будут укладываться в оптимальном диапазоне. “Местные” соображения могут определить иной выбор частот. — Б.В.Сухотин;
— Считаю этот вопрос хотя и интересным с технической точки зрения, но никак не принципиальным для проблемы. Здесь возможны неожиданности. — И.С.Шкловский.

6. Шестой вопрос: Какие затраты средств и времени Вы считаете допустимыми для организации работ по обнаружению ВЦ?

На этот вопрос откликнулись 35 человек. Из них: 7 человек **затрудняются** ответить или дают **ответ общего характера**. 28 человек попытались **оценить** возможные затраты. Из ответов общего характера приведем следующие:

— Ответить затрудняюсь. Чем меньше будут военные расходы во всем мире, тем больше можно будет затрачивать средств на изучение природы, в том числе и на поиски внеземных цивилизаций. — А.А.Ляпунов;
— Выделять столько же рублей, сколько после вьетнамской войны будет выделяться долларов. — Ф.А.Цицин;
— Трудный вопрос. Наука есть самоорганизующаяся система, и административные меры мало помогают. Как только будет что-то открыто, так все кинутся. Видимо, спрашивается, что можно тратить сейчас. Здесь надо полагаться на нескольких энтузиастов (это могут быть наблюдатели, директора или отдельные страны), готовых взять на себя это унылое дело. — Э.А.Дибай;
— Величина затрат будет определяться прогрессом решения чисто земных задач (специальных и технических). Чем дальше продвинемся по пути их решения — тем больше можно отвлечь средств на установление контактов. Но забывать о том, что само установление контактов тоже может способствовать прогрессу, также не следует. — В.И.Крысанов;
— Эти затраты должны быть относительно скромными. Надо по возможности использовать существующую аппаратуру, в том числе, конечно, и современные электронные вычислительные машины. Необходимо организовать небольшое научное подразделение для проведения исследований по поискам ВЦ. — В.И.Сифоров;

— Средства, обычно отпускаемые на поисковые работы. — В.С.Троицкий.

По вопросу о возможных затратах “дисперсия мнений” исключительно велика: от нуля до 10 % мировой экономики.

Самые негативные ответы принадлежат В.И.Слышу (“*никаких затрат*”) и Ю.Н.Парийскому (“*время на участие в симпозиуме СЕТИ — предел*”). Эти ответы вполне закономерно вытекают из позиции их авторов по отношению к СЕТИ.

В.И.Слыш считает, что в нашей Галактике может быть до 1000 цивилизаций, но не исключает, что наша цивилизация — единственная (в Галактике). Контакт с ВЦ он считает возможным, допускает также, что можно понять информацию, содержащуюся в сигналах ВЦ. Однако, по мнению В.И.Слыша, современные технические средства не позволяют обнаружить сигналы ВЦ. Поэтому он считает, что не следует использовать специальную программу для обнаружения ВЦ, а следует ожидать их обнаружения в процессе обычных астрономических и радиоастрономических наблюдений. Естественно, что при таком подходе никаких затрат на СЕТИ не требуется. Следует еще иметь в виду, что сам контакт В.И.Слыш понимает, как “фифти-фифти”, т.е. как обнаружение таких астрофизических явлений, которые **в зависимости от вкуса** могут быть либо причислены к ВЦ, либо отнесены к разряду непонятых явлений природы.

Ю.Н.Парийский не исключает того, что наша цивилизация — единственная в Галактике (хотя и не утверждает этого). По его мнению, ВЦ можно обнаружить в процессе обычных астрономических наблюдений по мере развития астрономии и наблюдательной техники. Специальную программу он отрицает, отсюда и затраты (времени) равны нулю.

Остальные 26 человек считают, что затраты должны быть больше нуля. Следует отметить, что оценки выражены в несопоставимых (или плохо сопоставимых) величинах. Используются два метода оценки:

- 1) затраты оцениваются по сравнению с другими науками или сферами человеческой деятельности (относительная шкала затрат) и
- 2) затраты оцениваются в деньгах (абсолютная шкала). Результаты опроса можно резюмировать в виде двух следующих таблиц, где затраты приведены в порядке их возрастания.

Приведем несколько развернутых ответов:

— Для этой цели разумны затраты до миллиарда или даже нескольких миллиардов золотых рублей. Сравнение с известными затратами по проекту “Аполлон” и на строительство ускорителей показывает, что такие цифры вполне реальны — было бы желание (подразумевается, естественно, срок, типа 10 лет, так что за год придется тра-

Таблица 6. Затраты на СЕТИ (относительная шкала)

| затраты | число ответов |
|---|---------------|
| 1% от астрономии (радиоастрономии) | 4 |
| 3–5% от астрономии | 2 |
| 10–30% от астрономии | 1 |
| 5–10% от астрономии (включая внеатмосферную) | 3 |
| 60–70% от астрономии | 2 |
| порядка затрат на ускорители | 1 |
| порядка затрат на космические полеты | 1 |
| порядка затрат на борьбу с загрязнением природной среды | 1 |
| 1–2% от мирового бюджета | 1 |
| 10% от мировой экономики | 1 |

Таблица 7. Затраты на СЕТИ (абсолютная шкала)

| затраты | число ответов |
|---------------------------------------|---------------|
| 1 млн.руб.в год | 1 |
| 20-30 млн. долларов в год (СССР, США) | 1 |
| 40-100 млн. долларов в год (весь мир) | 2 |
| 1 млрд. долларов в год | 3 |

тить лишь сотню миллионов рублей, а одной стране типа СССР и США даже 20-30 млн., а это, вероятно, меньше стоимости одного космического полета (к сожалению, стоимость полета мне неизвестна, и я здесь гадаю)). Итак, мне представляется вполне разумным, если АН СССР выступит с проектом международного сотрудничества в области поиска внеземных цивилизаций и, одновременно, развития радиоастрономии. Основой проекта должна быть постройка сверхмощного радиоастрономического комплекса. — В.Л.Гинзбург;

— Исходя из важности проблемы, учитывая одновременно, что мы, возможно, еще не вполне научно-технически созрели для ее решения, я считаю целесообразным следующее решение для денежного вопроса: в течение ближайших 5 — 10 лет постепенно довести расходы на специальные исследования СЕТИ до 5% от общих расходов на астрономию, астрофизику, включая в эти последние астрофизические и астрономические исследования в космосе. Одновременно обсудить и принять программы “совмещенных” исследований, основная цель которых не связана с СЕТИ, но обработка и система наблюдений учитывает интересы СЕТИ. Это — оценка на глаз, тем более “ценная”, что я не знаю, чему равно 100% в СССР, США, во всем мире. — А.Д.Сахаров;

- По моему мнению, выражение (термин) “организация исследований по обнаружению сигналов ВЦ” слишком широко и туманно. 1) Систематическое изучение могло бы быть разделено хотя бы на две стадии, первая из которых не должна превышать 10 лет. Не следует забывать, что ученые, плановики и законодатели, как правило, любят видеть результаты в течение своей жизни. 2) Что касается бюджета, то общая сумма вероятно не должна превышать 2 % от опубликованной стоимости проекта Аполло, т.е. в пределах от 400 до 500 млн. американских долларов на десятилетие. — Р.Пешек;
- Этот вопрос я считаю не вполне корректным. Лишних денег ни у кого нет. Тем не менее, человечество тратит большие средства на исследования в области прикладных и фундаментальных наук. Очевидно, что проблема СЕТИ, как и всякая другая научная проблема, должна быть обеспечена соответствующими средствами. Конечно, для развития любой отрасли науки всегда требуется больше средств, чем их практически можно выделить. Объем финансирования тех или иных фундаментальных исследований — это вопрос не принципа, а “научной политики”, которая, естественно, меняется. Если уж все же говорить о конкретных затратах в области СЕТИ, то, я думаю, они должны быть соизмеримы с общими затратами на астрономические и радиоастрономические исследования. — Л.М.Гиндилис;
- Космические исследования — это затраты не только средств и времени, но и ресурсов задач. Для успешного контроля познавательного потенциала земной науки ей нужно давать новые задачи. Без этого мы не будем знать, на что способна наша земная наука вообще, отдельные школы и методы, в частности. Поэтому для наблюдения любого принципиально нового объекта нужно выжать все, что возможно из теоретической науки (вплоть до перечня возможных исходов и их вероятностей). (См. ВЦ под редакцией А.С.Каплана, гл. V, параграф 5). Когда вопрос теоретически будет выжат до предела, то при ожидании выгоды порядка 10^{11} руб., при вероятности быстрого успеха порядка $10^{-11} \div 10^{-2}$ можно будет выделить на наблюдения порядка 10^9 руб. При меньшей ожидаемой выгоде допустимые затраты безусловно могут приближаться к производству затрат на вероятность с поправкой на дисконтирование во времени. При большей ожидаемой выгоде и вероятности 10^{-2} допустимые затраты вряд ли могут значительно превысить 10^9 . — Г.М.Хованов;
- Специальная программа поисков ВЦ должна серьезно финансироваться, (может быть, с привлечением средств ЮНЕСКО?). Допустимо на это затратить 10% национальных средств на развитие

астрономии, включая внеатмосферную. — И.С.Шкловский.

На вопрос о допустимых затратах **времени** ответило только 6 человек. Из них один считает, что время, затрачиваемое на СЕТИ, должно составлять 1/3 всего наблюдательного времени; двое считают, что оно должно составлять половину наблюдательного времени; и один считает — 2/3. В.Курт отмечает, что “каждый может тратить хоть все свое время”, а Ю.Н.Парийский, как уже отмечалось, считает, что время, затраченное на участие в симпозиуме — предел.

Седьмой вопрос: Ваше мнение о необходимости международного сотрудничества в области поиска сигналов ВЦ. а) совместные проекты, б) координация работ в области СЕТИ

На этот вопрос получено 36 ответов. Двое считают, что **необходимости** в этом **нет**.

— *Особой необходимости нет.* — В.И.Слыш;

— *Необходимости нет. Проблема не обсуждалась до сих пор глубоко. Решение ее — в успехах ряда неастрономических областей знания и философии. Специальное обсуждение в рамках этих наук — дело научных организаций этих отраслей. Координирование работ в философско-методологическом плане имеет общеизвестную трудность разноидеологического подхода, связанного с классовостью философских воззрений.* — Б.Н. Пановкин.

34 участника опроса считают, что **сотрудничество** в той или иной **форме необходимо, полезно, желательно**. Из них: четверо **не конкретизировали формы сотрудничества**.

— *Надо укреплять международное сотрудничество в изучении всех астрономических объектов и особенно слабых излучений. Усиливать обмен данными.* — В.А.Амбарцумян;

— *Все формы международного сотрудничества (при условии, чтобы они не могли вызвать политических конфликтов) считаю чрезвычайно целесообразными. В частности и в области СЕТИ.* — А.А.Ляпунов;

— *Сотрудничать надо. Дело в том, что если в ближайшее время поиски ВЦ и не увенчаются успехом в буквальном смысле слова, то они дадут огромный положительный “побочный” эффект. Они помогут нам, людям Земли, осознать свое место в природе, свои обязанности, свое единство. Помогут разобраться в том, какие из наших целей верны и какие — ложны. Будут способствовать осмыслению нашей жизни, искоренению бессмыслицы и утверждению разумного начала в наших земных делах. Как всякая глобальная задача, будут способствовать миру на земле.* — П.В.Клушанцев;

— *Международное сотрудничество в осуществлении проектов желательно. Желательно также поставить вопрос о разработке и принятии международного соглашения, требующего немедленного (скажем, в недельный или месячный срок) обнародования любых фактов, подозреваемых на сигнал внеземной цивилизации, до его детального анализа в национальном порядке.* — А.Д.Сахаров.

24 участника анкеты **считают необходимым обе формы сотрудничества (а) и (б)**. Точнее, таким образом высказались 21, трое упомянули только о совместных проектах, но мы отнесли их к той же группе ответов, так как совместные проекты без взаимной координации работ невозможны (т.е. кто сказал “а”, тот, по нашему мнению, сказал и “б”). Приведем несколько ответов из этой группы.

— *Мне представляется вполне разумным, если АН СССР выступит с проектом международного сотрудничества в области поиска внеземных цивилизаций и, одновременно, развития радиоастрономии. Основой проекта должна быть постройка сверхмощного радиоастрономического комплекса.* — В.Л.Гинзбург;

— *Крайне желательно создание международной обсерватории (типа института в Церне или Дубне). Полезна координация работ на существующих инструментах различных стран.* — Н.С.Кардашев;

— *Не может быть никаких оснований для сомнения в том, что международное сотрудничество в исследовании сигналов ВЦ необходимо. СЕТИ является важным для всего человечества, это непосредственная задача ООН. Можно было бы начать хотя бы с координации исследований в области СЕТИ и продолжить в общих проектах, объединяющих усилия нескольких стран.* — Р.Пешек.

Один из участников опроса высказался **только за пункт “б”**.

— *По ряду причин совместные международные проекты в этой области нереальны. Международная же координация работ конечно желательна.* — А.Е.Андриевский.

Наконец, пятеро предложили еще одну (более слабую) форму сотрудничества — **обмен информацией**, которую они считают единственно реальной.

— *а) пока рано, в дальнейшем необходимо; б) не столько координация, сколько обмен информацией (пока).* — В.И. Мороз;

— *Независимо от пункта б (затраты) — повод для взаимных контактов.* — Ю.Н.Парийский;

— *Международное сотрудничество пока может дать только лучшее обсуждение возможностей и семантических проблем.* — С.Б.Пикельнер;

— *Международное сотрудничество в области поиска ВЦ будет полез-*

Таблица 8. Международное сотрудничество в области СЕТИ

| | | |
|--------------|--|----|
| | <i>всего ответов</i> | 36 |
| из них: | | |
| | нет | 2 |
| | да | 34 |
| в том числе: | | |
| | обмен информацией | 5 |
| | координация работ и совместные проекты | 24 |
| | только координация | 1 |
| | не конкретизировали формы сотрудничества | 4 |

но. На начальной стадии оно должно быть в форме международных или региональных симпозиумов или конференций и координации работ в области СЕТИ. — В.И.Сифоров;

— Представляется полезной организация международного полупериодического издания для обмена информацией. — Б.В.Сухотин.

Таким образом, результаты по данному вопросу можно резюмировать в виде следующей таблицы 8:

По нашему мнению, международное сотрудничество во всех формах полезно и необходимо. **Обмен информацией** надо проводить в жизнь уже сейчас, частично это делается. **Совместные проекты** — хорошо, если удастся их организовать, во всяком случае, к этому следует стремиться. Однако, надо иметь ввиду, что для совместных проектов (и, может быть, прежде их) нужны **национальные усилия** как предпосылка и основа совместных действий. **Координация работ** в области СЕТИ, конечно, также необходима. Но она будет полезна при одном условии, которое может показаться тривиальным: чтобы координировать, надо иметь, что координировать, т.е. опять-таки **нужны исследования в национальных масштабах**.

Восьмой вопрос: Представителей каких наук следует привлечь к разработке проблемы СЕТИ?

Этот вопрос оказался неожиданно сложным для обработки. В 30-ти полученных ответах было названо 46 различных наименований дисциплин. В нижеследующей таблице 9 мы попытались объединить их в более крупные группы. Конечно, отнесение той или иной специальной дисциплины к определенной группе не всегда можно сделать однозначно. Например, куда отнести математическую лингвистику: к математике, лингвистике, кибернетике? Здесь возможен произвол. Возможны и

прямые ошибки (мы не претендуем на точную классификацию наук). Приводимая ниже таблица носит чисто иллюстративный характер. Ее назначение — показать, какие дисциплины, по мнению участников анкеты, требуются для разработки проблемы СЕТИ.

Таблица 9: Представителей каких наук следует привлечь к разработке проблемы СЕТИ?

| | | | |
|--------------------|---|----|--------|
| Астрономия | — | 10 | (33 %) |
| | астрофизика | 8 | (27 %) |
| | радиоастрономия | 6 | (20 %) |
| | планетоведение | 1 | (3 %) |
| | астроботаника | 1 | (3 %) |
| | Всего: | 17 | (57 %) |
| Биология | | 13 | (43 %) |
| | теоретическая биология | 1 | (3 %) |
| | эволюционная биология | 4 | (14 %) |
| | генетика | 2 | (7 %) |
| | молекулярная биология | 1 | (3 %) |
| | биохимия | 2 | (7 %) |
| Кибернетика | Всего: | 15 | (50 %) |
| | | 11 | (37 %) |
| | теория информации | 7 | (23 %) |
| | программирование на ЭВМ | 1 | (3 %) |
| | машинный перевод | 1 | (3 %) |
| | распознавание образов | 1 | (3 %) |
| | общие и методологические вопросы кибернетики | 1 | (3 %) |
| | высшие проблемы теории информации и организации | 1 | (3 %) |
| | Всего: | 14 | (47 %) |
| Физика | | 9 | (30%) |
| | радиофизика | 2 | (7%) |
| | распространение радиоволн | 1 | (3%) |
| | физика элементарных частиц | 1 | (3%) |
| | Всего: | 10 | (33%) |

Таблица 9: (продолжение)

| | | | |
|-------------------------|--|----|-------|
| Математика | — | 7 | (23%) |
| | математическая логика | 2 | (7%) |
| | дискретная математика | 1 | (3%) |
| | теория игр и теория тактик | 1 | (3%) |
| | теория поиска | 1 | (3%) |
| | Всего: | 10 | (33%) |
| Лингвистика | | 7 | (23%) |
| | машинная лингвистика | 1 | (3%) |
| | структурная лингвистика | 1 | (3%) |
| | Всего: | 9 | (30%) |
| Прибористика | | 1 | (3%) |
| | радиотехника | 1 | (3%) |
| | радиоэлектроника | 3 | (10%) |
| | вычислительная техника | 1 | (3%) |
| | генерация суб.мм. и дальних ИК-волн | 1 | (3%) |
| | Всего: | 5 | (17%) |
| Логика | | 2 | (7%) |
| Психиатрия | | 1 | (3%) |
| Психология | | 1 | (3%) |
| Социальные науки | | 1 | (3%) |
| | философия | 11 | (37%) |
| | социология | 7 | (23%) |
| | история | 3 | (10%) |
| | история науки | 1 | (3%) |
| | этнография | 1 | (3%) |
| | юридические науки (метаправо) | 1 | (3%) |
| | футурология | 3 | (10%) |
| | Всего: | 15 | (50%) |
| ВСЕХ | | 2 | (7%) |
| Всех желающих | | 1 | (3%) |

Несколько замечаний к цифрам, приведенным в таблице. Они означают, что 10 человек назвали астрономию, 8 — астрофизику, 6 — радиоастрономию и т.д. Всего за астрономический цикл высказалось 17 человек, но эта цифра не равна сумме “голосов” за каждую дисциплину цикла, т.к. один человек часто называл несколько дисциплин, и в этом случае каждой из них присваивался один голос.

Из примечаний к ответам приведем следующие:

- *биологов — обязательно хороших;*
- *эволюционистов — если такие есть;*
- *философов — не ортодоксальных, конкретных, настоящих.*

Приведем также ответ В.Л.Гинзбурга: — *был бы подходящий радиотелескоп, а представители нужных наук найдутся.*

Девятый вопрос: В каких направлениях следует развивать исследования по проблеме СЕТИ? Какие конкретные проекты обнаружения ВЦ Вы можете предложить?

На этот вопрос получено 34 ответа. Четверо участников затрудняются высказать определенное мнение:

- *Пока не знаю, думаю над этим.*
- *Не специалист.*
- *Предпочитаю не обсуждать этого вопроса — пока неясно.*
- *Конкретных проектов обнаружения ВЦ не имею.*

Остальные 30 ответов удобно разбить на две группы: в первой рассматриваются направления исследований, во второй — конкретные предложения, проекты, мероприятия.

I. Направления исследований.

Поскольку проблема СЕТИ чрезвычайно широкая, нет ничего удивительного в том, что среди предложений имеются такие:

- *развивать во всех направлениях — Б.В.Сухотин;*
- *широко думать — П.В.Щеглов.*

Далее в ответах содержатся предложения развивать исследования

1) В обще-философском плане.

- *Именно в плане глубокого и всестороннего, обобщающего данные отдельных дисциплин философского анализа. — Б.Н.Пановкин;*
- *Обсуждать общие проблемы и ждать необычных сигналов. — С.Б.Пикельнер;*
- *В философском плане, в плане передачи и приема информации. До конкретных проектов дело еще не дошло. — В.Г.Курт.*

2) В плане, главным образом, астрономических исследований.

- *Детальные исследования пекулярных объектов, прежде всего квазаров. Поиски новых пекулярных объектов. — Г.М.Идлис;*
- *а) Искать в Космосе (и на Земле) явления, объекты и ситуации маловероятные с точки зрения известных законов физики (типа “естественного автомобиля” на Земле). На худой конец откроешь новый закон физики... — б) Начать с контроля на искусственность крупномасштабных явлений (типа расширения Вселенной). — Ф.А.Цицин.*

3) В плане разработки и осуществления конкретных программ поиска.

- Разработать программу активного поиска сигналов ВЦ и передавать свои сигналы. — В.Ф.Заболотный;
- Использовать электромагнитный канал, а также затратить определенные силы и средства на изучение природы полей гравитации и способов управления этими полями. — В.И.Крысанов;
- В первую очередь поиски маяковых сигналов. — И.Д.Новиков;
- Поиск направленных потоков информации, которые являются необходимым условием существования ВЦ. — В.А.Согласнов;
- В первую очередь — разработка средств в неосвоенных диапазонах (особенно “короткий” радиодиапазон) и попытка обнаружения “разумных” сигналов типа позывных. — Ю.К.Ходарев.

Интересный ответ прислал А.Д.Сахаров: — *Нельзя полностью исключить, что мы еще очень мало знаем и умеем. Нельзя исключить, что есть вопиющие пробелы в наших основных представлениях о пространстве, например, об его топологической структуре, и что ВЦ ведут свои передачи с учетом этого обстоятельства, а мы “смотрим не в ту сторону”. Нельзя также исключить вопиющих пробелов в отношении типов существующих в природе излучений. Еще более вероятно, что наши корреспонденты, используя уже известные нам виды излучений и законы природы, рассчитывают при этом на такой уровень чувствительности приемной аппаратуры, который для нас пока еще совершенно недоступен по техническим, технологическим и экономическим причинам. Однако, все эти сомнения не должны расхолаживать нас на пути попыток приема сигналов с постепенным увеличением чувствительности (и стоимости) приемной аппаратуры и расширением методологии поиска. Только так, рано или поздно, можно рассчитывать на успех. При этом я хотел бы отметить важность проектных работ по посылке сигналов, доведенных до конкретного осуществления некоторых проектов — только так можно понять тонкие аспекты проблемы контактов. Здесь, как и в других делах, эгоисты в конце концов оказываются в проигрыше.*

4) “Синтетические” предложения.

- а) В плане астрономических исследований в сочетании с разработкой конкретных программ.
 - Основное направление — это детальное изучение “новых”, “диких”, “необычных” явлений в Космосе и “подозрительных” участков Космоса. Систематическое статистическое их изучение (подобно тому, как сейчас ведется изучение “пульсаров”, “квазаров” и т.д.). Разра-

ботка теорий, объясняющих эти явления в Космосе. Разработка методик поиска ВЦ, программы поиска, использование существующей астрономической и **радиоастрономической** аппаратуры, разработка специальной для поиска ВЦ аппаратуры. — В.И.Сифоров.

Сюда же относится и ответ Н.С.Кардашева (см.ниже).

б) В общетеоретическом аспекте и астрономическом плане.

— Считаю, что проблема СЕТИ должна развиваться в двух главных направлениях: 1) Дальнейшее изучение вопроса о происхождении жизни, выявление необходимых и достаточных условий возникновения разумной жизни и движущих сил, приводящих к появлению технически развитых цивилизаций. Необходимо так же по возможности глубже понять причины гибели существовавших на Земле древних цивилизаций, однако это лишь в небольшой степени поможет оценить время жизни нашей и других технически развитых цивилизаций. По-видимому, невозможно прогнозировать дальнейшее развитие нашей цивилизации, и поэтому нет достаточных оснований для количественных оценок числа высокоразвитых цивилизаций в нашей Галактике и степени превосходства их над нашей. 2) Астрофизические исследования необычных объектов и явлений, которые уже обнаружены или будут все время открываться. Результатами исследований могут быть: а) объяснение их с помощью известных законов физики; б) открытие новых законов природы и объяснение с их помощью необычных явлений; в) интерпретация их как проявление деятельности ВЦ, либо занесение в список так и не понятых явлений (в зависимости от вкуса). Таким образом, в настоящее время не существует специфической области знаний, подведомственных СЕТИ, как и нет собственного предмета исследований, а указанные выше направления в любом случае будут развиваться в рамках соответствующих наук. В частности, в настоящее время видимая активность СЕТИ объясняется тем, что она узурпировала чисто техническую проблему межзвездной связи, которая оставалась неразработанной ввиду отсутствия прямой практической необходимости. Тем не менее, СЕТИ как межотраслевой или координирующий фактор имеет право на самостоятельное существование. — В.И.Слыш.

в) В общетеоретическом плане в сочетании с разработкой конкретных программ обнаружения.

— Исследования широкого профиля, имеющие отношение к проблеме ВЦ. Основное внимание следует уделять практической работе по поиску сигналов. — Ю.П.Кузнецов;

— В двух основных направлениях: 1) общий серьезный теоретический

анализ проблемы в философском, биологическом, футурологическом и прочих аспектах, 2) Разработка специальной аппаратуры для поисков ВЦ, разработка программы наблюдения. Разумеется, при обнаружении сигналов возникает огромной трудности проблема дешифровки и анализа информации. Но это уже совсем отдельное направление. — И.С.Шкловский.

Приведем еще не укладывающийся в эту классификацию ответ П.В. Клушанцева: — Шарить по небу надо. Надо искать “чудеса”, т.е. все, что хоть как-нибудь отклоняется от стандарта. Но надо при этом отдавать себе отчет, что это не более, чем оглядывание мира только что прозревшим котенком. Для котенка “чудом”, заслуживающим внимания, будет все, что движется. Бумажка на нитке, человек, трамвай для него одинаковы. Но до понимания этих явлений котенку далеко. Для нас “чудом” может стать точечный, монохроматический источник излучения, “по-странному” модулированный. К нему надо присмотреться. Но учиться понимать подобные “чудеса” надо в первую очередь у себя, на Земле. Надо изучать “цивилизации” под своими ногами (муравьи, пчелы, дельфины и т.д.). Да и самих себя. Заметить “чудо” легко. Понять его неизмеримо труднее. Но, “дорогу осилит идущий!” Главные усилия, мне кажется, надо направлять не на “Линкос” (антропоморфизм!), а на создание как можно более общих теорий жизни, разумной жизни, восприятия мира живыми существами и способов их общения между собой. С этой целью надо усиленно изучать земные формы жизни, с которыми у нас почти нет контактов. Надо научиться разговаривать с муравьями, дельфинами, приматами. Я уверен, что со временем будут обнаружены способы общения у растений (химические, запахами, или какими-либо излучениями и др.). Вообще, надо глубже, смелее, с большей фантазией и с меньшим высокомерием вгрызаться во все живое на Земле. Тогда нам легче будет понять “их”, живущих на далеких планетах. А сейчас? Ведь даже мы, люди, и то, плохо понимаем друг друга.

II. Конкретные предложения, проекты, мероприятия.

— Строить больше крупных телескопов: наземных и внеатмосферных в радио и оптическом диапазоне (и в других диапазонах). — В.А.Амбарцумян;

— Создать международный научный центр. (см. ответ на вопрос 7) — В.Л.Гинзбург;

— Создать международную обсерваторию, типа института в Церне или Дубне. (см. ответ на вопрос 7). — Н.С.Кардашев;

— Я предлагаю следующие шаги на ближайшее будущее: 1) образовать

международный координирующий и планирующий орган для проблем СЕТИ; 2) Получить поддержку ЮНЕСКО; 3) Подготовить в возможно кратчайшее время программу использования спутников, орбитальных обитаемых станций и планетных зондов для решения некоторых проблем СЕТИ (оптическая астрономия на базе внеатмосферных исследований может дать информацию о множественности планетных систем, марсианские зонды могут дать информацию хотя бы о существовании примитивных форм жизни на Марсе). — Р.Пешек;
— Очень многое будет зависеть от экспериментов, проведенных на Марсе в 1975 г. Если будет обнаружена на этой планете органическая жизнь (примитивная), то возможны в будущем поиски цивилизации на Марсе. — Л.М.Мухин.

Предложения технического характера:

Л.М.Гиндилис:

— 1) Непрерывная служба всего неба с помощью трех разнесенных по долготе экваториальных станций. Каждая станция оборудуется системой относительно небольших (малонаправленных) неподвижных антенн, перекрывающих весь небесный свод. Универсальная приемная аппаратура, способная производить амплитудный, частотный и фазовый анализ сигнала; полное перекрытие всего оптимального диапазона волн. Потенциал подобной системы обнаружения может наращиваться постепенно. 2) Непрерывная радиослужба 100—1000 звезд подходящего спектрального типа с помощью более крупных антенн и универсальной приемной аппаратуры с полным перекрытием оптимального диапазона волн. Постепенное наращивание потенциала системы с целью увеличения числа обследуемых звезд. 3) Непрерывная радиослужба Галактики М-31. 4) Непрерывная радиослужба нескольких соседних галактик. 5) Поиск сигналов в либрационных точках Лагранжа от возможных межзвездных зондов.

Н.С.Кардашев:

1) Уточнение оптимального диапазона волн (для приема позывных и для связи). 2) Создание сети станций для непрерывного патрулирования всего неба с целью обнаружения импульсных сигналов с использованием ненаправленных антенн. Желательно полное перекрытие по частоте миллиметрового, сантиметрового и дециметрового диапазонов. 3) Проведение полных радиоастрономических поисковых обзоров в тех же диапазонах (мм., см., дм.). 4) Исследование радиоизлучения и гамма-излучения ближайших 100 звезд типа G и сопоставление с излучением Солнца. 5) Изучение структуры радиосигналов без осреднения с отношением сигнал/шум >1 .

Ю.П. Кузнецов:

- 1) Использование сети приемных пунктов “Орбита” для целей СЕТИ.
- 2) Выделение рабочего времени на крупных радиотелескопах для задач поиска.
- 3) Проведение поиска сигналов СЕТИ одновременно с проведением обычных радиоастрономических обзоров неба.

А.А. Ляпунов:

Детальное изучение физических сигналов от ближайших звезд, центра Галактики, ближайших галактик (для обнаружения “автотрофной” технологической деятельности ВЦ).

В.И. Мороз:

Активный и пассивный поиск в диапазоне 10 мкм— 1 мм.

Н.Т. Петрович:

- 1) Имитировать поиск и связь двух цивилизаций на двух ЭВМ, соединенных только эквивалентом межзвездной среды. На одной ЭВМ создаются самые разнообразные виды сигналов при различных видах модуляции, кодирования; с помощью другой ЭВМ, используя только приходящие сигналы и наложенный на них шум среды и приемников, пытаются обнаружить разумные сигналы, обучиться их логике и прочесть переданную информацию¹⁴.
- 2) Создать сверхширокополосные приемники для поиска сигналов ВЦ (десятки и сотни гигагерц). Возможно, что обитатели ВЦ работают сверхкороткими импульсами (по земным масштабам), и наши приемники их не замечают. Могло случиться, что ВЦ нашли способ создания колоссальных мощностей только при сверхкоротком импульсе. Кроме того, такие импульсы несут большой поток информации. Одновременно с излучением импульсов на передаче может вноситься частотная коррекция, препятствующая распылению импульсов в районе базирования предполагаемой цивилизации. Дополнительную коррекцию может выполнить принимающая сторона.

В.С. Троицкий:

Необходима постановка радионаблюдений в широком диапазоне волн за ближайшими звездами в пределах 1000 св.лет.

А.Д. Сахаров:

Хочу кратко обсудить один конкретный вариант системы связи. За пределы солнечной системы, во избежание слепящего действия Солнца, раз в 10-20 лет выводятся несколько источников сигнала одностороннего действия (“лампы-вспышки”, сокращенно ЛВ). Лампы-вспышки

¹⁴Близкое предложение содержится в ответе Г.М.Хованова: *Необходимо провести ряд мысленных экспериментов; например, дешифровок воображаемых кодов.*

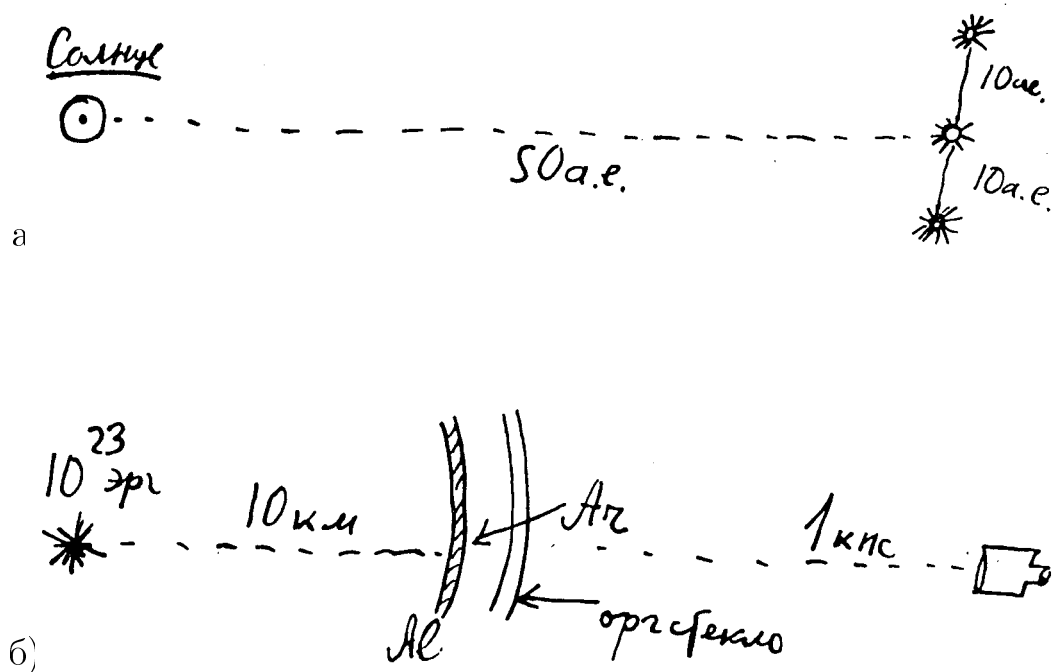


Рис. 2. К предложению А.Д.Сахарова: Передача сигналов с помощью вспышки-взрыва (Л.В.) а) схема расположения Л.В.; б) устройство Л.В.

выводятся на одну прямую и размещаются эквидистантно, (рис.2а), затем взрываются синхронно (в системе отсчета, связанной с Солнцем) или через равные промежутки времени (критерий искусственности!). Источником энергии в каждой ЛВ должен служить мощный термоядерный взрыв. Энергия взрыва легко трансформируется в короткую вспышку в световом диапазоне, радиодиапазоне и т.п. Размеры системы ЛВ должны, конечно, при этом быть довольно внушительными (км), но вес не очень большим. Например, сжимая энергией продуктов взрыва тонкий слой газа (аргона), легко получить очень короткую вспышку в видимом свете, причем с любой микро-структурой для передачи информации (рис.2б). Приемное устройство должно состоять из оптического телескопа с записью сигналов во времени и с хорошим разрешением по углу.

10. Десятый вопрос: Каково Ваше мнение о возможных последствиях контакта?

На этот вопрос получено 35 ответов. Представляется интересным провести анализ ответов в двух планах: “значительные-незначительные” и “положительные-отрицательные”.

11 человек (31%) подчеркивают **существенное значение** контакта

для человечества.

— Установление контакта с ВЦ явится самым выдающимся достижением человечества и благотворно скажется на его дальнейшем развитии. — В.Ф.Заболотный;

— Контакт приведет к полному изменению представлений, в первую очередь, в социальных науках, в технике и, наконец, в естественных науках. В результате контакта произойдет полная переоценка взаимоотношений и задач нашей цивилизации. Возможно, что дальнейшее развитие будет направлено на непосредственное объединение с ВЦ. — Н.С.Кардашев;

— Контакт может иметь огромное значение для развития представлений человечества о Вселенной, а также для развития науки и техники за счет получения информации от внеземных цивилизаций. — Ю.П.Кузнецов;

— После того, как существование хотя бы одной ВЦ земного типа станет подтвержденным фактом, можно ожидать больших перемен в многочисленных отраслях науки. — С.Лем;

— Возможные последствия контактов с ВЦ: а) увеличение времени жизни нашей цивилизации; б) революция в науке, философии, технологии. — Р.Пешек.

Сюда же мы отнесли и ответ В.А.Амбарцумяна: — Я не ожидаю, что начнется с начального шока. В этой области начнется с мелких и неоднозначно понимаемых вещей. В отдаленном будущем может иметь огромное влияние на общество.

По крайней мере еще два человека, хотя прямо и не говорят о значительных последствиях контакта, но это вытекает из их ответов, так что общее число участников опроса, считающих последствия контакта значительными, составляет 13 человек (37 %). 4 человека (11 %) считают, что последствия контакта **не будут значительными**.

— Гораздо меньше, чем от открытий в земных дисциплинах (биология, медицина) — ну, на уровне...пульсаров, ибо “контакт” будет осуществлен, когда будут возможности “непосредственного” (в широком смысле слова, т.е. не по “излучению”) изучения. А к тому времени, мы, видимо, будем “гораздо больше знать” о жизни, разуме и т.д. Уверен, что “сенсаций” не будет. Ну, а “катастрофические столкновения” аналогичны встрече с любой “космической” катастрофой. — Б.Н.Пановкин;

— Ввиду больших расстояний контакт вряд ли может быть связан с колонизацией. Получить информацию, существенно большую нашей, вряд ли будет возможно, хотя бы из-за трудностей понимания на

чужом “языке”, без возможности вести диалог с вопросами и т.д. — С.Б.Пикельнер;

— Это будет не контакт, а прием весьма ограниченного (с учетом трудности расшифровки) количества информации, которая будет представлять приблизительно такой же интерес, как те сведения, которые удалось добыть о культуре майя или этрусков. Соответственно, и последствия будут весьма ограниченными. — В.И.Слыш;

— Ничего катастрофического. Для них мы будем слишком мелки, чтобы с нами контактировать, и мы их будем изучать, как изучаем “обычную природу” — Землю, Солярис, “Вселенную”. Психологически — безболезненно. Даже в пределе различия — мы и Бог — “знание” его существования не задавило нас! — Ф.А.Цицин.

Рассмотрим теперь результаты опроса в плане “ **положительное — отрицательное**”. 24—25 человек (около 70 %) считают, что последствия могут быть **только положительные**.

— Мне кажутся фантастическими предположения о возможных вредоносных последствиях контакта, ну, а конкретные последствия будут зависеть от расстояния, т.е. времени распространения сигналов и уровня “собеседников”. — В.Л. Гинзбург;

— К возможным последствиям контакта отношусь оптимистически. — С. А. Каплан;

— При всех условиях последствия должны быть благоприятными. — В. И.Крысанов;

— Самые положительные в философском, а впоследствии и в научном плане. — В.Г.Курт;

— Положительное значение невозможно переоценить. — И.Д.Новиков;

— У меня нет сомнений в том, что последствия контакта будут, несомненно, положительными для дальнейшего развития земной цивилизации. — Н.Т.Петрович;

— Наука может только выиграть. — Б.В.Сухотин;

— Последствия только положительные. — В.С.Троицкий.

В некоторых ответах прямо не говорится, что последствия должны быть положительными, но это непосредственно следует из их содержания. Например:

— В первую очередь расширение кругозора и обнаружение собственной ограниченности. — Э.А.Дибай;

— Ускорение развития. — Г.М.Идлис, В.И.Мороз и др.

Сюда же мы относим и очень интересный ответ А.Д.Сахарова: — Заключена ли какая-либо опасность в получении информации от внеземной цивилизации? Преждевременное, органически не воспринятое

знание в принципе может быть опасным, однако, в применении к такому зрелому организму, как земная цивилизация, при условии постепенного восприятия и поступления информации эти опасности не представляются мне реальными. Создание искусственного “сверхмозга” гораздо более опасно из-за наличия обратной связи, но и в этом случае мне представляется, что опасности “дегуманизации”, информационное отравление (!) и т.д. сильно преувеличиваются. Расширение кругозора при получении информации от внечеловеческого интеллекта будет важным, но подсобным и, по-моему, очень положительным фактором в развитии научных знаний, в преодолении наивного антропоморфизма, в развитии наших этических и социальных институтов.

Но определяющим фактором по-прежнему будут внутренние силы человеческого общества — накопленные знания и навыки, традиции и институты, генетический фонд человечества, материальные производственные силы, состояние земной природной среды. Несколько грубо можно сказать, что умному и доброму всякое дополнительное знание — только на пользу, а глупому и злему, обреченному на самоуничтожение, ничто не может ни помочь, ни повредить. Будучи оптимистом, я за настойчивые поиски внеземных цивилизаций!

4 человека (11 %) допускают, что последствия контакта могут быть **как положительными, так и отрицательными**. Из них 2 подчеркивают преимущественно отрицательные возможности.

— Я настроен далеко не оптимистически. Человек ушел по путям эволюции неизмеримо дальше коровы. Однако он с аппетитом поедает ее. Человек топчет муравейники, совсем недавно только прекратил истребление своих “братьев по разуму” — дельфинов, мучает обезьян и собак. Я уже не говорю об истреблении людей людьми в печах Освенцима и во Вьетнаме. Что же говорить о контактах с инопланетянами. Кто возьмет на себя смелость утверждать, что гуманизм воцаряется именно на той стадии, когда рождаются радиопередатчики и ракеты? Может быть, обнаружив себя, мы поступаем как клопы, которые необдуманно вылезли днем из щели. И только вызовем “беспощадную дезинфекцию”, которую учинят “сверхчеловеки” в каких-то своих, высших интересах? — П.В.Клушанцев;

— Все может быть — последствия могут быть неконтролируемы в современном человеческом обществе, раздираемом противоречиями. Так как опасности могут быть, по крайней мере, такими же как от ядерной или бактериологической войн, заранее надо продумать систему строжайшего международного соглашения и контроля. —

И.С.Шкловский.

3–5 человек (9–14%) считают, что последствия контакта **невозможно предвидеть**.

— *Последствия контактов с ВЦ первого рода¹⁵ не могут быть отрицательными для нашей цивилизации. Возможные же инсинуации со стороны сверхцивилизаций второго рода трудно предвидеть и оценить. Уклониться же от них тем более невозможно.* — А.Е.Андреевский;

— *Предвидеть заранее, что может дать работа в области крупной научной проблемы, как правило, затруднительно. Часто результаты бывают неожиданны. В то же время, это никогда не может служить доводом против развертывания научных работ в этом направлении.* — А.А.Ляпунов.

Приведенные результаты можно резюмировать в виде следующей таблицы 10.

Таблица 10. Последствия контактов

| | | | |
|---|-------|---------|-----------|
| значительные | 11–13 | ответов | (31%–37%) |
| незначительные | 3–4 | ответа | (9%–11%) |
| непредвиденные | 3–5 | ответов | (9%–14%) |
| положительные | 24–25 | ответов | (70%) |
| и положительные и отрицательные | 4 | ответа | (11%) |
| в том числе преимущественно отрицательные | 1–2 | ответа | (3%–6%) |

Заключение

В приведенном обзоре ответов на анкету СЕТИ мы стремились объективно изложить мнения участников опроса с учетом оттенков и нюансов. Приведенные здесь статистические данные представляют интерес в качестве характеристики “общественного мнения” по обсуждаемым вопросам. Разумеется, “большинство голосов”, поданных за ту или иную альтернативу, не следует рассматривать как доказательство. Оно просто

¹⁵Согласно А.Е.Андреевскому ВЦ можно условно разделить на два типа. К первому он относит цивилизации, которые в принципе могут быть поняты нами (и мы ими), несмотря на значительные отличия во многих отношениях (биологическом, технологическом, семантическом). Ко второму типу Н.С. (“нечистая сила”) он относит цивилизации, поведение и внешние признаки которых невозможно интерпретировать с позиций антропоморфизма.

характеризует наиболее **распространенное мнение** (которое может оказаться распространенным заблуждением).

III Статъи

В.П. Григорьева, В.Н. Курильчик,
В.С. Прокудина (ГАИШ МГУ)

Некоторые результаты измерений длинноволнового радиоизлучения на ИСЗ типа “Прогноз” и “Интербол”

На борту ИСЗ “Прогноз-2”, “Прогноз-8”, “Прогноз-10 Интеркосмос” были проведены эксперименты по исследованию длинноволнового космического радиоизлучения при помощи многоканальных радиометров АКР-2, АКР-2М, АКР-Х с рамочными антеннами, принимающими только электромагнитное излучение и установленными под углом 60° к оси Х, направленной на Солнце (в системе геоцентрических солнечно-эклиптических координат XYZ). Исследования проводились в диапазоне частот 100–1000 кГц. При наличии потоков энергичных солнечных частиц (электронов и протонов), обусловленных хромосферными вспышками, регистрировались всплески типа III и SA (shock accelerated), связанные с электронами, ускоренными на фронте ударной волны, распространяющейся в солнечной короне. Для мощных событий амплитуда всплесков достигала значений $E = 10^{-16} - 10^{-15}$ Вт/м² Гц с продолжительностью в несколько десятков минут. Уровень фона не превышал при этом $E = 10^{-19}$ Вт/м² Гц. Были проведены измерения длинноволновых радиовсплесков как в максимуме цикла солнечной активности (“Прогноз-8”, 1981 г.), так и вблизи минимумов (“Прогноз-10”, 1985; “Интербол”, 1995).

Наблюдения на ИСЗ “Прогноз-8” проводились во время максимума 21-го цикла, когда наблюдались мощные события на Солнце и было зарегистрировано более пятисот событий солнечных всплесков в диапазоне частот 100–2160 кГц. Описание ряда уникальных событий на Солнце, как например 1, 10, 24 апреля и 16 мая 1981 г., содержится в публикациях [1-3].

По наблюдениям на ИСЗ “Прогноз-8”, наряду с всплесками III типа, были выявлены медленно дрейфующие всплески II типа. Несколько всплесков подобного типа было зарегистрировано еще ранее (“Прогноз-2”) во время событий в августе 1972, когда 4, 7 и 12 августа на Солнце наблюдались мощные вспышки балла 3В. Радиовсплески II типа 4 и 5 августа 1972 г. обсуждаются в [4]. Для данного события были получены оценки средней скорости движения ударной волны (УВ) $V = 3680$ км/с. Помимо ускорения УВ на уровнях $1 - 10 R_\odot$ до значений $V = 5000$ км/с и движения с постоянной скоростью на $50 R_\odot$, было замечено ее замед-

ление до $V = 2000$ км/с на расстояниях $80 - 100 R_{\odot}$. Скорости ударной волны были рассчитаны для различных моделей и подтвердили разработанную С.А. Капланом теорию об ускорении и последующем их замедлении при движении в межпланетной среде.

Кроме того, на ИСЗ “Прогноз-8” были зарегистрированы всплески II типа, обусловленные ускорением электронов на ударной волне. Всплески типа SA запаздывают относительно взрывной фазы вспышки и являются продолжением всплесков II типа метрового диапазона.

Особый интерес представляют километровые радиовсплески для протонных событий, зарегистрированных на том же спутнике “Прогноз-8”, так как по началу генерации радиовсплеска во взрывной фазе можно судить о времени выхода протонов из области ускорения на Солнце. По времени прихода высокоэнергичных протонов к Земле можно определить время запаздывания при распространении их до земной орбиты, которое составляет несколько десятков минут в зависимости от энергии протонов [5, 6].

Характерно, что, как правило, потоки протонов и километровые радиовсплески не регистрируются от восточных событий (вспышек в восточной полусфере) и наблюдаются только с приходом ударной волны с запаздыванием около двух дней относительно взрывной фазы вспышки. Исключение составляют события во взаимосвязанных комплексах активных областей, расположенных в широком диапазоне гелиодолгот.

Еще из экспериментов КЯ-4 и АКР на ИСЗ “Прогноз-1” по данным измерений потоков частиц было известно о существовании ловушек энергичных частиц — замкнутых магнитных конфигураций, в которых наблюдались анизотропные потоки частиц, измеренных как в солнечном, так и в антисолнечном направлениях [7].

По наблюдениям на ИСЗ “Прогноз-8” в эксперименте АКР-2, например, для событий 28 и 30 апреля 1981 г., обусловленных вспышками на западном лимбе, были измерены потоки протонов с энергиями $E > 100$ МэВ и $E > 500$ МэВ. В обоих случаях протоны различных энергий были зарегистрированы у Земли одновременно. Хромосферные вспышки, связанные с этими событиями, мощностью балла 1В сопровождались всплесками радиоизлучения метрового диапазона II и IV типов, и, что весьма существенно, в это время регистрировались всплески длинноволнового радиоизлучения [8].

Тот факт, что протоны и электроны регистрировались одновременно, означает, что ускоренные во вспышке частицы могли быть захвачены в магнитную ловушку большой протяженности (до 1 а.е.), связанную с активной областью на Солнце, и распространялись вдоль магнитных

силовых линий к Земле. ИСЗ пересекал магнитную ловушку у орбиты Земли, что позволило оценить ее поперечные размеры (2,5 млн. км). Существование подобных протяженных структур обсуждалось в работах [9]. Оценка поперечных размеров ловушек составляет 1,4 — 5 млн. км, что согласуется с размерами, полученными на ИСЗ “Прогноз-8”.

Наблюдения с апреля по октябрь 1985 г. на ИСЗ “Прогноз-10” соответствуют периоду спада солнечной активности и приближения к минимуму 21-го цикла. В июле 1985 г. были зарегистрированы мощные всплески длинноволнового радиоизлучения, связанные с серией хромосферных вспышек с большим энерговыделением. При прохождении по диску Солнца активной области со 2 по 17 июля 1985 г. наблюдались километровые радиовсплески, которые можно было сравнить с потоками энергичных электронов, регистрируемых на том же ИСЗ. Результаты этого сопоставления приведены в работах [10, 11].

Во время событий 2, 9 и 17 июля 1985 г. наблюдались длинноволновые радиовсплески III типа. Характерно, что вспышка 2 июля 1985 г. развивалась в восточной полусфере, но частицы от нее, тем не менее, были зарегистрированы благодаря их перекачке из восточной активной области в западную по арочным структурам магнитного поля, связывающим активные области в разных полусферах. Кроме того, наблюдался всплеск II типа в метровом диапазоне и всплеск типа SA в километровом диапазоне, т.е. ускоренные частицы могли высыпаться из ударной волны.

Вспышка 17 июля была залимбовой, и регистрация километрового всплеска имела место только на низких частотах. Верхние частоты (1000 и 1500 кГц), как правило, не наблюдаются из-за частичного экранирования солнечной короной. На ИСЗ “Прогноз-10” наблюдался также субавроральный нетепловой континуум (SANE) на частоте 1486 кГц [12-14].

Помимо всплесков длинноволнового радиоизлучения солнечного происхождения на спутниках регистрировались всплески типа АКР (авроральное километровое радиоизлучение). Генерация АКР-излучения, имеющего магнитосферную природу, в ряде случаев связана с приходом энергичных электронов от солнечной вспышки к Земле с запаздыванием в десятки минут. Авроральное километровое радиоизлучение может также возникать после геомагнитного возмущения типа Sc (sudden commencement), обусловленного приходом ударной волны, запаздывающей на 1,5-2 суток после событий на Солнце.

АКР-излучение было зарегистрировано также во время мощных геомагнитных бурь, наблюдавшихся спутниками “Прогноз-2”, “Прогноз-8”,

“Прогноз-10” и в период наблюдений на “Интербол-1”.

Наблюдениям на ИСЗ типа “Прогноз” предшествовали эксперименты на космических аппаратах “Зонд-2”, “Зонд-3”, “Венера-2” (1965 г.) [15], “Луна-11” и “Луна-12” (1966 г.) [16]. При регистрации всплесков на частотах 0,2 МГц и 2 МГц было замечено значительное усиление радиоизлучения в хвосте магнитосферы, и, что очень важно отметить, всплески, возбуждаемые энергичными электронами магнитосферы, были похожи на всплески III типа солнечного происхождения [17]. Подобные всплески, называемые всплесками III типа магнитосферной природы (terrestrial type III burst), в настоящее время широко обсуждаются в литературе [18]. На ИСЗ “Интербол-1” в 1995 году, в период, близкий к минимуму солнечной активности, не было зарегистрировано заметных солнечных событий, но отмечена длительная генерация АКР-излучения, характеризующая, как правило, высокий уровень геомагнитной активности.

По наблюдениям на ИСЗ “Интербол-1” за период с 1995 по 1998 гг. был составлен Каталог длинноволновых радиовсплесков солнечного и магнитосферного происхождения в диапазоне частот 100 — 1500 кГц. Проводится отождествление этих всплесков с солнечными событиями и магнитосферными возмущениями.

Для иллюстрации на рис. 1 приводятся типичные радиовсплески III типа, связанные с хромосферными вспышками (см., например, временные профили для 2.V.1998, 3.V.1998 и 5.V.1998). Подобные всплески, как и события, зарегистрированные на ИСЗ “Прогноз-8” и “Прогноз-10”, характеризуются быстрым дрейфом по частоте со средней скоростью $V = 0,4 - 0,6$ С и обусловлены генерацией радиоизлучения на плазменной (ленгмюровской) частоте.

На ИСЗ “Интербол-1” было продолжено изучение длинноволнового субаврорального нетеплового радиоизлучения земной магнитосферы (SANE). За период с 1995 по 1998 гг. было зафиксировано около 250 событий (около 120 — в 1995-1996 гг., 100 — в 1996-1997 гг. и только 30 событий в 1997-1998 гг. [19]. После мая 1998 г. вплоть до июня 1999 г. радиоизлучение типа SANE не регистрируется. В эксперименте АКР-X на ИСЗ “Интербол-1” была обнаружена антикорреляция числа событий SANE и количества солнечных всплесков (в основном, III типа).

Исчезновение SANE объясняется перестройкой структуры плазменного слоя в хвосте земной магнитосферы, обусловленной постепенным ростом солнечной активности и связанными с ней изменениями параметров солнечного ветра (скорости, плотности и т.п.)

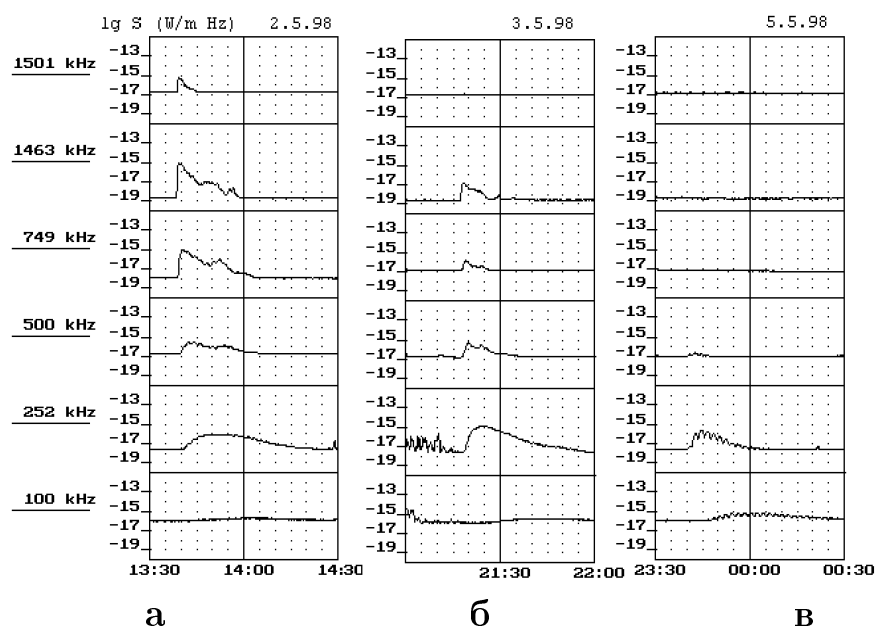


Рис. 1. Всплески длинноволнового радиоизлучения в диапазоне частот 100 – 1500 кГц. **а** – 2 мая 1998, **б** – 3 мая 1998, **в** – 5 мая 1998

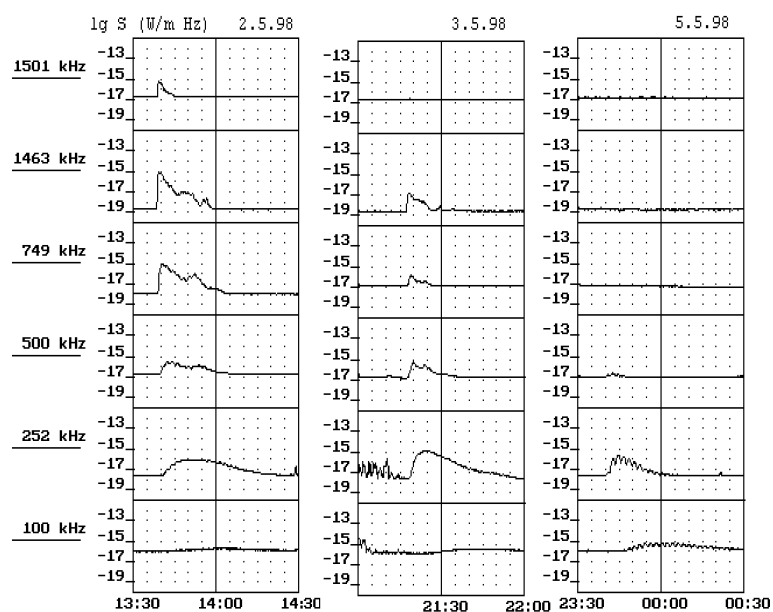


Рис. 2. АКР-излучение по наблюдениям на “Интербол-1”

Конверсия в плазмопаузе электростатических волн в электромагнитное излучение и является механизмом генерации SANE. Излучение связано с конвекцией горячей плазмы плазменного слоя хвоста магнитосферы во внутреннюю магнитосферу на субавроральных широтах. Поток горячих электронов возбуждает электростатические волны в субавро-

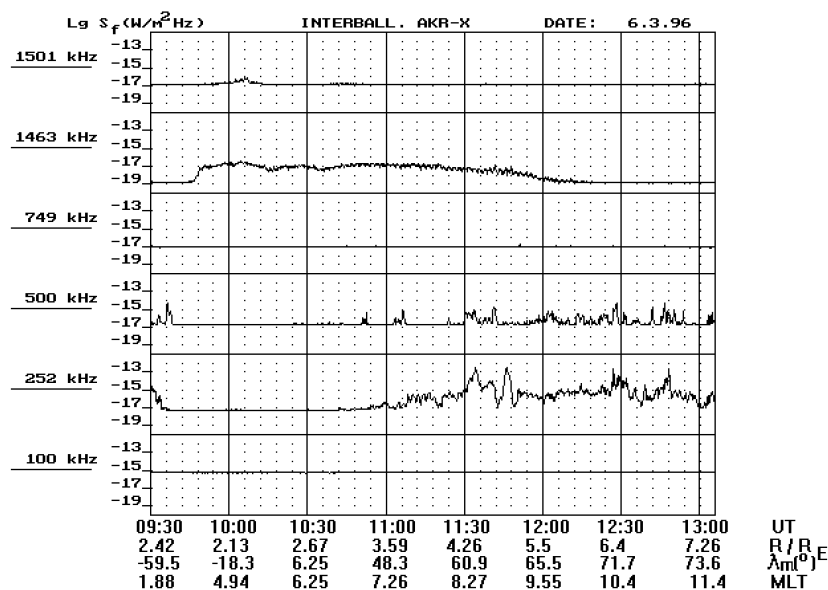


Рис. 3. Регистрация SANE на “Интербол-1”

ральной зоне плазмопаузы. Механизм конверсии эффективен во время геомагнитных возмущений (магнитосферных бурь). Область генерации SANE располагается около главного ионосферного провала.

Таким образом, наблюдения длинноволнового радиоизлучения на ИСЗ серии “Прогноз”, которые были начаты еще в 1972 г. при содействии и под руководством И.С. Шкловского, были успешно продолжены его учениками (В.И. Слыш, В.Н. Курильчик, В.П. Григорьева) на последующих ИСЗ (“Прогноз-8”, “Прогноз-10 Интеркосмос” и “Интербол”). Эти исследования дали возможность изучать солнечную корону на большом протяжении, вплоть до орбиты Земли, в период минимума и максимума солнечной активности.

Важные результаты были получены в области исследования длинноволнового радиоизлучения магнитосферного происхождения (изучение свойств аврорального километрового радиоизлучения (АКР), открытие и исследование субаврорального нетеплового излучения (SANE)).

И.С. Шкловский обращал особое внимание на важность изучения высокоэнергичных пучков электронов и их взаимодействие с корональной плазмой. Отсюда понятен его интерес к механизму генерации радиовсплесков на Солнце и возможности объяснения их с точки зрения плазменных колебаний и ударных волн. Регистрируемые на ИСЗ серии “Прогноз” всплески длинноволнового радиоизлучения в диапазоне частот 100 — 2000 кГц, которые генерируются высоко в короне на высотах от $8 R_{\odot}$ вплоть до орбиты Земли (всплески типа III и SA), объясняются с точки зрения плазменных колебаний, возбуждаемых энергичными

электронами при прохождении ударных волн.

И.С. Шкловский указывал на важность изучения взаимосвязи рентгеновского и радиоизлучения для активных явлений на Солнце. Предложенный им метод оценки меры эмиссии по радиоизлучению корональных конденсаций на длине волны 10 см был применен для вычисления рентгеновского излучения Солнца и интерпретации данных наблюдений, полученных в ФИАН [20]. Необходимо продолжение и завершение работы в этом направлении, поскольку имеются одновременные наблюдения рентгеновского и длинноволнового радиоизлучения с одного и того же спутника. Важно также изучение наблюдаемых свойств АКР-излучения, зарегистрированного в разные периоды солнечного цикла и для разных уровней геомагнитной активности.

Таким образом, работы, начатые И.С. Шкловским и его ближайшими сотрудниками В.И. Слышом, В.Н. Курильчиком, В.П. Григорьевой, в настоящее время продолжают, и анализируются ценнейшие экспериментальные данные по длинноволновому радиоизлучению, полученные за два предыдущих 11-летних цикла солнечной активности, включая и текущий 23-й цикл.

Литература

1. Григорьева В.П., Прокудина В.С. // Космич.Исслед. 1988. т.**26**, с.900.
2. Grigorjeva V.P., Prokudina V.S.// Proceed. 1st SOLTIP Sympos. Liblice, Czech. 1991. V.**2**. P.62.
3. Григорьева В.П., Прокудина В.С.// Космич. Исслед. 1985. т.**15**, с.743.
4. Григорьева В.П., Каплан С.А. // Космич.Исслед. 1978. т.**16**, с.73.
5. Володичев Н.Н., Григорьева В.П., Прокудина В.С. // Астрон. Цирк. 1987, № 1481, с.1.
6. Григорьева В.П., Володичев Н.Н., Прокудина В.С. // Космич. Исслед. 1989. т.**27**, вып.3, с.419.
7. Григорьева В.П., Кудрявцев М.И., Курт В.Г., Логачев Ю.И., Мелиоранский А.С., Писаренко Н.Ф., Савенко И.А., Шамолин В.М., Шестопапов И.П. // Космич. Исслед. 1974. т.**12**. с.213.

8. Володичев Н.Н., Григорьева В.П., Прокудина В.С. //Астрон. Цирк. 1988. № 1562. С.17.
9. Grigorjeva V.P., Volodichev N.N., Ljubimov G.P. et al. //21th Internat. Cosmic Ray Conf. Adelaida. 1990. V.5. P.61.
10. Григорьева В.П., Прокудина В.С. Кудела П., Сливка М. и др. //Космич. Исслед. 1994. т.32. Вып.3, с.88-97.
11. Grigorjeva V.P., Prokudina V.S., Kudela P., Slivka M. et al. //Proceed. 1st SOLTIP Sympos. Liblice, Czech. 1991. V.2. P.70.
12. Курильчик В.Н., Григорьева В.П., Тирпак А. и др. //Космич. Исслед. 1992. т.30. Вып.1, с.107.
13. Курильчик В.Н., Григорьева В.П., Тирпак А. и др. //Космич. Исслед. 1992. т.30. Вып.2, с.231 – 242.
14. Курильчик В.Н., Григорьева В.П., Тирпак А. и др. //Космич. Исслед. 1992. т.30. Вып.3, с.357 – 368.
15. Слыш В.И. //Космич.Исслед. 1966. т.4. Вып.6, с.923.
16. Слыш В.И. //Космич.Исслед. 1967. т.5. Вып.6, с.897.
17. Григорьева В.П., Слыш В.И. //Космич. Исслед. 1970. т.8. Вып.2, с.284.
18. Bougeret M., Sternberg J. //Planetary Radio Emission IV. Eds. H.O. Rucker, S.J. Bauer, A. Lecacheu. Proceed. 4 Internat. Workshop, Graz, Austria. 9-11 September, 1996. P.241.
19. Kuril'chik V.N., Grigorjeva V.P., Boudjada M.Y., Rucker H.O. /(там же) P.275.
20. Мандельштам С.Л., Фетисов Е.П., Тиндо И.П., Прокудина В.С. //Космич. Исслед. 1965. т.3, с.737-750.

Судьба Советской стратосферной астрономии

В пятидесятых годах появилась возможность выноса телескопов в стратосферу на автоматических аэростатах. Были созданы легкие полимерные оболочки вместо резиновых, позволявшие поднимать грузы весом в тонны на высоты до 35 км и сотни килограмм еще выше вплоть до 55 км. Цели ставились прежде всего военные. По телеуправлению, изменяя высоту полета и используя стратосферные течения, можно было вывести аэростат практически в любую точку земного шара и управлять аппаратурой на борту. Длительность полета могла составлять много суток. Аэростат плохо обнаруживался радиолокационными средствами, мог нести разведывательную аппаратуру и даже ядерное оружие и на высотах более 20 км был тогда недостижим для средств ПВО. Организация полета и мягкое приземление аппаратуры были во много раз проще и дешевле, чем при использовании ракеты или спутника.

Это открывало большие возможности для инфракрасной, гамма, ультрафиолетовой астрономии, а также для получения высокого пространственного разрешения, недостижимого с Земли из-за атмосферных искажений.

В 1957-1959 годах Мартином Шварцшильдом в США были проведены подъемы солнечного телескопа с диаметром зеркала 30 см на высоту 24 км с помощью автоматических управляемых аэростатов. Были получены снимки Солнца с высоким рекордным разрешением 0.5". Шварцшильд, исходя из своей теории, предполагал, что при таком разрешении солнечные гранулы должны разделиться на еще более мелкие детали. Но этот теоретический прогноз Шварцшильда не подтвердился. Были получены снимки тонкой структуры солнечных пятен и края солнечного диска. К сожалению, из-за неправильной фотометрической калибровки снимков ряд сделанных серьезных выводов пришлось пересмотреть после получения результатов советской Стратосферной солнечной обсерваторией.

Успешно аэростатные методы развивались и в Советском Союзе. В 61-м году появилось постановление правительства, оно, кажется, называлось "О развитии электронных средств в космосе". Появилась форма, но не было содержания. Никто не знал, что под этим подразумевается. В.А. Крат, очень вовремя узнав об этом, решил это постановление использовать для развертывания в Союзе широкой программы астрономических исследований из стратосферы. Планировалось создание многих типов стратосферных станций для наблюдения планет, инфракрас-

ных исследований и т.д. Для понимания ситуации достаточно сказать, что на 1968-ой год Н.П. Каманину, который командовал тогда большой частью космонавтики, было предписано осуществить 25 запусков высотных аэростатов только в интересах службы Солнца и предсказания радиационной опасности для космонавтов. Работа была закрытой и получила кодовое название “САТУРН”.

Но постепенно это все свелось к созданию одной Стратосферной солнечной обсерватории для исследований тонкой структуры атмосферы Солнца с высоким пространственным разрешением $0.1''$. Для этого был нужен телескоп с диаметром зеркала 1.0 м, оснащенный спектрографом, который должен был наводиться с точностью до $0.1''$ на нужную деталь и сохранять эту ориентацию. Необходимый для этого вес комплекса обсерватории и желаемая высота полета были трудно совместимы. Остановились на высоте 20 км. Был риск, но на сокращение возможностей Обсерватории не пошли. Риск оказался оправданным. У американцев диаметр зеркала телескопа был меньше, аппаратура легче, и поднимали они ее на высоту 24 км, где плотность воздуха и искажающие воздушные потоки существенно меньше. Задача поднять метровый телескоп, “висящий на веревке”, в стратосферу, когда за 2 часа телескоп переходит от температуры $+20^\circ$ на Земле до -55° в стратосфере, и обеспечить разрешение в $0.1''$ и высокую точность наведения была грандиозной. Тем не менее она решалась[1].

По воле судьбы ЛОМО, наш флагман оптической промышленности, от этой работы отмахнулся и, надо заметить, для нас к лучшему. Решать эту сложную проблему взялся коллектив энтузиастов в Казани, на Казанском оптико-механическом заводе, откуда потом выделилось ЦКБ “ФОТОН”. Сформировалось СКБ “Внеатмосферная астрономия” под руководством Л.З. Дулькина. Работы начались где-то в конце 1961 года. Менее чем за 5 лет Стратосферная обсерватория была создана, и 1 ноября 1966 года проведен первый ее полет. По ряду причин наблюдения продолжались всего 1 час 52 минуты. Вся аппаратура сработала, были получены снимки Солнца, но высокое разрешение достигнуто не было. Нужно было дорабатывать аппаратуру. Второй полет был проведен на следующий год, но он оказался по многим причинам очень неудачным и в техническом отношении, и в научном. В результате, Астросовет принимает решение, которое настоятельно рекомендует В.А. Крату принять меры по улучшению качества изображения и увеличению высоты полета. Последнее было нереальным.

После трех лет очень напряженной работы 30 июля 1970 года был проведен третий полет. В первых трех полетах было установлено глав-

ное зеркало диаметром 0.5 метра, хотя вся остальная аппаратура была рассчитана на метровое зеркало. Третий полет стал очень успешным. Было получено 100 снимков с предельным разрешением 0.25" и еще 100 снимков с разрешением заведомо лучше 0.5", спектрограммы с разрешением 0.5" и большое количество научно-технической информации [2,3].

Через три года в 1973 году был проведен четвертый полет уже с зеркалом в один метр и получены снимки с разрешением до 0.2". Достижение высокого качества с метровым телескопом — задача значительно более сложная, и с ней поторопились. Поэтому научные результаты были меньшими, чем в третьем полете, хотя, в основном, задача была решена. Больше полетов провести мы не смогли.

Надо сказать, что в ходе подготовки стратосферной станции к третьему полету выяснилось, что разрешение в 0.25" можно достигать и с Земли. В Вольске Саратовской области на аэродроме, где готовились и проводились запуски, были получены даже серии таких снимков. Качество их было не столь высоким, как у лучших стратосферных кадров в 3-ем полете, но разрешение 0.25" достигалось. Это стало стимулом для развития наземных наблюдений Солнца с высоким разрешением у нас, а потом и за границей. На Казанском же заводе, используя накопленный опыт, был построен наземный комплекс солнечного телескопа высокого разрешения, который был установлен на Памире, хорошо зарекомендовал себя и работал в течение почти 10 лет. С ним был получен большой уникальный наблюдательный материал [4].

На этой работе выросло “Конструкторское бюро внеатмосферной астрономии”. Здесь созданы Большой субмиллиметровый телескоп, который успешно работал в космосе, приборы для космических аппаратов, запущенных на Марс и Венеру, и заделы для создания телескопов народнохозяйственного значения, которые, к сожалению, не получили должного развития. КБ бурно развивалось.

В дальнейшем мы пытались построить другую астростанцию, более легкую, более портативную. Ее называли “Искра”. Эта работа шла трудно и завершена не была. В начале 80-х годов СКБ “Внеатмосферная астрономия” в Казани было ликвидировано. Флагман нашей оптической индустрии выплывал на простор “звездных войн”. Вырвавшееся вперед СКБ “Внеатмосферной астрономии” в Казани создавало ему повышенную опасность. Поэтому оно вынуждено было прекратить свое существование.

Вся работа в Пулково и в Казани была ликвидирована как неперспективная. И это после огромного успеха, каким были полеты Обсерва-

тории “САТУРН”, которые позволили нам существенно вырваться вперед в исследованиях тонкой структуры Солнца и которые до сих пор вызывают удивление у наших коллег за рубежом.

Впервые была получена достаточно полная и надежная совокупность ключевых фактов о тонкой структуре Солнца. Это сейчас ведущее, но и наиболее трудное направление исследований, приобретающее все большее значение. Уже исследуется тонкая структура грануляции на звездах.

Новые представления на основе стратосферных наблюдений — это основа теории нетепловых процессов активности на Солнце и звездах. Было показано, что грануляция — это сложное высокоорганизованное явление, существенно отличное от “простой” бенаровской конвекции [5-9].

В 1989 году известный исследователь Солнца Беккерс (это уже через 5 лет после смерти В.А. Крата) сказал: “...я почти должен прийти к заключению, что вся грануляция аномальна в том смысле, что она ни в коем случае не соответствует старой картине ячеек бенаровского типа, порожденных простой стационарной конвекцией. Я часто вспоминаю тезис Владимира Крата, что грануляция является не конвективным, а скорее явлением волнового типа” [10].

Прозорливость Крата сказалась в том, что он выбрал путь именно баллонных исследований, а не космических. Если бы мы пошли по линии космических исследований, то, я думаю, эти результаты не были бы получены и сегодня — этот путь намного сложнее.

Может возникнуть вопрос: стоило ли за 500, пусть отличных снимков Солнца, заплатить 15 миллионов рублей, которые были потрачены на нашу работу? Ответ зависит от системы ценностей, которую принимает данная цивилизация. Я считаю, что стоило. Был создан необходимый задел, условия разработки самых сложных систем для решения научных и прикладных задач из стратосферы и космоса. Все 4 испытательных полета были только началом, и мы верили в будущее.

Материал, полученный в результате запусков Обсерватории “САТУРН” оставался непревзойденным в течение 20 лет. Для сравнения заметим, что Спейс Шаттл в 1985 году получил в течение получаса серию снимков с 30-сантиметровым телескопом и вдвое худшим разрешением, а стоимость этих снимков, конечно, была много больше, чем стоимость наших снимков. Но они были хорошо обработаны и хорошо “поданы”, чего мы сделать, как всегда, не сумели. Работа мало была оценена в Академии Наук. Министерством оборонной промышленности, а не Академией Наук, она четырежды выдвигалась на государственную

премию и четырежды ее не получила. А.Б. Северный после первого полета сказал: “Покажите мне хотя бы один хороший снимок, и я поддержу выдвижение в самых высоких инстанциях”. Однако, когда были получены снимки, и не один, а сотни снимков, отвечающих самым высоким требованиям, должного признания это не получило.

С конца 70-х годов социальная обстановка в стране тоже не способствовала развитию Науки в целом и стратосферной астрономии в частности. В это время началась афганская война. Затем умер С.А. Зверев, министр оборонной промышленности, который был оптик и хорошо понимал, что крошки со стола ракетного крейсера могут, так сказать, кормить Науку, которая отдаст сторицей. Его сменил другой министр, танкист, который знал, что нужны танки, а не Наука.

Так же надо сказать, что ученые не смогли организовать для такой работы на достаточно высоком уровне, сплотить коллектив. Проявилась тенденция: “каждый может делать, что захочет”. Это было и внутри Пулково. Такая установка не годится для большой работы. Нужен сплоченный коллектив, нацеленный на достижение цели, что и сделали за границей.

В заключение надо добавить, что стратосферные исследования по-прежнему перспективны. Сейчас есть возможность, например, поднять на высоту более 10 км несколько тонн на привязном аэростате. Американцы планируют запустить таким образом полярный стратосферный телескоп. Подобные идеи появляются и у нас, хотя осуществить их сейчас в нашей стране, практически невозможно. Американцами (Д.Раст, К.Келлер и другие) в Антарктиде в период полярного лета был проведен многодневный полет баллонного солнечного телескопа с диаметром главного зеркала 80 см для изучения природы солнечных вспышек.

Для меня, как и для всего коллектива “Сатурновцев”, было счастьем строить советскую Стратосферную солнечную обсерваторию, и многие вспоминают годы этой работы, как лучшие в своей жизни. В гимне “Сатурновцев” есть такие куплеты:

А в науке результаты
Оказались веские.
Наши гранулы, ребята,
Лучше, чем Шварцшильдовские.

Благодарны мы судьбе
За такое счастье,
Ведь в полетах мне, тебе
Привелось участвовать.

Припев:
‘‘Сатурн’’ – кольцо, а у кольца
Начала нет и нет конца...
‘‘Сатурн’’ – кольцо.

Литература

1. Крат В.А., Котляр Л.М. Стратосферная астрономия. Л.: Наука, 1976. 152 с.
2. Крат В.А., Дулькин Л.З., Карпинский В.Н. и др. // АЦ, 1970, № 597, с.1.
3. Krat V.A., Karpinsky V.N. and Sobolev V.M. // Space Res., 1972, **12**, 1713.
4. Парфиненко Л.Д., Михалев В.Ф. // Солн. данные. 1978, № 8, с. 92.
5. Правдюк Л.М., Карпинский В.Н., Андрейко А.В. // Солн. данные. 1972, № 2, 70.
6. Карпинский В.Н., Правдюк Л.М. // Солн. данные. 1972, № 10, 79.
7. Карпинский В.Н. // Солн. данные. 1980, № 7, 94.
8. Karpinsky V.N. // Nature, 1989, **341**, № 6240, 311.
9. Karpinsky V.N. / Proc. 138-th Symp. IAU. Dordrecht-Boston-London: Kluwer acad. publ., 1990, 67.
10. Beckers J.M. / ‘‘Solar and Stellar Granulation’’, ed. by R.J.Rutten and G.Severino. Dordrecht-Boston-London: Kluwer acad.publ., 1989, 607.

В.Н. Ишков (ИЗМИРАН)

Наблюдательные признаки осуществления жестких рентгеновских вспышек

Одной из задач современной физики солнечно-земных связей является прогноз и оценка возможных геоэффективных последствий воздействия солнечных активных явлений как в околоземном космическом пространстве, так и на поверхности земли (прогноз космической погоды — space weather).

Несмотря на большой прогресс в наблюдениях солнечных активных явлений в рамках мировой службы Солнца и возможность получения информации о солнечных геоэффективных явлениях в реальном времени (современные средства связи — Internet и т.п.), наземные оптические наблюдения с высоким пространственным разрешением в определенных условиях могут служить хорошим средством диагностики различных воздействий солнечных геоэффективных явлений, например, солнечных вспышек, на объекты в околоземном космическом пространстве и на состояние различных слоев атмосферы, особенно ионосферы.

В этой работе проанализированы данные о пространственном расположении вспышечных узлов в группе пятен и появлении жесткого рентгеновского излучения в больших солнечных вспышках.

Для этого использовались наблюдения больших солнечных вспышек в крыльях линии H_α и данные о жестком рентгеновском излучении, полученные с солнечных научных спутников SMM, HINOTORI и YONKON. Для оценки магнитного поля в группах пятен использовались данные наблюдений, опубликованные в различных бюллетенях солнечной активности.

Комплексные наблюдения вспышек в рамках различных программ показали, что наиболее близкая к реальности информация о развитии вспышек во всех диапазонах получается лишь при непосредственных наблюдениях вспышечных узлов. Локализация этих узлов в разных длинах волн оптического и мягкого рентгеновского диапазонах практически совпадает. Динамика возникновения и эволюции вспышечных узлов, — а наиболее просто при современном развитии наблюдательной техники в нашей стране их наблюдать в крыльях линии H_α , — позволяет восстановить весь ход энерговыделения во вспышках.

Прямые сопоставления эволюции деталей вспышек в различных диапазонах электромагнитного излучения, таких как вспышечные узлы в оптике, тонкоструктурные элементы локальных источников в см-, дм-диапазонах радиоволн и узлы источников мягкого и жесткого рентге-

новского излучения, приводят к выводу, что вспышки могут и должны рассматриваться как совокупность вспышечных узлов и уярчений, разнесенных как во времени, так и в пространстве в пределах границ осуществления вспышки.

Примером такого рода анализа являются исследования так называемых двухстадийных больших солнечных вспышек, в которых на первом этапе развития вспышка происходит в беспятенной области и только затем на втором этапе эмиссия вспышки проникает в пятенные районы активной области. Примерами таких вспышек являются события 16 мая 1981 г. и 1 августа 1983 г. [1,2]. Основные закономерности такого рода вспышек следующие:

- пятенная стадия вспышки характеризуется гораздо большей энергетикой, чем беспятенная. Это проявляется в том, что именно на пятенной стадии наблюдаются наиболее жесткое нетепловое рентгеновское излучение и радиовсплески III типа, свидетельствующие о появлении достаточно большого числа ускоренных частиц. Именно на этом этапе вспышки наблюдается самое мощное излучение в рентгеновском, оптическом и сантиметровом диапазонах и происходит бурное энерговыделение, приводящее к образованию ударных волн, генерирующих многокомпонентные всплески II типа [1,2];
- внепятенная и пятенная стадии вспышек существенно различаются по характеру частотного спектра радиоизлучения. На начальном этапе вспышки, когда H_α -эмиссия локализована вдали от пятен, частотный спектр характеризуется максимумом на дм-волнах и резким уменьшением плотности потока при переходе к см-диапазону. Когда же яркие вспышечные узлы развиваются в полутени пятен, спектр радиоизлучения становится более жестким и его максимум смещается в сторону коротких волн. Во вспышке 01.08.83 г. на внепятенной стадии максимум спектра имел место на $f_{max} > 1$ ГГц, а на пятенной стадии для двух основных пиков радиовсплеска $f_{max} > 5$ ГГц [2];
- интенсивность жесткого (> 50 кэВ) рентгеновского излучения на первом этапе вспышки незначительна и не позволяет судить об его спектре; на пятенной стадии вспышки спектр меняется мало, хотя и наблюдается тенденция к его смягчению;
- на пятенной стадии вспышки, в момент уярчений H_α узлов в полутени пятен появляются пульсации дм-радиоизлучения. В рам-

ках существующих магнитогидродинамических и плазменных моделей пульсаций наблюдаемая связь между возникновением пульсаций и рождением вспышечных узлов в полутени пятен, а также появление всплеска жесткого рентгеновского излучения означают, что именно в петлеобразных магнитных силовых трубках, упирающихся во вспышечные узлы полутени пятна, происходит наиболее интенсивное энерговыделение, приводящее к появлению внутри трубки большого числа ускоренных частиц [2].

Отсюда следует, что появление и эволюция вспышечных узлов дают полную информацию о местах реализации вспышечной энергии, позволяют в реальном времени судить о появлении во вспышке значительного микроволнового и жесткого рентгеновского излучения и провести классификацию вспышечных явлений в зависимости от локализации вспышечных узлов в магнитном поле как в активной области, так и вне ее.

Таблица 1 представляет максимальные величины характеристик солнечных активных явлений в зависимости от величины магнитного поля, в котором эти явления происходят:

- первая колонка — значения магнитного поля, типичные для данного события;
- вторая колонка — тип магнитной конфигурации;
- третья колонка — тип солнечного активного явления;

Таблица 1. Основные характеристики солнечных активных явлений в зависимости от величины магнитного поля, в котором образуются вспышечные узлы

| В, Гс | Тип | Тип | Максимальные значения | | | | | ВКВ | ВАС | Тип |
|--------|----------------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|----------------------|---|----------|-------|-----|-----|
| | маг- нит. | яв- ле- ния | | | | | | | | |
| | кон- фи- гу- ра- ций | | H_{α} | Rcm sfu | Балл X, ж X, м | | γ | | | |
| < 50 | — | DFS | уярчен. | <10 | <C5 | — | — | + | + | — |
| < 500 | — | F1 | 4N | <300 | <M7 | — | — | + | + | A |
| | | б/п | | | | | | | | |
| < 2000 | γ, δ | F1 | 4B | > 10 ⁴ | >X12 | + | + | + | + | B,C |
| > 2500 | δ | F1 | 1B | < 10 ⁴ | <X2 | + | + | <0.1% | — | C |

- четвертая-восьмая колонки — максимальные значения параметров, характеризующих интенсивность явления в радио (микроволны), мягком и жестком рентгеновском и гамма диапазонах;
- девятая-десятая колонки — возможность осуществления выбросов корональных масс и появления вспышечных арочных систем;
- одиннадцатая колонка — современная классификация типов вспышек [3].

Как видно из Таблицы 1, все вспышечные явления на Солнце можно классифицировать по величине магнитного поля, в котором они происходят.

1. Внезапное исчезновение или выбросы солнечных волокон — вспышечноподобные явления, которые при наблюдениях с хорошим разрешением в H_α и в мягком рентгене имеют вид двухленточной вспышки с медленным ростом интенсивности к максимуму (≥ 1 часа), значительным временем затухания (> 3 часов). В огромном большинстве случаев явление происходит вне активных областей в малых магнитных полях (< 30 Гс). Типичным примером является событие 5 декабря 1981 г. [4], в котором не наблюдалось жесткого рентгеновского всплеска и которое сопровождалось медленно растущим всплеском мягкого рентгена (рентгеновский балл C7) и такого же характера микроволновым радиовсплеском (< 50 сеп). Геоэффективность этих явлений определяется только мощностью события, его гелиографическими координатами и близостью областей с открытой магнитной конфигурацией (корональных дыр).
2. “Беспятенные” вспышки, которые осуществляются в беспятенных активных областях с магнитным полем < 500 Гс, характеризуются медленным ростом к максимуму и очень слабым жестким рентгеном. Микроволновый радиовсплеск обычно < 300 сеп, а рентгеновский балл не превышает M7, однако в оптике их балл часто достигает наибольших значений (4N). Магнитное поле в этом случае не может сдерживать динамических явлений, сопровождающих эти вспышки, что делает их геоэффективными.
3. Вспышки в группах пятен с магнитным полем от 500 до 3000 Гс отличаются максимальным выходом энергии во всех диапазонах осуществления вспышки. Это наиболее впечатляющие солнечные

активные явления, сопровождающиеся всеми динамическими явлениями. Величина магнитного поля не препятствует раскрытию коронального магнитного поля за счет образования транзиентных корональных дыр и выбросов солнечного вещества (спреев), что делает эти вспышки геоэффективными.

4. Вспышки, возникающие в более сильных магнитных полях (> 3000 Гс), бывают только импульсные, хорошо проявляются в жестком рентгене и гамма диапазонах вплоть до самых высоких энергий, однако их рентгеновский балл $< M5$ и оптический не превышает 1В. Примером таких событий являются вспышки 10-11 июля 1982 г. в северном компоненте активной области AR 3804, где наблюдались сильные магнитные поля. Такие вспышки в закрытых магнитных конфигурациях не сопровождаются выбросами корональных масс (не хватает динамической энергии для раскрытия магнитного поля) и вспышечными арочными волокнами.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 96-02-18382.

Литература

1. Ishkov V.N., Markeev A.K. et al., // Publ. of Debrecen Heliophys. Obs., 1983, v.5, 193.
2. Ishkov V.N., Fomichev V.V., et al. // Proceeding of Fourth Annual Seminar on Solar Physics by ed. G.Ivanov-Kholodny, M., Nauka, 1988, 56.
3. Tanaka K. // Publ. Astron. Soc. Japan, 1987, v.39, 1.
4. Kahler S.W., Cliver E.W., et al., // Astrophys.J., 1986, **302**, 504.

Р.А. Гуляев (ИЗМИРАН)

Внешняя солнечная корона и гелиосферный токовый слой

Аннотация

Излагаются современные представления о строении внешней короны Солнца, сложившиеся за последние три десятилетия. Трехмерную фигуру внешней короны определяет пояс шлемовидных корональных лучей, отождествляемый с основанием гелиосферного токового слоя. Изменения наблюдаемой формы короны в цикле солнечной активности связаны с эволюцией пространственной ориентации и конфигурации гелиосферного слоя. Обрисованы некоторые следствия изложенной картины строения короны.

По-видимому, “нормальной” формой короны (в том смысле, что корона чаще всего пребывает в этой форме) является как раз “минимальная”, вытянутая форма, которая возникает почти тотчас же за максимумом...

И.С.Шкловский. Солнечная корона. ([1], с. 18).

Приведем еще одну цитату из знаменитой книги Шкловского: “В настоящее время подразделение короны на “внутреннюю” и “внешнюю” носит скорее описательный характер и физического смысла не имеет ([1], с.44). Действительно, в первой половине XX века разделение короны на две части основывалось исключительно на характере спектра и связывалось с наличием или отсутствием эмиссионных линий, с одной стороны, и фраунгоферовых — с другой. Если же исключить из коронального спектра фраунгоферову составляющую, принадлежащую не короне, а межпланетному пылевому облаку, то характер спектра не претерпевает существенных изменений при переходе от близких к Солнцу частей короны к далеким. В частности, зеленую корональную линию неоднократно удавалось наблюдать на весьма далеких от края солнечного диска расстояниях.

С другой стороны, по структурным свойствам, в отличие от спектральных, корона четко разделяется на две части — внутреннюю и внешнюю. Характерной особенностью внутренней короны является преобладание петельных (арочных) образований (см. рис. 1); внешняя корона состоит из радиальных (или квазирadiальных) образований (см. рис. 2). Максимальная высота петель составляет ~ 300 тыс. км над поверхностью Солнца. Формирование радиально-лучевой структуры завершается на гелиоцентрическом расстоянии ~ 2.5 радиуса Солнца (так называемая поверхность источника); далее имеем внешнюю корону в чистом виде.

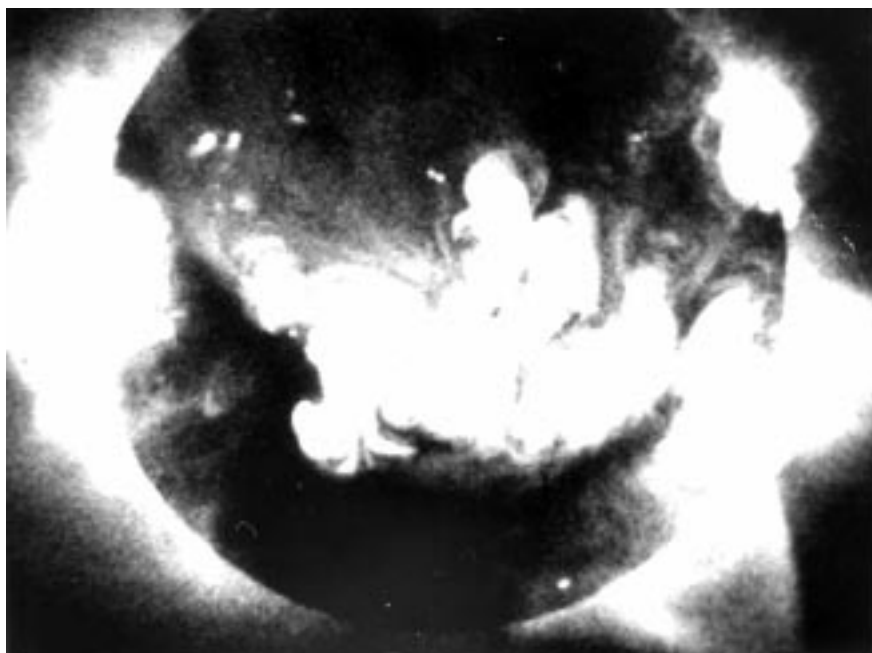


Рис. 1. Внутренняя корона в мягких рентгеновских лучах. Снимок получен 25 января 1992 г. на японском спутнике YOHKOH при помощи рентгеновского телескопа SXT.

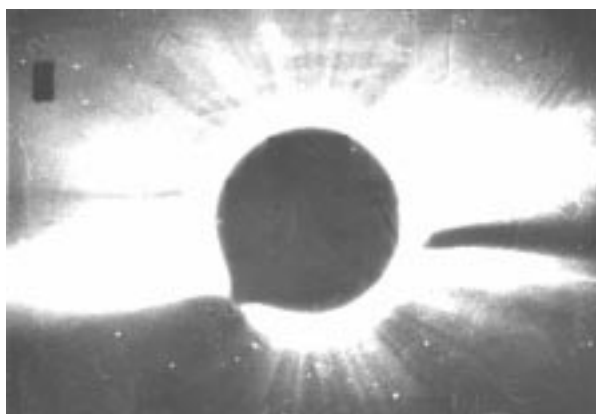


Рис. 2. Внешняя корона в белом свете. Снимок получен 3 декабря 1996 г. на космической станции SOHO при помощи коронографа C2 (эксперимент LASCO). Диаметр затмевающего диска — 3 радиуса Солнца.

За 30 с лишним лет, прошедших после выхода 2-го издания книги Шкловского, представления о структуре солнечной короны претерпели значительные изменения. Ниже мы попытаемся обрисовать в общих чертах современную картину строения внешней короны Солнца.

Главные структурные элементы внешней короны, создающие наблюдаемую форму солнечной короны в целом,— это большие шлемовидные

лучи (“стримеры”), простирающиеся далеко в межпланетное пространство (см. рис. 2). Раньше неявно предполагалось, что шлемовидные лучи, связанные с какими-либо конкретными образованиями на Солнце, существуют достаточно независимо один от другого. В начале 70-х годов Пнойманом и Коппом [2] была построена теория шлемовидного луча с токовым слоем вдоль его оси, разделяющим открытые магнитные поля противоположных полярностей. К этому времени было известно также, что в межпланетном пространстве существует нейтральный слой, называемый ныне гелиосферным токовым слоем (ГТС), который разделяет околосолнечное космическое пространство на две части с противоположными направлениями межпланетного магнитного поля (ММП). Пересечения ГТС Землей создают известный эффект “секторной структуры ММП”. (Впервые идея существования гелиосферного нейтрального слоя была высказана Альвеном).

В 1974 г. Свалгард, Вилкокс и Дювалл [3] сформулировали чрезвычайно плодотворную идею: шлемовидные корональные лучи существуют не независимо один от другого, а образуют замкнутый пояс вокруг Солнца и этот пояс является основанием гелиосферного слоя. Таким образом, шлемовидные лучи — стримеры — оказываются структурными элементами ГТС.

Конфигурация основания ГТС, очерчиваемая нейтральной линией радиального магнитного поля на поверхности источника, может быть рассчитана путем экстраполяции фотосферных магнитных полей в потенциальном приближении [4]. Это дает возможность сопоставления ожидаемой конфигурации ГТС с реальными наблюдениями короны. Такие сопоставления были многократно проведены с использованием результатов измерений яркости поляризованной составляющей “белой” короны (измерения на К-коронометре Mark 3 [5]), внеатмосферных наблюдений внешней короны на ИСЗ OSO-7 [6], а также радиоастрономических наблюдений Солнца на метровых волнах [7]. Все эти наблюдения уверенно подтвердили правильность концепции пояса корональных лучей в основании ГТС. Исходя из этой концепции, Н.П.Коржов [8] успешно решил обратную задачу восстановления конфигурации нейтральной линии на поверхности источника по распределению корональных лучей на лимбе Солнца. Используя данные наблюдений внешней короны с орбитальной обсерватории OSO-7, он составил атлас конфигураций межпланетного магнитного поля за период 1971-1978 гг. [9]. Прямое и весьма эффективное экспериментальное подтверждение правильности обсуждаемой концепции дали наблюдения полного солнечного затмения 11 июля 1991 г. [10, 11]. К этому затмению мы вернемся позднее.

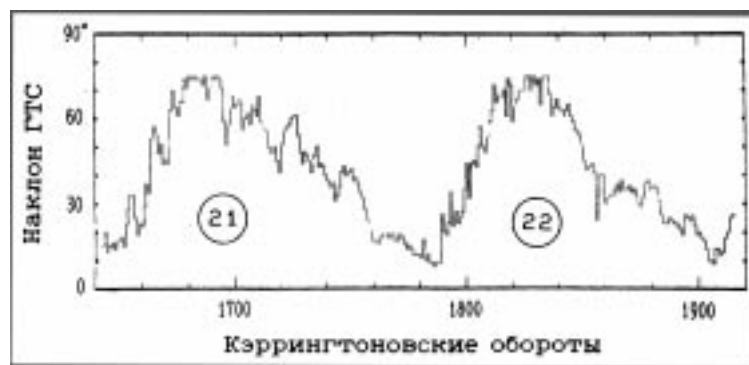


Рис. 3. Изменение наклона ГТС относительно плоскости солнечного экватора в 11-летнем цикле солнечной активности, согласно расчетам группы Дж.Т. Хоксемы (Стенфордский университет, США). В кружочках указаны номера солнечных циклов. В интервале углов $> 70^\circ$ расчеты дают нижний предел наклона ГТС.

Напомним, что в свое время С.К.Всехсвятский и его ученики обосновали пространственную модель шлемовидных лучей в виде “готических павильонов”, построенных из элементарных тонких лучей и дуг; последние “нанизаны” на волокна и линии раздела полярностей продольного магнитного поля [12]. Сейчас мы можем сказать, что “готические павильоны” Всехсвятского можно рассматривать как фрагменты единого пояса корональных лучей.

Итак, пояс корональных лучей есть видимое проявление основания гелиосферного слоя [13]. Ясно, что оба образования должны изучаться совместно.

Ориентация ГТС в 3-мерном пространстве определяется, очевидно, дипольной составляющей общего магнитного поля Солнца. В минимуме 11-летнего цикла ось диполя близка к оси вращения Солнца и, соответственно, гелиосферный слой располагается вблизи плоскости солнечного экватора. С ростом активности Солнца наклон ГТС относительно плоскости экватора возрастает, приближаясь к 90° вблизи максимума 11-летнего цикла. На рис.3 показан график изменения наклона ГТС в течение двух последних циклов солнечной активности согласно расчетам, проводимым в Солнечной обсерватории им. Вилкокса Стенфордского университета [14].

Для детального изучения изменений ориентации ГТС мы ввели понятие средней плоскости гелиосферного слоя как плоскости, проходящей через центр Солнца и пересекающей сферическую поверхность источника по большому кругу, наиболее близко (по принципу наименьших квадратов) соответствующему положению нейтральной линии радиального магнитного поля [15]. Как оказалось, средняя плоскость ГТС,

определяемая из чисто геометрических соображений, практически точно совпадает с плоскостью экватора магнитного диполя [16]. Изменение наклона средней плоскости ГТС в 11-летнем цикле близко соответствует графику на рис. 3 [17]. Из сказанного ранее ясно, что среднюю плоскость ГТС можно рассматривать как среднюю плоскость пояса корональных лучей или среднюю плоскость внешней солнечной короны.

Поверхность гелиосферного слоя имеет сложную гофрированную форму. Мерой отклонения реальной конфигурации ГТС от плоского приближения может служить среднее квадратичное отклонение δ нейтральной линии на поверхности источника от большого круга, соответствующего экватору магнитного диполя (в дальнейшем — магнитному экватору). Величина δ характеризует, очевидно, угловой раствор пояса корональных лучей. Анализ изменений величины δ за 15-летний промежуток времени, включающий все фазы 11-летнего цикла, кроме самого максимума, показал, что в течение $\sim 40\%$ времени среднее квадратичное отклонение конфигурации ГТС от плоскости не превышает 10° , а в течение $\sim 70\%$ времени — 15° . Таким образом, основание ГТС (и, следовательно, пояс шлемовидных корональных лучей) оказывается в значительной мере уплощенным образованием. Это дало нам основание сформулировать концепцию “плоской солнечной короны” [18].

То, что корона бывает сильно уплощена по направлению к экватору в минимуме 11-летнего цикла, всем хорошо известно. Теперь выясняется, что и на других фазах 11-летнего цикла (кроме максимума) корона может быть столь же уплощена, как и в эпоху минимума. Однако при этом, в отличие от эпохи минимума, она может иметь произвольный наклон относительно плоскости солнечного экватора. Можно усмотреть определенную аналогию между видом короны в 3-мерном пространстве, определяемым поясом корональных лучей, и формой спиральных галактик.

В качестве эпиграфа к нашему обзору мы привели высказывание Шкловского о вероятном преобладании “минимальной” формы короны, как ее основного состояния, в течение большей части 11-летнего цикла. Сейчас мы можем в полной мере оценить глубину этой мысли, высказанной почти полвека назад.

Модель “плоской короны” является, разумеется, первым приближением, характеризующим наиболее общий вид короны в 3-мерном пространстве в течение большей части 11-летнего цикла. Однако, в определенные периоды времени на промежуточных фазах цикла отклонение конфигурации короны от плоской модели бывает весьма значительным: величина δ может достигать 45° и более. Детальный анализ конфигу-



Рис. 4. Синоптическая карта конфигурации нейтральной линии на поверхности источника (сплошная линия) для кэррингтоновского оборота № 1800 (март-апрель 1988 г.). Штриховая линия — сечение сферической поверхности источника средней плоскостью ГТС; пунктирная линия — сечение гиперболическим параболоидом.

рации нейтральной линии на поверхности источника показал, что в общем виде 3-мерная фигура короны (пояс корональных лучей) хорошо аппроксимируется поверхностью 2-го порядка — гиперболическим параболоидом [19]. Такая форма короны обусловлена, очевидно, вкладом квадрупольной составляющей общего магнитного поля Солнца. Пример представления конфигурации основания ГТС гиперболическим параболоидом показан на рис.4.

Аппроксимация фигуры внешней короны поверхностью 2-го порядка (как и “плоское” приближение) не применима к эпохе максимума 11-летнего цикла. В этот период корональные лучи распределены весьма беспорядочно над поверхностью Солнца, и корона вряд ли может рассматриваться как топологически связная поверхность.

Неоднократно разными авторами высказывалось предположение о том, что наблюдаемые корональные лучи (может быть, некоторые из них) не являются реальными (физическими) элементами структуры ГТС, а представляют собой лишь складки гелиосферного слоя, ориентированные ребром к наблюдателю [3, 8, 17, 20]. В настоящее время представление о корональных лучах как наблюдаемых с ребра складках и сборках поверхности $B_r = 0$ активно развивает М.М.Молоденский [21].

Обрисованная выше картина строения внешней солнечной короны заставляет по-новому интерпретировать изменения наблюдаемой формы короны в цикле солнечной активности. До недавнего времени неявно предполагалось, что внешняя корона является осесимметричным образованием относительно оси вращения Солнца. Эволюция наблюдаемой формы короны в 11-летнем цикле воспринималась как постепенный переход от “минимального” типа к “максимальному” и обратно. На рис.5 приведены схематические изображения типичных корональных форм,

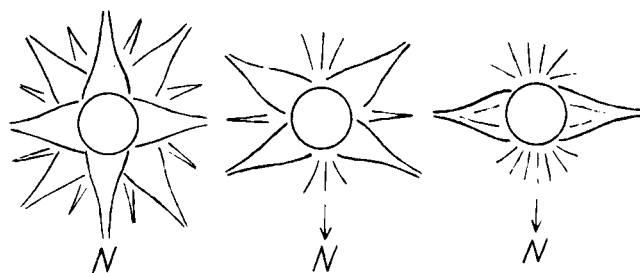


Рис. 5. Изменение формы короны в цикле солнечной активности согласно классическим представлениям. Справа — корона эпохи минимума, слева — корона эпохи максимума, в центре — промежуточная форма короны.

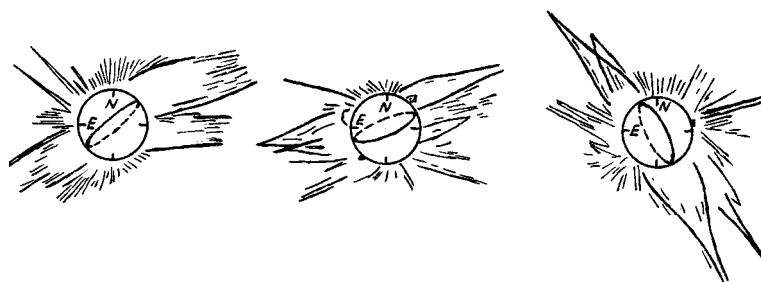


Рис. 6. Структурные рисунки короны по наблюдениям во время трех солнечных затмений: слева — 20 июня 1974 г., в центре — 18 марта 1988 г., справа — 11 июля 1991 г. Во всех случаях указано положение магнитного экватора на Солнце.

согласно каноническим представлениям. Реальная форма короны, наблюдаемая во время полных солнечных затмений, часто не укладывалась в эту схему (см. рис.6). На это либо закрывали глаза, либо придумывали искусственные объяснения.

Сейчас стало ясно, что солнечная корона ни в коей мере не является образованием, симметричным относительно оси вращения Солнца (кроме, разумеется, эпохи минимума). Вместо этого, она тяготеет к некоторой плоскости, близкой к плоскости магнитного экватора. Последняя же, как мы видели, может иметь какой угодно наклон относительно плоскости гелиографического экватора и, в результате, может быть ориентирована по отношению к Земле совершенно произвольным образом.

Отсюда следует, что наблюдаемая форма короны зависит не столько от фазы 11-летнего цикла, сколько от ориентации пояса корональных лучей по отношению к наблюдателю, т.е. от угла между лучом зрения и плоскостью магнитного экватора. В минимуме цикла эта плоскость близка к плоскости эклиптики, поэтому в эти периоды мы всегда видим корону с ребра. Этим объясняется характерная форма “минимальной”

короны. В периоды, близкие к максимуму цикла, магнитный экватор может быть наклонен под очень большим углом. В этом случае наблюдаемая форма короны должна быстро меняться вследствие вращения Солнца. В какие-то дни корона бывает ориентирована ребром к Земле; в эти дни она похожа на корону “минимального” типа, сильно наклоненную относительно экватора. Через четверть оборота Солнца пояс корональных лучей оказывается “распластанным” в картинной плоскости, и мы должны видеть корону, напоминающую “максимальную”. Таким образом, при крутом наклоне магнитного экватора корона в течение всего лишь половины оборота Солнца может продемонстрировать наблюдателю на Земле весь классический набор корональных форм.

Очень эффектный пример ориентации ребром сильно наклоненной короны показало затмение 11 июля 1991 г. Затмение произошло в самом начале ветви спада 11-летнего цикла, когда эпоха максимума только-только закончилась. Исходя из классических представлений об эволюции формы короны, следовало ожидать, что корона будет иметь во время затмения форму, близкую к “максимальной”. Рис. 6 показывает, что наблюдавшаяся форма короны совершенно не соответствует “максимальному” типу, но очень напоминает сильно наклоненную корону “минимального” типа. Анализ конфигурации нейтральной линии на поверхности источника показал, что в день затмения плоскость магнитного экватора была наклонена под углом 67° к экватору Солнца и была ориентирована приблизительно ребром к Земле [10, 22]. Случись это затмение не 11 июля, а неделей раньше или позже, мы увидели бы типичную корону эпохи максимума. Таким образом, наблюдения затмения 1991 г., продемонстрировав несостоятельность классической схемы эволюции корональных форм, дали прямое экспериментальное подтверждение изложенной выше концепции связи внешней солнечной короны с гелиосферным токовым слоем.

Астрономы-солнечники давно мечтали увидеть корону эпохи минимума “сверху”, со стороны полюса Солнца. В 1994 и 1995 гг., как раз в эпоху, близкую к минимуму 11-летнего цикла, над полюсами Солнца проходил космический зонд “Улисс”, специально предназначенный для исследования полярных областей околосолнечного пространства. К сожалению, на этом аппарате нет коронографа, и шанс увидеть корону “сверху” на этот раз был упущен. Но теперь мы знаем, что есть принципиальная возможность увидеть корону со стороны полюса, оставаясь на Земле или в околоземном пространстве. Разумеется, на этот раз речь идет не о полюсах вращения Солнца, а о магнитных полюсах, которые в определенные моменты времени оказываются недалеко от центра сол-

нечного диска. В такие моменты пояс корональных лучей располагается почти в картинной плоскости и корона видна “в анфас”. Важность наблюдений короны при подобных условиях очевидна.

Для осуществления описанной ситуации (магнитный полюс вблизи центра диска) необходим очень крутой наклон магнитного экватора, что возможно в периоды, близкие к максимуму 11-летнего цикла (как это было в 1991 г.). Ближайший благоприятный период наступит, видимо, после 1998 г. В этот период произойдет полное солнечное затмение 11 августа 1999 г., полоса которого пересечет Европу (последний раз полное солнечное затмение в Европе наблюдалось 15 февраля 1961 г.). Велика вероятность того, что в августе 1999 г. пояс корональных лучей будет иметь достаточно крутой наклон относительно плоскости солнечного экватора. Тогда в случае ориентации ребром мы вновь увидим корону подобную той, какая наблюдалась 11 июля 1991 г. Но не исключена более привлекательная возможность увидеть корону в анфас со стороны магнитного полюса. В любом случае затмение 1999 г. представляет особый интерес в плане исследования структуры внешней короны как видимого проявления гелиосферного слоя.¹⁶

Литература

1. Шкловский И.С. Солнечная корона. М.–Л., Гостехиздат, 1951, 387 с.
2. Pneuman G.W., Kopp R.A. // Solar Phys., 1971, **18**, 258.
3. Svalgaard L., Wilcox J.M., Duvall T.L. // Solar Phys., 1974, **37**, 157.
4. Altschuler M.D., Newkirk G. // Solar Phys., 1969, **9**, 131.
5. Wilcox J.M., Hundhausen A.J. // J.Geophys. Res., 1983, **88**, 8095.
6. Howard R.A., Koomen M.J. // Solar Phys., 1974, **37**, 469.
7. Lantos P., Alissandrakis C.E. // Space Sci. Rev., 1995, **72**, 45.
8. Коржов Н.П. // Астрон. Ж., 1978, **55**, 96
9. Коржов Н.П., Карты полярностей глобального магнитного поля Солнца и конфигурация межпланетного токового слоя в 1971–1978 гг. Препринт № 2-82, СибИЗМИР, Иркутск, 1982.

¹⁶Корона во время полного солнечного затмения 11 августа 1999 г. была “лохматая”, т.к. была видна “в анфас” (*прим. ред.*).

10. Гуляев Р.А., Филиппов Б.П. // Докл. Акад. наук СССР, 1992, **322**, 268.
11. Saito T., Akasofu S.-I., Kozuka Y., Takahashi T., Numazawa S. // J.Geophys. Res., 1993, **98A**, 5639.
12. Всехсвятский С.К., Дзюбенко Н.И., Иванчук В.И., Рубо Г.А. // Солнечные данные, 1970, № 9, 88.
13. Гуляев Р.А. // Успехи физ.наук., 1992, **162**, № 12, 155.
14. Hoeksema J.T. // Adv. Space Res., 1991, **11**, № 1, 15.
15. Гуляев Р.А. // Солн. данные, 1987, № 11, 61.
16. Ванярха Н.Я. // Солн. данные, 1991, № 12, 92.
17. Gulyaev R.A., Vanyarkha N.Ya. // Solar Phys., 1992, **140**, 369.
18. Gulyaev R.A. // Solar Phys., 1992, **142**, 213.
19. Gulyaev R.A. // Astrophys. J., 1994, **437**, 867.
20. Eddy J.A. // Solar Phys., 1973, **30**, 385.
21. Кучми С., Молоденский М.М., Виал Ж.-К. // Астрон.Ж., 1994, **71**, 925.
22. Gulyaev R.A. // Adv. Space Res., 1994, **14**, № 4, 53.

Е.А. Макарова (ГАИШ МГУ), **А.В. Харитонов** (АФИФ)

Описание сводных таблиц основных характеристик солнечного излучения

К настоящему времени выполнены многие десятки исследований распределения энергии в спектре Солнца, потемнения его диска к краю в разных длинах волн и покровного эффекта. Исследования эти весьма трудны и имеют много источников ошибок. Неудивительно поэтому, что результаты их заметно различаются, спектроэнергетические кривые, например, до 10 и более процентов. Это далеко выходит за пределы ошибок, оцениваемых авторами исследований.

Около 30 лет назад мы начали работу по критическому анализу всех опубликованных определений названных величин, чтобы, отобрав из них наиболее корректные и усреднив их результаты, получить надежные данные. Мы считаем, что скрытая систематическая ошибка каждого из используемых результатов выступает как ошибка случайная по отношению ко всей их совокупности и при усреднении в значительной мере исключается. Привлекая все новые и новые данные по мере их появления, мы в разные годы вывели и опубликовали несколько средних кривых распределения энергии и таблиц потемнения диска к краю и покровного эффекта. Наиболее корректные средние данные вместе с методикой анализа и отбора первоисточников и рассмотрением общих проблем абсолютной спектрофотометрии представлены в монографии [1].

Но после 1990 г. — времени сдачи ее в печать — вышло в свет несколько новых обстоятельных исследований рассматриваемых характеристик солнечного излучения. Их необходимо учесть, но, кроме того, есть и другая причина для пересмотра некоторых итоговых таблиц из книги [1] — выяснилось, что для ряда задач данные в этих таблицах представлены со слишком большим шагом и интервалом усреднения.

Мы составили новые таблицы среднего распределения энергии, а также среднего потемнения диска к краю и покровного эффекта. В них переработаны численные данные из ранее использованных источников, учтены новые источники и в области 3000 — 10000 Å рассмотренные величины приведены с шагом 25 Å и интервалом усреднения 50 Å.

Кратко охарактеризуем новые таблицы. Распределение энергии (спектральная плотность энергетической освещенности) основано на результатах пяти независимых исследований. Три из них были использованы и в [1], на них мы останавливаться не будем, отметим только, что данные Арвезена с соавторами были умножены на 0.984 для согласо-

вания с солнечной постоянной, которая определена сейчас с высокой точностью. Два использованных результата являются новыми и кратко описаны ниже.

Во-первых, это исследование, выполненное на Ловелловской обсерватории Локвудом, Тьюгом и Уайтом [2]. Применяв весьма остроумный способ ослабления потока от Солнца, они сравнили его спектр со спектром Веги, для которого приняли распределение согласно своей прежней достаточно корректно выполненной работе. Наблюдениями охвачена область $\lambda\lambda 3295 - 8500 \text{ \AA}$. Опубликованные данные не исправлены за теллурические полосы кислорода и водяного пара, это исправление пришлось сделать нам.

Во-вторых, привлечены результаты киевских авторов К.А.Бурлова-Васильева, И.Э.Васильевой и Ю.Б.Матвеева [3,4], работавших под руководством проф. Э.А.Гуртовенко. Их исследование выполнено по классической схеме: на одной и той же установке сравнивались спектры Солнца и эталонных ламп, при наблюдении которых вводился лишь один дополнительный элемент — коллиматорное зеркало. Все узлы оптической и электронной схем были исследованы, во время наблюдений Солнца контролировалась стабильность атмосферы. Вся работа выполнена очень тщательно, при усреднении ее результатам дан вес 2 (остальным — вес 1).

Для участка $3000 - 3300 \text{ \AA}$ привлечены результаты внеатмосферных наблюдений (табл. III из [5]). Они были нормализованы к средней кривой по общим точкам.

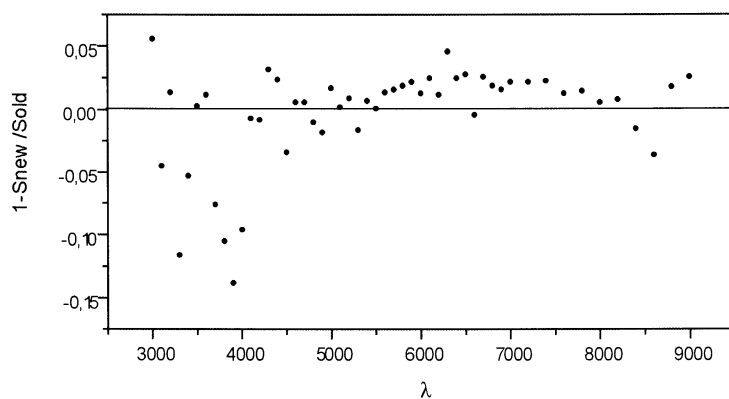


Рис. 1.

Средняя квадратичная ошибка полученных средних данных составляет 1.5% в УФ, 1.0% в видимой и менее 1% в ближней ИК области. Отношение новой средней кривой к приведенной в [1] показано на рисунке.

Потемнение диска к краю в континууме представлено как среднее из значений $j(\lambda, \theta)$, приведенных в книге [1], и результатов Неккеля и Лабса [6], полученных из длительных наблюдений на большом телескопе и спектрометре обсерватории Китт Пик. Данные из [1] и [6] очень хорошо согласуются, в большинстве точек различия

меньше 1%, большие различия имеют место лишь в области бальмеровского скачка.

Мы не приводим значений $j(\lambda, \theta)$ для интегрального спектра, но даем отношения $(F/I)_{\text{инт}}$ для области 3000–8700 Å. Они выведены из работ Неккеля и Лабса [7] и С.Н.Осипова [8].

Покровные коэффициенты $\eta_{\text{ц}}$ и $\eta_{\text{д}}$ основаны на тех же работах, что и в книге [1]: Неккеля и Лабса [9] и Осипова [8], плюс атлас [10], планиметрирование которого выполнено по нашей просьбе Н.Н.Морозовой.

Планируется передача таблиц в Центр астрономических данных.

Литература

1. Макарова Е.А., Харитонов А.В., Казачевская Т.В. Поток солнечного излучения. М., Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991, 398 с.
2. Lockwood G.W., Tug H., White N.M. //Astrophys.J., 1992, **390**, 668.
3. Burlov-Vasiljev K.A., Gurtovenko E.A., Matveev Yu.B. //Solar Phys., 1995, **157**, 51.
4. Бурлов-Васильев К.А., Васильева И.Э., Матвеев Ю.Б. //Кинематика и физ. неб.тел, 1996, **12**, 75.
5. Labs D., Neckel H., Simon P.S., Thuiller G. //Solar Phys., 1987, **107**, 203.
6. Neckel H., Labs D. //Solar Phys., 1994, **153**, 91.
7. Neckel H., Labs D. //Solar Phys., 1984, **90**, 201.
8. Осипов С.Н. Покровный эффект в фотосфере Солнца и его изменения при переходе к краю солнечного диска. Канд. дис., ГАО АН УССР, Киев, 1986, 145 с.
9. Neckel H., Labs D. //Solar Phys., 1985, **95**, 229.
10. Wallas L., Hinkle K., Livingston W. An Atlas of the Photospheric Spectrum from 8900 to 13600 cm⁻¹ (7350 to 11200 Å). N.S.O. Technical Report 93-001, 1993.

Л.Н. Князева, А.В. Харитонов (АФИФ)

Солнце на двухцветных диаграммах в разных фотометрических системах

Если на двухцветную диаграмму $U - B$, $B - V$, построенную по наблюдаемым данным для достаточно большого числа звезд, нанести фотометрические параметры Солнца согласно Галлеу [1] и Тьюгу и Шмидт-Калеру [2], то Солнце займет место вне облака точек, образуемого звездами G2V. Наблюдаемые показатели цвета Солнца в системе UBV по данным [1,2] характерны для более поздних спектральных подклассов, G4V или даже G5V. Возникает подозрение, что Солнце более поздняя звезда, хотя его и принимают как стандарт в МК спектральной классификации для звезд подкласса G2V [3].

Для выяснения этого вопроса необходимы новые независимые данные о показателях цвета Солнца. Нет других работ, кроме [1,2], по их определению путем непосредственного фотометрического сравнения со звездами. Различные косвенные методы представляются недостаточно надежными. Вместе с тем, для Солнца имеются достаточно достоверные данные о распределении энергии в его спектре, что позволяет вычислить его показатели цвета в любой фотометрической системе путем свертки с кривыми реакции этих систем.

В работе [4] мы вычислили показатели цвета Солнца в двух фотометрических системах (UBV, WBVR [5]), позднее это было сделано и в Вильнюсской системе [6]. Результаты, полученные в каждой системе, были нанесены на двухцветные диаграммы, построенные для групп звезд G2V, наблюдаемых в ней. К сожалению, списки звезд G2V мало перекрывались между собой и различались существенно по числу использованных звезд. Анализ этих диаграмм выявил некоторые противоречия. В системах UBV и WBVR вычисленный показатель $(B - V)_0$ сдвигает Солнце в сторону более поздних звезд, подтверждая наблюдаемые $(B - V)_0$ из [1,2], но вычисленные $(U - B)_0$ и $(W - B)_0$ смещают Солнце в другую сторону, к более ранним звездам. В Вильнюсской же системе Солнце ложится почти в центре облака точек, образованных звездами G2V. В какой-то степени эти противоречия могут быть результатом использования разных выборок звезд G2V в разных фотометрических системах, но, возможно, причина в том, что мы сравнивали в сущности разнородные величины: на двухцветные диаграммы, построенные по наблюдаемым показателям цвета звезд G2V, наносили вычисленные значения для Солнца. Поэтому мы решили еще раз проверить достоверность вычисленных показателей цвета.

Вычисления проводились по формуле:

$$m_1 - m_2 = -2.5 \lg \frac{\int E(\lambda) \varphi_1(\lambda) d\lambda}{\int E(\lambda) \varphi_2(\lambda) d\lambda} + C_{1,2}, \quad (1)$$

где $E(\lambda)$ — распределение энергии в спектре Солнца; $\varphi_{1,2}(\lambda)$ — кривые реакции фотометрической системы; $C_{1,2}$ — константы, определяющие нуль-пункт.

Распределение энергии в спектре Солнца взято из [7], где оно получено как среднее взвешенное из результатов пяти исследований, его средняя квадратичная ошибка меняется от 1.5% в УФ и синей областях до 0.4% — в красной. Значительная скрытая систематическая ошибка маловероятна, т.к. усреднялись результаты независимых наблюдений.

Точность кривых реакций оценить очень трудно. В системе UBВ они не были корректно определены при ее создании и выводились задним числом многими авторами, наиболее известны работы [8,9]. Кривые реакции систем WBVR и Вильнюсской определялись в процессе их создания, но в лабораторных условиях, где трудно воспроизвести реальные условия наблюдений. Поэтому есть основания полагать, что именно кривые реакции являются основным источником неопределенностей, вносимых в вычисленные показатели цвета. Они дважды используются в формуле (1): при нахождении самого показателя цвета и при определении констант $C_{1,2}$, устанавливающих нуль-пункт, и хотя входят с разными знаками, их неопределенности не компенсируются для звезд с разным распределением энергии.

В настоящей работе мы решили исключить влияние кривых реакции, сделав сравнение вычисленных показателей цвета Солнца с вычисленными же для группы звезд G2V из [10] с известным распределением энергии. Для полноты картины мы отобрали из нашего каталога [11] группу звезд разных спектральных классов от ранних В до G5V, связанных только к Веге.

Вычисления показателей цвета Солнца и звезд выполнены в четырех фотометрических системах (UBV, WBVR, uvby [12,13] и Вильнюсской), причем во всех системах использовались одни и те же звезды.

На всех двухцветных диаграммах Солнце лежит в пределах полосы, занимаемой звездами спектрального типа G2V (рисунки 1-4). Вывод этот представляется нам достаточно убедительным, т.к. фактически сравниваются только две базовые величины — распределение энергии в спектре Солнца и шкала Алма-атинского спектрофотометрического каталога. Ошибки распределения энергии у отдельных звезд по отношению к большой выборке имеют как бы случайный характер и увеличи-

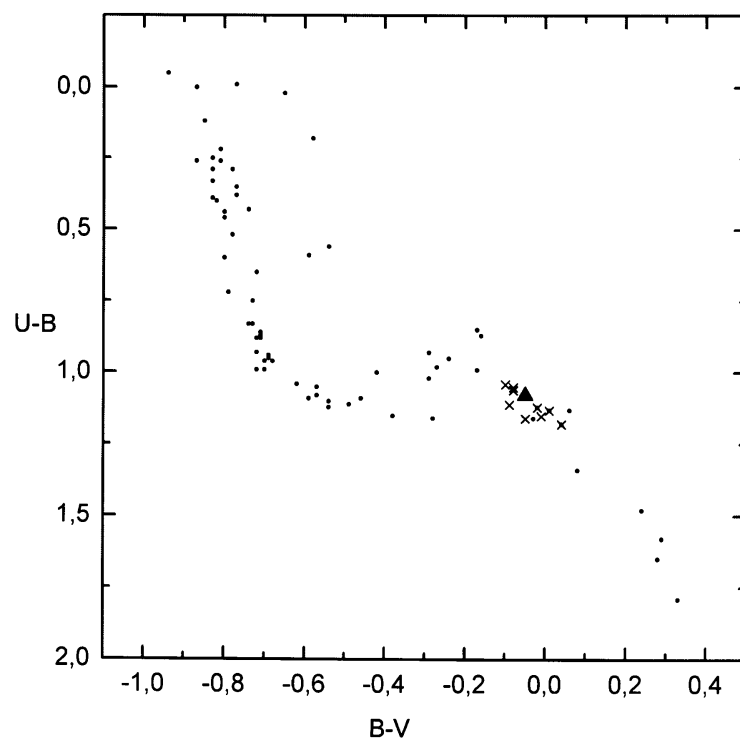


Рис. 1.

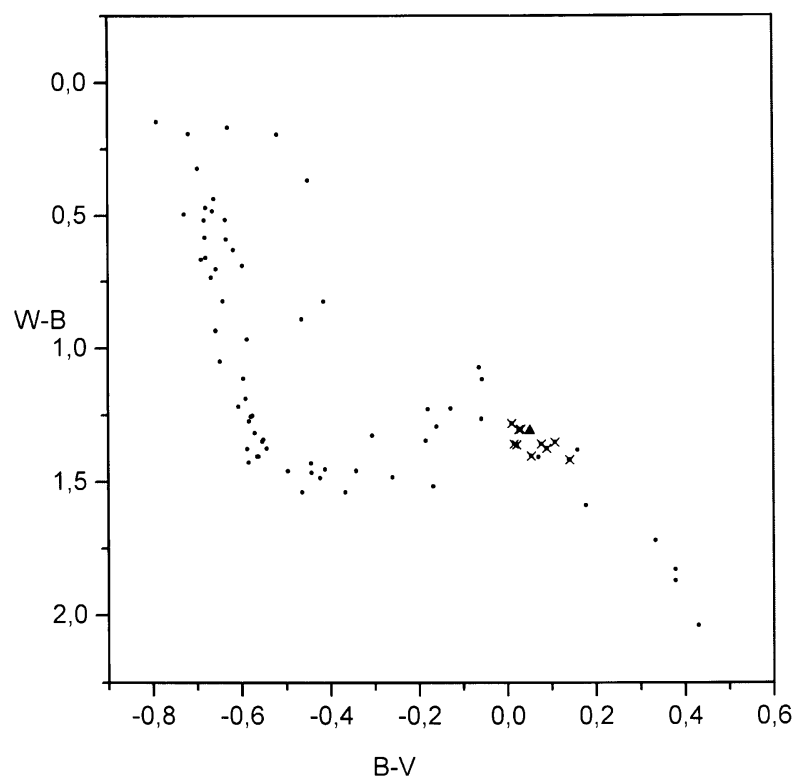


Рис. 2.

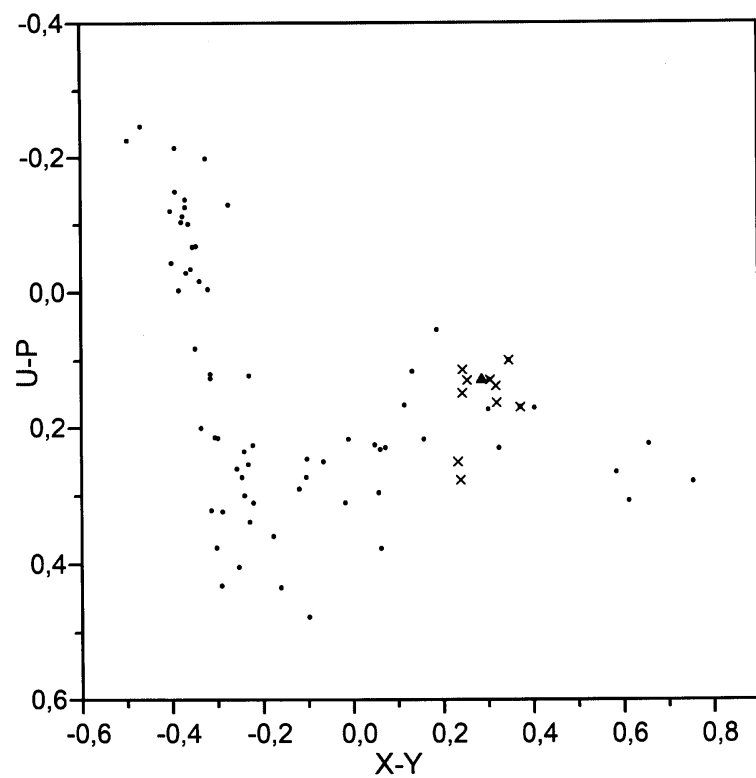


Рис. 3.

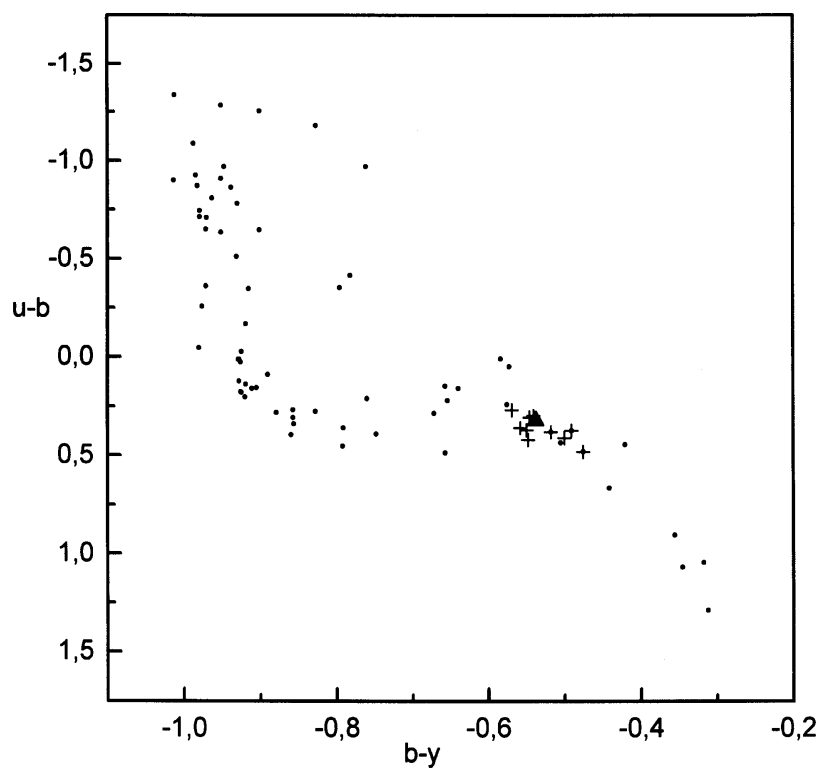


Рис. 4.

вают на диаграммах только разброс точек, не сдвигая среднюю линию. По поводу скрытой систематической ошибки каталога [10] и погрешностей распределения энергии Солнца [7] трудно предположить, чтобы они почти компенсировали друг друга, чтобы Солнце ложилось вблизи средней линии.

Мы выражаем благодарность А.В.Миронову за полезную дискуссию при обсуждении данной работы.

Литература

1. Gallouet L. //Ann.Astrophys., 1964, **27**, 423.
2. Tüg H., Schmidt-Kaler T. //Astron. Astrophys., 1982, **105**, 400.
3. Keenan P.C., Yorka S.B. //Bull. Inform. CDS, 1988, № 35, 37.
4. Князева Л.Н., Харитонов А.В. //Изв. Академии Наук, Сер.физич., 1995, **59**, № 9, 176.
5. Корнилов В.Г., Волков И.М., Захаров А.И. и др. //Тр.ГАИШ, 1991, **63**, 399.
6. Straizys V., Kazlauskas A. //Baltic Astronomy, 1993, **2**, 1.
7. Makarova E.A., Kazachevskaya T.V., Kharitonov A.V. //Solar Phys., 1994, **152**, 195.
8. Ажусенис А., Страйжис В. //Бюлл. Вильнюсской астрон. общ., 1966, **17**, 3.
9. Bessel M.S. //Publ. Astron. Soc. Pacif., 1990, **102**, 1181.
10. Князева Л.Н., Харитонов А.В. //Астрон.Журн., 194, **71**, 458.
11. Харитонов А.В., Терещенко В.М., Князева Л.Н. Спектрофотометрический каталог звезд. 1988, Алма-Ата, “Наука” Каз.ССР, 477 с.
12. Hauck D., Mermilliod M. uvby β Photoelectric Photometric Catalogue, 1990, computer-readable version.
13. Kodaira K. Problems in Stellar Atmospheres and Envelopes, 1975, 155.

В.С. Прокудина (ГАИШ МГУ)

Физические представления И.С.Шкловского о связи рентгеновского и радиоизлучения солнечной короны и о процессах в геокороне

Неоценим вклад И.С.Шкловского в изучение солнечной короны. Его монография “Физика Солнечной короны” [1], написанная в 50-е годы, является и в настоящее время настольной книгой для специалистов по солнечной физике. Как известно, одной из важнейших проблем исследования солнечной короны является изучение ее ионизации и вычисление концентрации высокоионизованных ионов. И.С.Шкловский первым оценил важность отождествления Гроттрианом и Эдленом эмиссионных корональных ионов железа, никеля, кальция с энергией возбуждения в сотни эВ (Fe XIII, Fe X, Ca XV, Ca XIII, Ni XV, Ni XIII и др.). Это означало существование в короне высоких температур $T \simeq 10^6$ К. Теория ионизации плазмы солнечной короны была развита И.С.Шкловским на основе учета роли неупругих соударений электронов и атомов [8].

Применение для корональной солнечной плазмы методики вычисления концентрации ионов для различных степеней ионизации, предложенной Эльвертом [2], дало возможность описать свойства короны. По формулам Эльверта были рассчитаны концентрации высокоионизованных ионов для элементов таблицы Д.И.Менделеева от водорода до железа в широком диапазоне температур от $T = 10^5$ до $T = 10^7$ К. Работа была выполнена в Лаборатории Спектроскопии ФИАН под руководством С.Л.Мандельштама. На основании этих вычислений был определен вклад линейчатого и $ff - fg$ излучения в области мягкого и жесткого рентгеновского излучения при различных температурах [3]. По таблицам ионов разной кратности ионизации, имея спектры в области $\lambda < 100 \text{ \AA}$ и $\lambda < 20 \text{ \AA}$, без особых усилий можно оценить диапазон температур как в солнечных вспышках и корональных конденсациях, так и в других рентгеновских источниках.

И.С.Шкловским был предложен метод вычисления меры эмиссии $Y = \int N_e^2 d\nu$ по радиоизлучению на 10 см [4], что дало возможность оценить интегральные потоки рентгеновского излучения от Солнца. По радиокартам на 10 см были вычислены меры эмиссии для корональных конденсаций и выполнены расчеты потоков рентгеновского излучения в области $\lambda < 20 \text{ \AA}$, что использовалось для интерпретации наблюдений [5], полученных в ФИАН. К сожалению, расчеты потоков с использованием формул ионизации по Эльверту были выполнены только для случая стационарной тепловой плазмы корональных конденса-

ций, а для вспышечных (нестационарных) явлений вычисления не были закончены. Кроме того, не был детально изучен вопрос о соотношении различных температур в короне: электронной, возбуждения, ионизационной и кинетической, несмотря на постоянный интерес к этой проблеме И.С.Шкловского. При анализе нестационарных явлений этот вопрос становится особенно важным.

Следует отметить, что методика оценки меры эмиссии по *см* радиоизлучению корональных конденсаций с целью вычисления потоков рентгеновского излучения, на наш взгляд, может быть применена также и для *мм* радиодиапазона, что в настоящее время может представлять практический интерес, так как помимо интегральных потоков, имеются одновременные изображения Солнца, полученные как в области жесткого рентгеновского излучения, так и в *мм* радиодиапазоне. Это дает возможность сравнить тепловую и нетепловую компоненты радио- и рентгеновского излучения во вспышках.

Однако, некоторые рекомендации, предложенные И.С.Шкловским, не были своевременно учтены. Например, им подчеркивалась необходимость учета, помимо обычного линейчатого излучения, излучения в линиях от рекомбинаций на возбужденные уровни, излучения характеристических линий, возникающих в результате возбуждения электронным ударом внутренних оболочек корональных ионов (К-оболочек для ионов O, N, Mg и L — для Fe). Хотя соответствующие расчеты не проводились, эти рекомендации не потеряли своей актуальности, поскольку в настоящее время в рентгеновских спектрах солнечных вспышек наблюдаются характеристические линии основных высокоионизированных ионов, и, кроме того, эти линии регистрируются в спектрах других астрофизических объектов, например, в SS 433.

И.С.Шкловский подчеркивал важность изучения спорадического (нетеплового) радиоизлучения для быстрых процессов на Солнце и высказывал идею, что колебания плазмы в короне могут объяснить механизм его возникновения и высокую эффективную температуру $T \simeq 10^{13} - 10^{15}$ К [6]. Причиной возникновения собственных колебаний электронов, генерирующих радиовсплески, по мнению И.С.Шкловского, могут быть не только пучки энергичных электронов, но и сгустки плазмы, движущейся в короне со скоростью ударной волны $V = 1000 - 2000$ км/с [7]. Этот процесс весьма важно учитывать при анализе радиоизлучения от выбросов и корональных транзиентов, проблема, которой активно занимаются в настоящее время многие исследователи.

Следует отметить, что регистрируемые на ИСЗ “Прогноз” всплески километрового радиоизлучения в диапазоне частот 2000-100 кГц, как

известно, связаны с прохождением энергичных частиц (электронов) через корону и в межпланетной среде и обусловлены возбуждением плазменных колебаний на ленгмюровской частоте; важность именно этого физического процесса для спорадического радиоизлучения короны подчеркивал И.С. Шкловский.

Развивая идеи И.С.Шкловского, можно изучать условия генерации потоков ускоренных частиц (электронов и протонов) во вспышках на различных высотах солнечной атмосферы: в хромосфере, короне, окосолнечной среде, сравнивая радиовсплески *мм*, *м* и *км* диапазона и сопоставляя их с всплесками рентгеновского излучения от вспышек и выбросов.

Следует упомянуть также идею И.С. Шкловского о роли электрического поля для поддержания высокой электронной температуры в короне [8]. Проводя аналогию с газовым разрядом, он получил оценки индукционного поля $E = 10^{-5}$ В/см. Оценки спектральным методом по Штарк-эффекту дают сравнимую величину. Как известно, в настоящее время идея о роли индукционного поля для возникновения хромосферной вспышки и процессов ускорения приобретает важный физический смысл, в частности, в связи с развитием теории магнитного пересоединения в приложении к солнечным процессам [9]. Однако, объяснение наблюдаемых явлений в оптическом, рентгеновском и радио диапазонах требует более детального рассмотрения механизмов нагрева корональной плазмы до высоких энергий и моделирования процессов при различных физических условиях, близких к солнечным вспышкам.

Заслуживает внимания объяснение И.С.Шкловским физической природы “усов” — эмиссионных образований, видимых в крыльях линии H_{α} [10]. Согласно автору, “усы” представляют собой быстро движущиеся сгустки плазмы (плазмоны), сформированные в местах больших градиентов магнитного поля и неустойчивых полях. Движение сгустков происходит со скоростью 1000 км/с, здесь же существуют условия, благоприятные для ускорения частиц. Изучение движения таких мелкомасштабных плазмоедов в настоящее время является весьма актуальным в связи с наблюдениями выбросов и корональных транзиентов.

Следует также заметить, что представления о быстро движущихся сгустках намагниченной плазмы, развитые для солнечных явлений, стали основой для гипотезы, объясняющей переменность радиоизлучения рентгеновского источника SS 433 [11].

Солнечная корона — это один из многочисленных объектов, анализируемых И.С.Шкловским. Основной его интерес был направлен на изучение звездных корон для звезд различных спектральных классов: ги-

гантов, сверхгигантов, субкарликов, белых карликов, а также остатков сверхновых, например, Crab.

Характерно, что выбор физических факторов для описания активных явлений на различных объектах был основан на глубоком знании плазменных процессов; для интерпретации наблюдаемых свойств в рентгеновском, радио и оптическом диапазонах анализировались свойства замагниченной плазмы, ее движение в магнитном поле, неустойчивости магнитных потоков, роль электронных пучков, распространение ударных волн. И в настоящее время эти физические процессы являются основными при изучении астрофизических явлений. Главное, что отличает физические представления И.С.Шкловского, как считает большинство его ученых-коллег, это интерес к фактам, поиски главного и любовь к простоте.

Наиболее ценные идеи И.С.Шкловского еще ждут своего развития. Например, необходимо продолжение работ по изучению взаимосвязи рентгеновского и радиоизлучения Солнца, тем более, что имеются одновременные наблюдения, полученные на ИСЗ типа “Прогноз”.

Проблема водорода как в солнечной короне, так и земной атмосфере была одним из важных объектов исследования для И.С.Шкловского. Еще в кандидатской диссертации в 1943 г. им изучался вопрос о концентрации водорода в солнечной короне в связи с отсутствием в ней свечения водородной линии H_α (в настоящее время бальмеровская линия H_α иногда регистрируется при внеатмосферных наблюдениях).

Что касается водорода в земной атмосфере, то особый интерес представляет изучение свечения линий Бальмеровской серии в полярных сияниях и верхней атмосфере. Для объяснения свечения H_α эмиссии в полярных сияниях И.С.Шкловским был привлечен механизм перезарядки протонов с нейтральными атомами. В работе [12] было показано, что перезарядка геоактивных протонов солнечного происхождения является основным процессом, вызывающим свечение линии H_α . Возбуждение водородной эмиссии обусловлено вторжением протонов в верхнюю атмосферу, и широкий контур линии H_α в полярных сияниях отражает распределение скоростей вторгающихся протонов, движущихся со скоростью $V = 1000$ км/с и энергией $E \simeq 5$ кэВ [13].

В настоящее время идея перезарядки сохранила свой основной физический смысл. Однако известны и другие представления относительно происхождения протонов. Согласно одной из гипотез протоны имеют не солнечное происхождение, а ускоряются в магнитосфере, точнее, в области магнитопаузы в результате процесса пересоединения, точнее, пульсирующей реконнекции [14], до энергий $E \simeq 5.5$ кэВ и скоростей

$V = 1000$ км/с. Магнитосферное происхождение протонов, возбуждающих водородное свечение в полярных сияниях, на наш взгляд, является весьма перспективной идеей, развитие которой может объяснить наблюдаемые свойства водородного свечения в полярных сияниях различного типа.

Что касается геокороны — водородной оболочки Земли протяженностью в несколько земных радиусов, с концентрацией $n_H = 0.5 \text{ см}^{-3}$, то идея ее существования и сам термин были введены И.С. Шкловским на основании наблюдения излучения L_α в ночной стороне Земли, обусловленного рассеянием солнечных квантов L_α на водородных атомах [16], и в связи с наблюдениями свечения H_α в ночном небе [17]. Идея геокороны оказалась очень плодотворной. За несколько десятилетий был получен богатейший наблюдательный материал как в СССР, особенно в Абастумани [18], так и в других странах [19]. В настоящее время известно, что свойства геокороны зависят от солнечного ветра и изменяются в зависимости от уровня солнечной и геомагнитной активности. Водородные оболочки обнаружены и на других планетах: Венере, Марсе, Юпитере. Таким образом, проблема водорода в Солнечной системе, над которой задумывался И.С.Шкловский полвека назад, сейчас имеет более широкие аспекты исследования. Изучение свойств геокорональной плазмы тесно связано с такими проблемами, как взаимодействие солнечного ветра с магнитосферой, роль магнитосферных протонов для возбуждения водородной эмиссии в верхней атмосфере и, особенно, в полярных сияниях и во время геомагнитных возмущений. Работы И.С.Шкловского были выполнены в начальный период этих исследований и успешно продолжены в настоящее время на основе спутниковых наблюдений.

Литература

1. Шкловский И.С. Физика солнечной короны. Гос изд-во физ-мат. лит. Москва. 1962. 516 с.
2. Elwert G. //Journ.Geophys. Res. 1961, **66**, p.331.
3. Фетисов Е.П. //Космич. Исслед. 1963, **1**, с.209.
4. Шкловский И.С. //Астрон.Журн. 1964, **41**, вып.4, с.626.
5. Мандельштам С.Л., Прокудина В.С., Тиндо И.П., Фетисов Е.П. //Космич. Исслед. 1965, **3**, с.737.
6. Шкловский И.С. //Астрон. Журн. 1946, **23**, с.333.

7. Шкловский И.С. //Учен. Записки МГУ, 1945, В.75.
8. Шкловский И.С. Электронная температура в астрофизике. 1943. Кандидатская диссертация.
9. Somov B.V. Fundamentals of Cosmic Electrodynamic. Kluwer Acad. Publ. 1994. Dordrecht. Boston. London. Ch.12.
10. Шкловский И.С. //Астрон. журн. 1958, **35**, вып.6, с.838.
11. Шкловский И.С. //Астрон. журн. 1981, **58**, 554.
12. Шкловский И.С. //Астрон. журн. 1958, **4**, 557.
13. Шкловский И.С. //Докл. Акад. Наук. 1951, **81**, 367.
14. Lokwood M., Denig N.I., Farmer A.D. //Nature, 1993, **361**, 424.
15. Scklovsky I.S. //Plan. Space Sci. 1959, **1**, 63.
16. Purcell J., Tousey R. / R. Space Research Ed. H.Kallmann-Bijl. Amsterdam. 1960. P.590.
17. Прокудина В.С. / в сб.: Спектральные, электрофотометрические и радиолокационные исследования полярных сияний и свечения ночного неба. Изд-во АН. 1959. № 1. с.43.
18. Фишкова Л.М. Ночное излучение среднеширотной верхней атмосферы Земли. Изд-во Мецниереба. Тбилиси. 1983, 271 с.
19. Nossal S., Roesler J.L., Coakley M.M., et al. //Journ. Geophys. Res. 1997. **102**, № A7, P.14541.

Е.Н. Виняйкин (НИРФИ)

Вековое уменьшение и случайные вариации плотности потока радиоизлучения Кассиопеи А по результатам многолетних наблюдений на частотах 927, 290, 151.5 и 38 МГц

Аннотация

Выполнены многолетние измерения плотности потока радиоизлучения молодого остатка сверхновой Кассиопеи А относительно Лебедя А на частотах 927, 290, 151.5 и 38 МГц. Получены следующие значения средней скорости векового уменьшения радиоизлучения Кассиопеи А: $d_{927} = -(0.73 \pm 0.05)\% \text{ год}^{-1}$ (по интервалу времени 1977.8-1996.8), $d_{290} = -(0.66 \pm 0.07)\% \text{ год}^{-1}$ (1978.8-1996.85), $d_{151.5} = -(1.11 \pm 0.22)\% \text{ год}^{-1}$ (1980.9-1994.8). С учетом опубликованных данных других авторов получено: $d_{38} = -(0.66 \pm 0.17)\% \text{ год}^{-1}$ (1956-1995.6), $d_{151.5} = -(0.86 \pm 0.09)\% \text{ год}^{-1}$ (1966.5-1994.8). Отмечена неравномерность уменьшения плотности потока радиоизлучения Кассиопеи А со временем, обусловленная, по-видимому, случайными вариациями суммарного радиоизлучения ≈ 300 компактных деталей, наблюдаемых в радиоисточнике.

Введение

В 1960 г. была опубликована работа И.С.Шкловского “О возможном вековом изменении потока и интенсивности радиоизлучения от некоторых дискретных источников” [?]. В ней на основе синхротронного механизма радиоизлучения предсказывалось новое явление: уменьшение потока и яркости радиоизлучения расширяющихся туманностей — остатков сверхновых. Скорость векового уменьшения плотности потока радиоизлучения S_ν , определяемая как

$$d = S_\nu^{-1}(dS_\nu/dt), \quad (1)$$

предсказывалась Шкловским [?] для Кассиопеи А равной $\approx -2\% \text{ год}^{-1}$. Последовавшие за этим предсказанием многочисленные измерения плотности потока радиоизлучения Кассиопеи А S_ν^{CasA} (абсолютные или по отношению к Лебедю А) подтвердили предсказанный эффект, но дали приблизительно вдвое меньшее значение $|d|$ по сравнению с первоначальной оценкой (обзор ранних работ имеется у Шкловского [?]; более поздних — у Лозинской [?]). Величина скорости векового уменьшения радиоизлучения Кассиопеи А определялась во многих ранних работах по сравнительно редким измерениям (иногда всего по 2-3 измерениям)

S_{ν}^{CasA} , произведенным в различные эпохи. Однако, если иметь ввиду не только определение средней величины d по продолжительному интервалу времени, а и изучение возможных временных вариаций S_{ν}^{CasA} , то необходимо производить более частые измерения. При этом измерения на данной частоте ν должны производиться на одном и том же или подобном радиотелескопе по одинаковой методике.

В данной работе приведены результаты многолетних измерений плотности потока радиоизлучения Кассиопеи А по отношению к Лебедю А ($S_{\nu}^{CasA}/S_{\nu}^{CygA} \equiv r_{\nu}$) на частотах 927, 290 и 151.5 МГц. Результаты менее продолжительных измерений величины r_{ν} на частоте 38 МГц сопоставлены с опубликованными результатами более ранних измерений других авторов. Подобное сопоставление выполнено и для частоты 151.5 МГц.

Наблюдения

В 1977-1980 гг. на радиообсерватории “Старая Пустынь” (южнее Нижнего Новгорода) были начаты патрульные измерения плотности потока Кассиопеи А (по отношению к Лебедю А) на частотах 927, 290 и 151.5 МГц (длины волн соответственно 0.32, 1.03 и 1.98 м). Измерения отношения $S_{\nu}^{CasA}/S_{\nu}^{CygA}$ на частоте 927 МГц (r_{927}) выполнялись с помощью 10-м радиотелескопа, измерения же на частоте 290 МГц (r_{290}) с помощью другого 10-м радиотелескопа. Что же касается измерений на частоте 151.5 МГц, то они производились при помощи интерферометра, состоящего из двух 14-м радиотелескопов. Длина базы интерферометра составляла 31λ ($\lambda \approx 2$ м), ориентация почти вдоль линии “восток-запад”. Более подробно обстоятельства и методика измерений величины r_{ν} на трех указанных частотах описаны в [?].

В 1987 г. были начаты измерения $S_{\nu}^{CasA}/S_{\nu}^{CygA}$ на частоте 38 МГц при помощи антенны “Восток-Запад” радиотелескопа ДКР-1000 в Пушчино. Эта антенна была разделена на две равные части (с размерами $\approx 500 \times 40$ м), которые составили двухэлементный корреляционный интерферометр. Более подробно обстоятельства и методика измерений на частоте 38 МГц описаны в [?].

Результаты измерений

На рис. 1 представлены результаты измерений плотности потока радиоизлучения Кассиопеи А по отношению к Лебедю А на частотах 927, 290 и 151.5 МГц. Прямые линии на рис. 1

$$r_{\nu}(t) = m_{\nu}(t - \langle t \rangle_{\nu}) + c_{\nu} \quad (2)$$

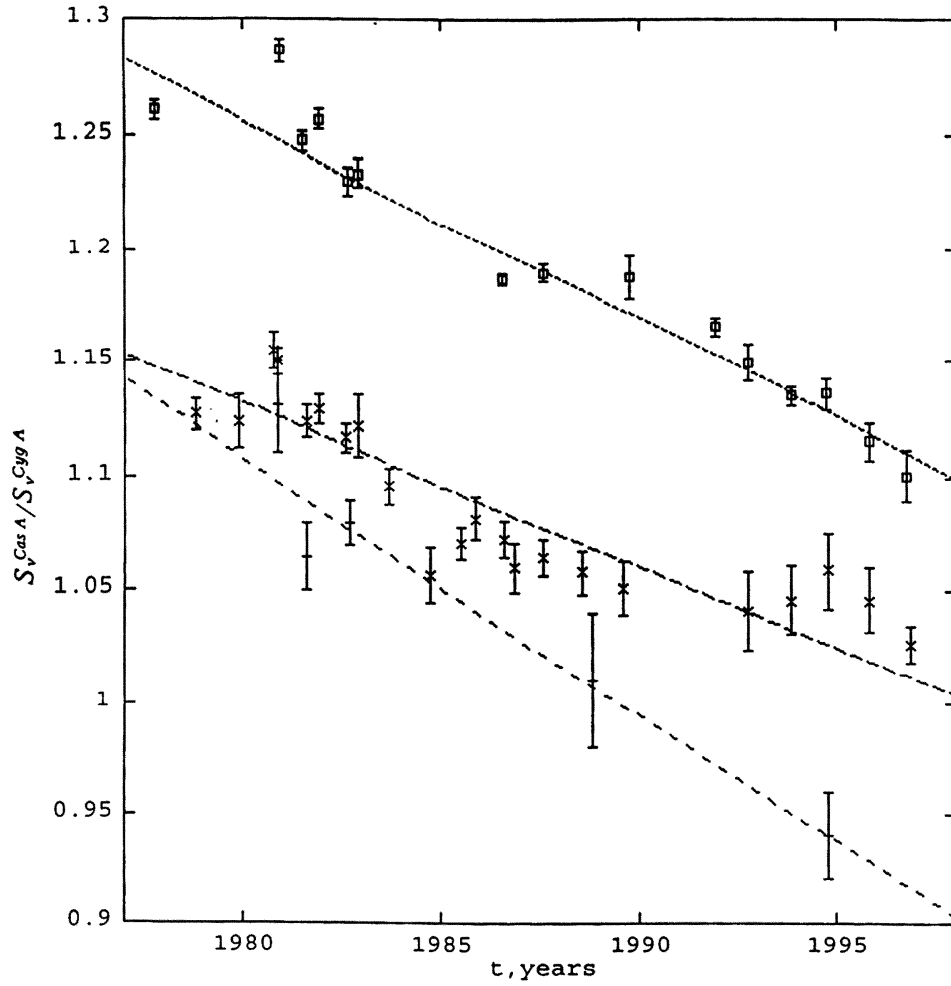


Рис. 1. Плотность потока радиоизлучения Кассиопеи А по отношению к Лебедю А на частотах 927 МГц (\square), 290 МГц (\times) и 151.5 МГц ($-$). Прямые линии построены методом наименьших квадратов с учетом весов.

построены методом наименьших квадратов с учетом веса каждой измеренной величины $(r_\nu)_i$ ($i = 1, 2, \dots, N_\nu$, где N_ν — количество эпох в измерениях на частоте ν : $N_{927} = 15$, $N_{290} = 22$, $N_{151.5} = 5$); $\langle t \rangle_\nu$ — средняя эпоха в измерениях на частоте ν ; $c_\nu = r_\nu$ ($t = \langle t \rangle_\nu$); $m_\nu = dr_\nu/dt$.

В таблице 1 содержатся величины средней скорости $d_\nu = m_\nu/c_\nu$ векового уменьшения радиоизлучения Кассиопеи А в интервалах времени, указанных в первом столбце.

| Таблица 1. | | | | |
|------------------------------|---|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| Интервал времени, годы | Средняя эпоха $\langle t \rangle_\nu$, год | d_{927} , % год $^{-1}$ | d_{290} , % год $^{-1}$ | $d_{151.5}$, % год $^{-1}$ |
| 1977.8 – 1996.8 | 1987.3 | -0.73 ± 0.05 | | |
| 1978.8 – 1996.85 | 1987.8 | | -0.66 ± 0.07 | |
| 1980.9 – 1994.8 | 1987.85 | | | -1.11 ± 0.22 |

Из рис. 1 видно, что уменьшение S_{ν}^{CasA} со временем не является однородным. Например, в начале 1980-х годов уменьшение радиоизлучения Кассиопеи А со временем более быстрое, чем в конце 1980-х годов. Более того, в 1979-1980 гг. S_{ν}^{CasA} даже увеличилась. Отмеченные особенности временного поведения $S_{\nu}^{CasA}(t)$ видны как в данных на частоте 927 МГц, так и на частоте 290 МГц. Что же касается измерений на частоте 151.5 МГц, то количество эпох в них слишком мало, чтобы проследить указанные выше особенности.

В таблице 2 приведены значения отношений плотностей потоков Кассиопеи А и Лебедя А на частоте 38 МГц, измеренных с помощью антенны “Восток-Запад” радиотелескопа ДКР-1000.

В этой же таблице помещены и значения $r_{151.5}$, полученные с помощью интерферометра из двух 14-м радиотелескопов, для удобства сопоставления с данными других авторов. Ошибки измеренных величин $S_{\nu}^{CasA}/S_{\nu}^{CygA}$ на частоте 38 МГц существенно больше, чем на более высоких частотах. Это обусловлено ростом влияния неоднородностей ионосферы с понижением частоты. Из таблицы 2 видно, что величина S_{38}^{CasA} не изменялась в пределах ошибок измерений с 1987 по 1995 г.

Значения $S_{38}^{CasA}/S_{38}^{CygA}$ и $S_{151.5}^{CasA}/S_{151.5}^{CygA}$ из таблицы 2 представлены на рис. 2 вместе с результатами измерений этих же величин в предшествующие эпохи [?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?]. Прямым на рис. 2, построенным методом наименьших квадратов с учетом весов, соответствуют следующие значения средней скорости векового уменьшения S_{ν}^{CasA} по указанным интервалам времени

$$d_{38}(1956 - 1995.6) = -(0.66 \pm 0.17)\% \text{ год}^{-1}, \quad (3)$$

$$d_{151.5}(1966.5 - 1994.8) = -(0.86 \pm 0.09)\% \text{ год}^{-1}. \quad (4)$$

Таблица 2.

| Эпоха | $S_{38}^{CasA}/S_{38}^{CygA}$ | $S_{151.5}^{CasA}/S_{151.5}^{CygA}$ |
|--------|-------------------------------|-------------------------------------|
| 1980.9 | | 1.13 ± 0.02 |
| 1981.6 | | 1.065 ± 0.015 |
| 1982.7 | | 1.08 ± 0.01 |
| 1987.5 | 1.25 ± 0.05 | |
| 1988.5 | 1.18 ± 0.08 | |
| 1988.8 | | 1.01 ± 0.03 |
| 1991.5 | 1.27 ± 0.04 | |
| 1994.8 | | 0.94 ± 0.02 |
| 1995.6 | 1.22 ± 0.09 | |

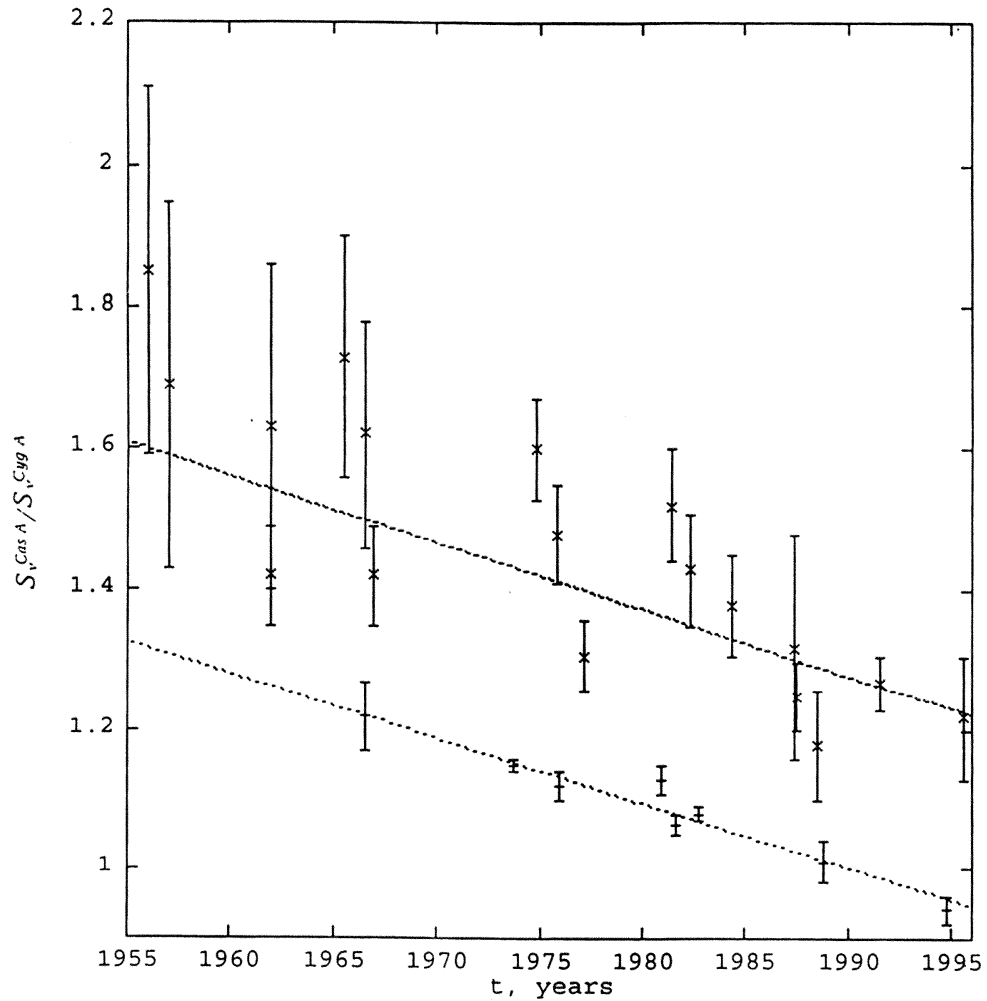


Рис. 2. Плотность потока радиоизлучения Кассиопеи А по отношению к Лебедю А на частотах 151.5 МГц (—) и 38 МГц (×). Прямые линии построены методом наименьших квадратов с учетом весов.

Значения d_{ν} в (3) и (4) получены по результатам измерений $S_{\nu}^{Cas A} / S_{\nu}^{Cyg A}$ на различных инструментах. На этих низких частотах (особенно на $\nu = 38$ МГц) основной вклад в погрешность измерений вносит влияние ионосферы, поэтому различие применявшихся инструментов, по видимому, не сказывается существенно на достоверности значений (3) d_{38} и (4) $d_{151.5}$, полученных соответственно по ≈ 40 -летнему и ≈ 30 -летнему интервалам времени.

Обсуждение результатов

Проведем сопоставление измеренных значений скорости векового уменьшения плотности потока радиоизлучения Кассиопеи А с предсказаниями известных моделей эволюции радиоизлучения остатка сверхновой (ОСН).

Пусть величина магнитного поля B в расширяющемся сферически симметричном ОСН зависит от его радиуса R по степенному закону $B \propto R^{-a}$, энергия релятивистского электрона $E \propto R^{-b}$, полное количество релятивистских электронов сохраняется в некотором объеме V_c , совпадающем с излучающим объемом V_e . Плотность потока синхротронного радиоизлучения ОСН в этих предположениях равна [?]

$$S_\nu \propto R^{-[\frac{1}{2}a^{\gamma+1}+b^{\gamma-1}]}, \quad (5)$$

где $\gamma = 2\alpha + 1$ — показатель степени в энергетическом спектре релятивистских электронов ($N(E) \propto E^{-\gamma}$), α — спектральный индекс ($S_\nu \propto \nu^{-\alpha}$). Пусть радиус ОСН

$$R = R_0(T/T_0)^{n(T)}, \quad (6)$$

где T — возраст ОСН ($T = t - t_0$, t_0 — момент вспышки сверхновой), $n(T)$ — медленно меняющаяся функция возраста T , конкретный вид которой зависит от физических условий в ОСН и в окружающей межзвездной среде. Условие медленности изменения $n(T)$ таково: $dn/dt \ll nT^{-1}/\ln(T/T_0)$. Используя определение (1), из (5) и (6) получим

$$d = -\frac{1}{2}T_k^{-1}[a(\gamma + 1) + 2b(\gamma - 1)], \quad (7)$$

где $T_k = T/n(T)$ — кинематический возраст ОСН.

Изучение движения быстро движущихся оптических узлов (ФМК) в Кассиопее А дает следующее значение для момента вспышки сверхновой $t_0 = 1657 \pm 3$ г. [?]. Из наблюдений еще более быстро движущихся богатых азотом оптических флокул (ФМФ) следует $t_0 = 1681 \pm 15$ лет [?]. Последнее значение совпадает в пределах ошибок с предполагаемой датой $t_0 = 1680$ г. вспышки сверхновой, давшей начало Кассиопее А, по наблюдениям Флэмстида [?]. Рид и другие [?] обнаружили, что замедление движения оптических ФМК не превышает $(4 \div 7)\%$. Таким образом, кинематический возраст T_k , определяемый по быстро движущимся оптическим узлам, практически совпадает с хронологическим возрастом ОСН Кассиопея А $T = 307$ лет (на эпоху 1987 г.).

Среднее взвешенное значение d по результатам наблюдений Кассиопеи А на частотах 927 и 290 МГц (табл. 1), 151.5 МГц (4) и 38 МГц (3) равно

$$\langle d \rangle_\omega = -(0.73 \pm 0.04)\% \text{ год}^{-1}. \quad (8)$$

Подставляя в (7) $d = -0.0073$, $T_k = 1.04 \cdot T = 320$ лет, $\gamma = 2.5$, получим уравнение с двумя неизвестными a и b

$$3.5a + 3.b = 4.7. \quad (9)$$

Полагая в (9) $b = 1$, что соответствует $E \propto R^{-1}$ — уменьшению энергии радиоизлучающих электронов из-за адиабатических потерь [?], получим $a = 0.5$. При $b = 0$, что соответствует постоянству энергии E [?], получим из (9) $a = 1.3$. Последнее значение близко с учетом ошибок измерений к значению $a = 1.5$, при котором сохраняется полная магнитная энергия в ОСН, если излучающий объем $V_e \propto R^3$ [?].

Многолетние наблюдения движения компактных деталей радиоизображения Кассиопеи А и расширения диффузной части ее оболочки свидетельствуют, однако, о том, что кинематический возраст в $2.5 - 4$ раза больше хронологического возраста [?, ?, ?]. Другими словами, к настоящему времени расширение радиооболочки Кассиопеи А существенно замедлилось. Степень замедления диффузной части оболочки имеет азимутальную зависимость, компактные детали радиооболочки характеризуются широким диапазоном значений степени замедления: от свободного движения у одних деталей до сильного торможения у других [?]. Что же касается оптических быстро движущихся узлов, то они представляют собой лишь малую часть выброшенной оболочки сверхновой. Оптические ФМК — это сгустки выброшенного вещества, которые становятся видимыми благодаря их взаимодействию с областями пониженной плотности в уже затормозившейся оболочке [?].

Принимая среднее по Кассиопее А значение $T_k = 1000$ лет и подставляя его в (7), получим вместо (9)

$$3.5a + 3b = 14.6. \quad (10)$$

Полагая $b = 1$, получим из (10) $a = 3.3$, при $b = 0$ имеем $a = 4.2$. В обоих случаях закон убывания величины магнитного поля $B \propto R^{-a}$ существенно круче, чем при сохранении потока магнитного поля ($a = 2$). В рамках первоначальной модели [?] имеем при $a = 2$, $b = 1$ и $T_k = 1000$ лет $d = -0.5\%$ год $^{-1}$, что несколько меньше (8) по абсолютной величине. Если же $T_k = 320$ лет, то эта же модель дает $d = -1.6\%$ год $^{-1}$, что почти вдвое больше (8) по абсолютной величине. Принимая во внимание сложность реально наблюдаемой, весьма неоднородной картины движений в Кассиопее А и упрощенность рассматриваемых сферически симметричных моделей, следует признать удовлетворительным согласие предсказания первоначальной модели Шкловского [?] с результатами наблюдений при учете торможения оболочки источника. Подставляя в (7) $a = 2$, $b = 1$, получим независимую оценку среднего по источнику кинематического возраста Кассиопеи А $T_k = 700$ лет. Это приблизительно соответствует значению $n = 2/5$, то есть адиабатической фазе эволюции Кассиопеи А.

Наблюдаемую неравномерность изменения S_{ν}^{CasA} можно объяснить, учитывая наличие упоминавшихся выше многочисленных ($N_{tot} \approx 300$) компактных узлов или деталей на радиоизображении Кассиопеи А, суммарная доля k которых в полном радиоизлучении источника составляет около 30%. Поскольку радиоизлучение отдельных компактных деталей увеличивается или уменьшается независимо друг от друга, то их суммарное радиоизлучение является случайной, убывающей в среднем функцией времени. Относительная среднеквадратичная величина F флуктуаций плотности потока радиоизлучения Кассиопеи А может быть оценена из соотношения

$$F = \sqrt{\langle (S_{\nu}^{CasA})^2 \rangle - (\langle S_{\nu}^{CasA} \rangle)^2} / \langle S_{\nu}^{CasA} \rangle \sim k / N_{tot}^{1/2}. \quad (11)$$

Полагая в (11) $k = 0.3$, $N_{tot} = 300$, получим $F \approx 2\%$. Флуктуации с такой относительной среднеквадратичной величиной и характерным временем ~ 10 лет накладываются на плавное вековое уменьшение плотности потока радиоизлучения, что и приводит к наблюдаемой неравномерности уменьшения S_{ν}^{CasA} .

Заключение

В результате многолетних измерений плотности потока радиоизлучения Кассиопеи А по отношению к Лебедю А на частотах 927, 290 и 151.5 МГц с использованием на каждой из частот одних и тех же радиотелескопов получены следующие значения средней скорости векового уменьшения радиоизлучения Кассиопеи А.

$$d_{927}(1977.8 - 1996.8) = -(0.73 \pm 0.05)\% \text{ год}^{-1},$$

$$d_{290}(1978.8 - 1996.85) = -(0.66 \pm 0.07)\% \text{ год}^{-1},$$

$$d_{151.5}(1980.9 - 1994.8) = -(1.11 \pm 0.22)\% \text{ год}^{-1}.$$

По результатам аналогичных измерений на частоте 38 МГц в интервале времени 1987.5-1995.6 с использованием опубликованных результатов измерений в 1956-1987 гг. других авторов получено значение средней скорости векового уменьшения радиоизлучения Кассиопеи А

$$d_{38}(1956 - 1995.6) = -(0.66 \pm 0.17)\% \text{ год}^{-1}.$$

С учетом того факта, что расширение Кассиопеи А к настоящему времени существенно замедлилось, измеренные значения d наиболее удовлетворительно объясняются в рамках модели Шкловского [?], на

основе которой им и было предсказано вековое уменьшение радиоизлучения Кассиопеи А. Неравномерность изменения со временем плотности потока радиоизлучения Кассиопеи А обусловлена, вероятнее всего, случайными изменениями убывающего в среднем суммарного радиоизлучения ≈ 300 компактных деталей, существующих в радиооболочке источника.

В последние годы работа выполнялась при финансовой поддержке Федеральной научно-технической программы “Астрономия” (код проекта 2-124).

Литература

- [1] Андерсон и Рудник (Anderson M.C., Rudnick L.) // *Astrophys.J.*, 1995, **441**, 307.
- [2] Базелян Л.Л., Брауде С.Я., Брук Ю.М. и др. // *Изв. вузов. Сер. Радиофизика*. 1963, **6**, 897.
- [3] Белл (Bell A.R.) // *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.*, 1977, **179**, 573.
- [4] Брауде и др. (Braude S.Ya., Lebedeva O.M., Megn A.V. et al.) // *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.*, 1969, **143**, 301.
- [5] Валчовски и Смит (Walczowski L.T., Smith K.L.) // *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.*, 1985, **212**, 27P.
- [6] Виняйкин Е.Н., Володин А.Г., Ковальчук О.М. // *Письма в Астрон. Журн.* 1992, **18**, 755.
- [7] Виняйкин Е.Н. // *Astron. and Astrophys. Trans.* 1996, **11**, p.325-330.
- [8] Кампер и ван ден Берг (Kamper K., van den Berg S.). // *Astrophys.J. Suppl.Ser.*, 1976, **32**, 351.
- [9] Касвелл и Лерхе (Caswell J.L., Lerche I.) // *Proc. Astron. Soc. Austral.* 1979, **3**, 343.
- [10] Лозинская Т.А. Сверхновые звезды и звездный ветер. Взаимодействие с газом Галактики. 1986. М.: Наука. 304с.
- [11] Паркер (Parker E.A.) // *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.*, 1968, **138**, 407.

- [12] Рид 1977a (Read P.L.) // Monthly Not. Roy. Astron. Soc. 1977, **178**, 259.
- [13] Рид 1977b (Read P.L.) // Monthly Not. Roy. Astron. Soc., 1977, **181**, 63p.
- [14] Рид и др. (Reed J.E., Hester J.J., Fabian A.C., Winkler P.F.) // Astrophys. J., 1995, **440**, 706.
- [15] Рис (Rees N.) // Monthly Not. Roy. Astron. Soc. 1990, **243**, 637.
- [16] Таффс (Tuffs R.J.) // Monthly Not. Roy. Astron. Soc. 1986, **219**, 13.
- [17] Уитфилд (Whitfield G.R.) // Monthly Not. Roy. Astron. Soc. 1960, **120**, 581.
- [18] Уильямс (Williams P.J.S., Kenderdine S., Baldwin J.E.) // Mem. Roy. Astron. Soc. 1966, **70**, 53.
- [19] Фесен и др. (Fesen R.A., Becker R.H., Goodrich R.W.) // Astrophys. J. (Letters). 1988, **329**, L.89.
- [20] Шкловский И.С. // Астрон. журн., 1960, **37**, 256.
- [21] Шкловский И.С. Сверхновые звезды. 1976. М.: Наука. 440с.
- [22] Шкловский И.С. // Письма в Астрон. журн. 1976, **2**, 244.
- [23] Эджи и Смит (Adgie R., Smith F.G.) // Observatory, 1956, **76**, 181.
- [24] Эрикссон и Перли (Erickson W.C., Perley R.A.) // Astrophys. J. (Letters), 1975, **200**, L83.
- [25] Эшворт (Ashworth W.B.) // J. Hist. Astron. 1980, **11**, 1.

*Д.В. Бисикало, А.А. Боярчук (ИНАСАН),
О.А. Кузнецов, В.М. Чечеткин (ИПМ)*

Перенос вещества в симбиотических звездах. Газодинамический подход.

Аннотация

Представлены результаты численного исследования процесса перетекания вещества в симбиотических звездах в рамках двумерной неадиабатической газовой динамики. Показано, что для двойных систем, в которых обмен веществом осуществляется посредством звездного ветра, структура течения определяется как потоком вещества из окрестности внутренней точки Лагранжа, так и потоком, связанным с орбитальным движением аккретора через газ звездного ветра. Показано, что для случая слабого ветра (скорость ветра меньше или сравнима с орбитальной скоростью аккретора) в системе формируются две отошедших ударных волны, одна из которых расположена между компонентами системы, а другая — перед аккретором на пути его орбитального движения.

Движение вещества в области вблизи аккретора происходит по закручивающейся спирали вплоть до границы формирующегося аккреционного диска. Как показали расчеты, газодинамические возмущения наружного края диска потоком вещества приводят к возникновению в диске отстающих спиральных ударных волн, распространяющихся по направлению к аккретору. В диске также отмечалось формирование лидирующих ударных волн, образующихся в области вблизи аккретора и распространяющихся наружу. Наличие спиральных ударных волн в диске приводит к потере углового момента веществом диска и, как следствие, к увеличению скорости аккреции газа.

Введение

Симбиотические звезды принадлежат к классу взаимодействующих двойных систем, в которых теряющая массу звезда не заполняет свою полость Роша и массообмен осуществляется посредством звездного ветра. Наличие слабого звездного ветра, скорость которого сравнима с орбитальной скоростью аккретора, приводит к возникновению сложной картины ударных волн и, как следствие, существенно меняет структуру течения в общей оболочке системы [?, ?].

Для численного моделирования процесса массообмена мы использовали двумерную газодинамическую модель, подробное описание которой приведено в работах [?, ?]. Для адекватного описания течения в уравнения энергии были включены неадиабатические процессы — радиационный нагрев и охлаждение газа. Соответствующие функции нагрева и охлаждения определялись стандартным способом (см., напр.,

[?]) в предположении полной ионизации вещества в системе. Данное предположение является корректным для типичных параметров симбиотических звезд, когда температура горячей звезды (аккретора) составляет $\sim 150000\text{ K}$ и темп потери массы донором не превышает $\dot{M} < \sim 10^{-7} M_{\odot}/\text{год}$ [?].

Характерные для симбиотических звезд параметры системы были взяты из работы [?]: масса, радиус и температура донора $4 M_{\odot}$, $190 R_{\odot}$, и 6000 K , соответственно; масса, радиус и температура аккретора $1 M_{\odot}$, $0.1 R_{\odot}$, и 150000 K ; орбитальный период системы $P = 720$ дней; расстояние между компонентами $A = 575 R_{\odot}$; скорость потери массы донором $10^{-7} M_{\odot}/\text{год}$; $V_{\text{ветра}} \sim 30\text{ км/с}$.

Общая картина течения вещества

Общие представления о картине течения вещества в рассматриваемой двойной системе могут быть получены из рис. 1, на котором представлены рассчитанные в рамках двумерной газодинамической модели поля давления и скорости.

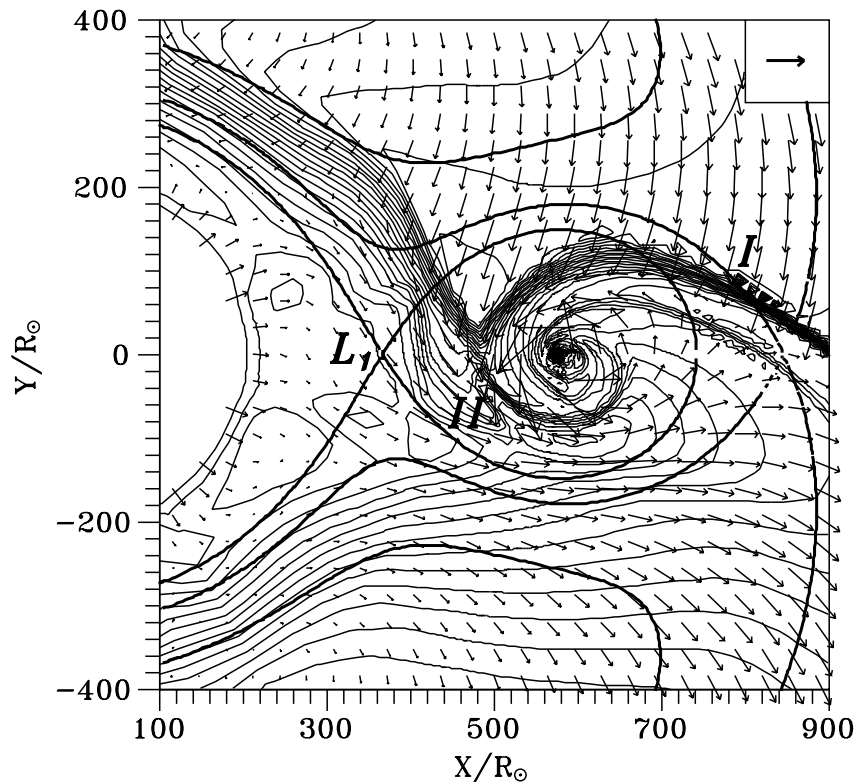


Рис. 1. Изолинии давления и вектора скорости в двойной системе. Отошедшие ударные волны отмечены римскими цифрами *I* и *II*. Стрелка в правом верхнем углу соответствует значению скорости 50 км/с .

Все данные представлены в системе координат, вращающейся против часовой стрелки с угловой скоростью $\Omega = 2\pi/P$. Начало координат расположено в центре звезды-донора, ось X направлена от звезды-донора к аккретору.

Анализ представленных результатов позволяет выявить следующие крупномасштабные особенности течения вещества в симбиотических звездах:

- Наряду с потоком вещества, связанным с истечением через внутреннюю точку Лагранжа L_1 , в системе существует значительный поток, обусловленный орбитальным движением аккретора в газе звездного ветра.
- Взаимодействие этих потоков между собой, а также с веществом, вовлеченным в движение вокруг аккретора, приводит к формированию двух отошедших ударных волн, одна из которых расположена на пути орбитального движения аккретора (волна I), а другая в области между компонентами системы (волна II).
- Движение вещества вблизи аккретора имеет ярко выраженный спиралеобразный характер, причем в непосредственной близости от аккретора формируется устойчивый аккреционный диск. Контуры этой закручивающейся спирали отчетливо видны на рис. 2, где представлены изолинии плотности и вектора скорости в области с размерами $150 \times 150 R_\odot$ вблизи аккретора.

Основным результатом газодинамического моделирования картины течения вещества являются рассчитанные поля плотности, скорости и температуры в исследуемых симбиотических звездах. На основе этих данных, используя самосогласованный характер модели, можно построить теоретические профили эмиссионных линий, образующихся в общей оболочке системы. Получаемые профили имеют детали, отражающие характерные особенности течения [?], и, следовательно, могут использоваться при интерпретации наблюдательных данных.

Структура аккреционного диска

Численное моделирование течения вещества в двойных системах выявило возможность образования в аккреционных дисках спиральных ударных волн [?, ?, ?, ?]. Исследование этих образований чрезвычайно важно, поскольку спиральные волны приводят к потере углового момента веществом диска даже в отсутствии физической вязкости.

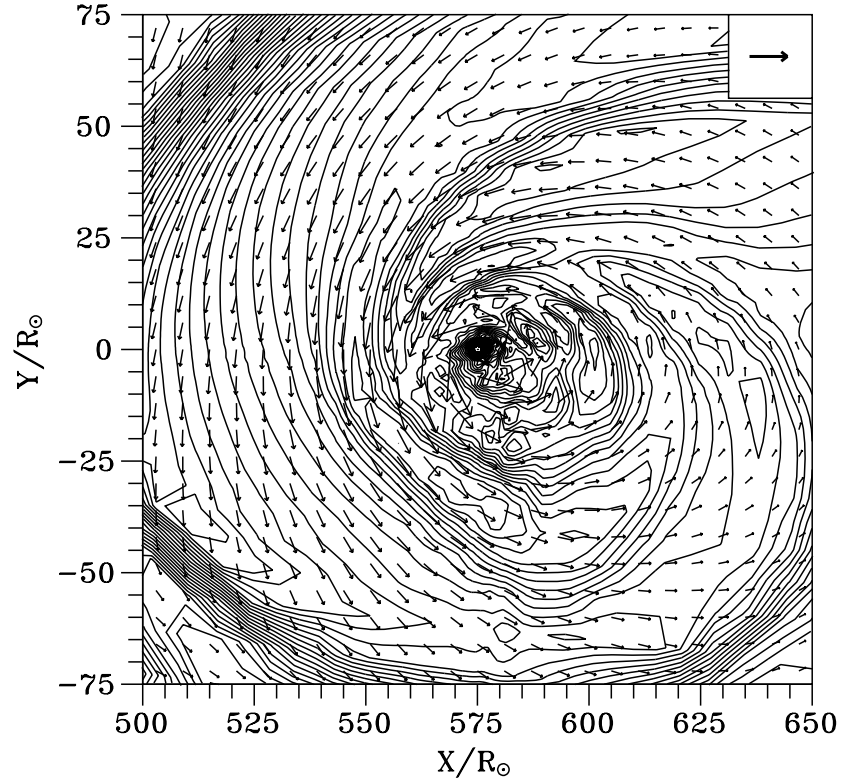


Рис. 2. Изолинии плотности и вектора скорости в области вблизи аккректора. Стрелка в правом верхнем углу соответствует значению скорости 150 км/с.

Результаты двумерных газодинамических расчетов, проведенных авторами данной работы для двойных систем с массопереносом, обусловленным звездным ветром, показали, что и в рассматриваемом случае возможны формирование аккреционного диска и генерация структуры спиральных ударных волн в случае малых скоростей ветра [?, ?, ?]. Для симбиотических звезд предположение о малости скорости звездного ветра справедливо в абсолютном большинстве случаев, поэтому следует ожидать, что наличие спиральных ударных волн в дисках симбиотических двойных является типичным.

Как было показано в предыдущем параграфе, аккрецирующее вещество в симбиотических двойных движется по закручивающейся спирали. Особенности данного течения в непосредственной близости от компактного компонента системы представлены на рис. 3, где изображены изолинии плотности и вектора скорости в области $50 \times 50 R_\odot$. Как видно из рис. 3, спиралеобразный характер движения вещества сохраняется вплоть до области взаимодействия натекающего газа с наружным краем аккреционного диска. Из анализа результатов, представленных на рис. 3, видно, что образовавшийся в системе диск имеет квази-эллипсоидальную форму с линейными размерами $17.5 \times 15.5 R_\odot$. Места

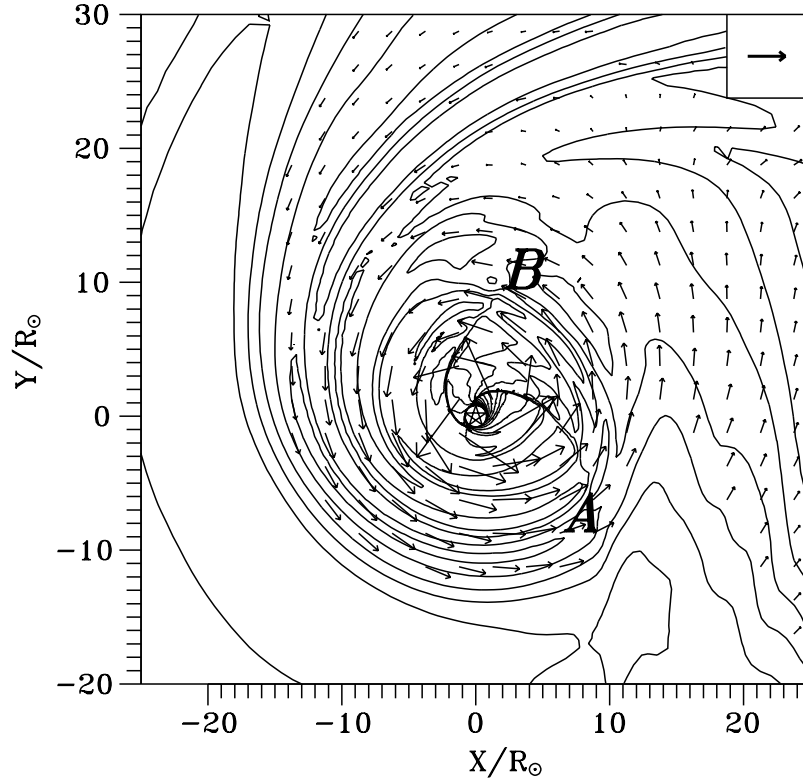


Рис. 3. Изолинии плотности и вектора скорости в непосредственной близости от аккретора. Области взаимодействия натекающего потока вещества с наружным краем диска обозначены литерами *A* и *B*. Стрелка в правом верхнем углу соответствует значению скорости 200 км/с.

взаимодействия плотных границ спирали с диском обозначены на рис. 3 литерами *A* и *B*.

Анализ полученных результатов численного моделирования свидетельствует об образовании в диске структуры спиральных ударных волн. В областях взаимодействия набегающего потока газа с диском (области *A* и *B* на рис. 3) возникает сильное газодинамическое возмущение наружного края диска. Как следует из линейного анализа данного явления [?], из всего возникающего в зонах *A* и *B* спектра колебаний развиваются только те из них, которые удовлетворяют граничным условиям, а все остальные подавляются. В рассматриваемом случае, когда предполагается, что во вращающейся системе координат скорость газа на поверхности компактного объекта равна нулю, доминантными являются волны с нулевой угловой скоростью ($\omega = 0$, где ω — собственное значение частоты возмущения) и групповой скоростью, направленной к аккретору. В областях диска, где скорость газа превосходит локальное значение скорости звука, эти волны трансформируются в ударные. Отличительной особенностью волн с $\omega = 0$ является их отрицательная

энергия, что может приводить к увеличению амплитуды волны в случае наличия диссипативных процессов в диске. В рассматриваемом случае симбиотических двойных колебания, возникающие в местах возмущения наружного края диска набегающим потоком газа (области *A* и *B* на рис. 3), трансформируются в отстающие спиральные волны с групповой скоростью, направленной к аккретору, и с нулевой угловой скоростью (ударные волны *I* и *II* на рис. 4).

Во внутренних областях исследуемого аккреционного диска, где существует излом угловой скорости вращения, также возможно возникновение колебаний отрицательной энергии, которые в случае наличия диссипативных процессов могут трансформироваться в ударные волны [?]. Эти волны зарождаются вблизи области коротации и характеризуются угловой скоростью $\omega = 0$. В силу направленности групповой скорости от внутренних областей к краю диска данные волны имеют вид лидирующих спиралей, причем, как следует из линейного анализа [?], их интенсивность должна быть мала. В численных расчетах наблюдалось формирование волны подобного типа (спиральная волна *III* на рис. 4).

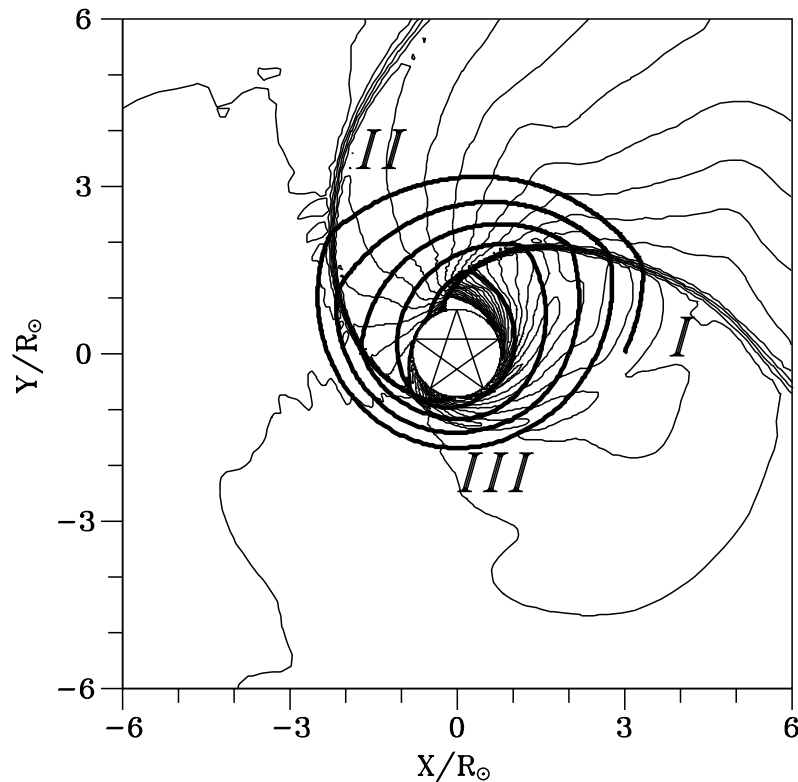


Рис. 4. Изолинии давления в аккреционном диске. Спиральные ударные волны отмечены римскими цифрами *I*, *II* и *III*. Сплошной кривой отмечена одна из линий тока вещества в диске.

Изменение углового момента вещества в аккреционном диске наилучшим образом можно рассмотреть при анализе линий тока. На рис. 4 представлена линия тока вещества, выходящая из произвольно выбранной точки диска с координатами $(3R_{\odot}, 0)$. Изменение углового момента вещества вдоль этой линии тока показано на рис. 5.

Из анализа этой кривой видно, что наличие спиральных ударных волн в диске приводит к существенному изменению углового момента рассматриваемого элемента массы.

Представленная картина ударных волн в диске получена в рамках двумерной газодинамики. Данное приближение справедливо только в случае тонких дисков, и, следовательно, для оценки достоверности полученных результатов необходимо исследовать толщину формирующегося в симбиотических звездах диска. На верхней части рис. 6 показана удельная толщина (определяемая как отношение толщины диска H в данной точке к ее расстоянию R до аккретора), полученная в предположении газодинамического равновесия по оси Z . Для удобства анализа в нижней части рис. 6 показаны изолинии давления в диске, иллюстрирующие положение спиральных ударных волн. Из рис. 6 видно, что удельные толщины и диска, и струи набегающего на диск газа невелики, хотя в областях существования спиральных ударных волн толщина существенно возрастает. Анализ представленных на рис. 6 результатов показывает, что использование трехмерного приближения несомненно является предпочтительным, хотя и двумерный подход позволяет на качественном уровне выявить основные особенности картины течения в симбиотических звездах.

Заключение

Результаты численного моделирования, полученные в рамках двумерной неадиабатической газодинамической модели, показывают, что для симбиотических звезд, в которых перенос вещества определяется слабым ветром (скорость ветра меньше орбитальной скорости компонент системы), картина течения в значительной степени определяется по-

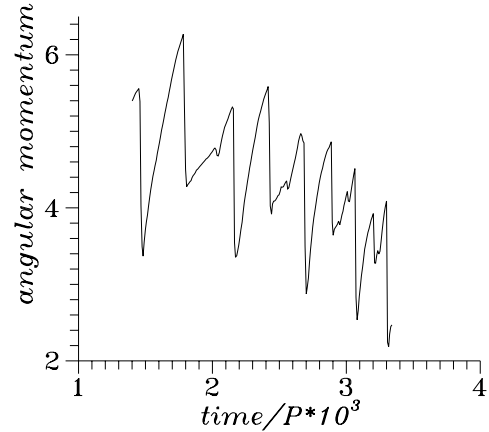


Рис. 5. Изменение углового момента вдоль линии тока, изображенной сплошной кривой на рис. 4. Угловой момент представлен в единицах $10^{18} \text{ см}^2/\text{с}$.

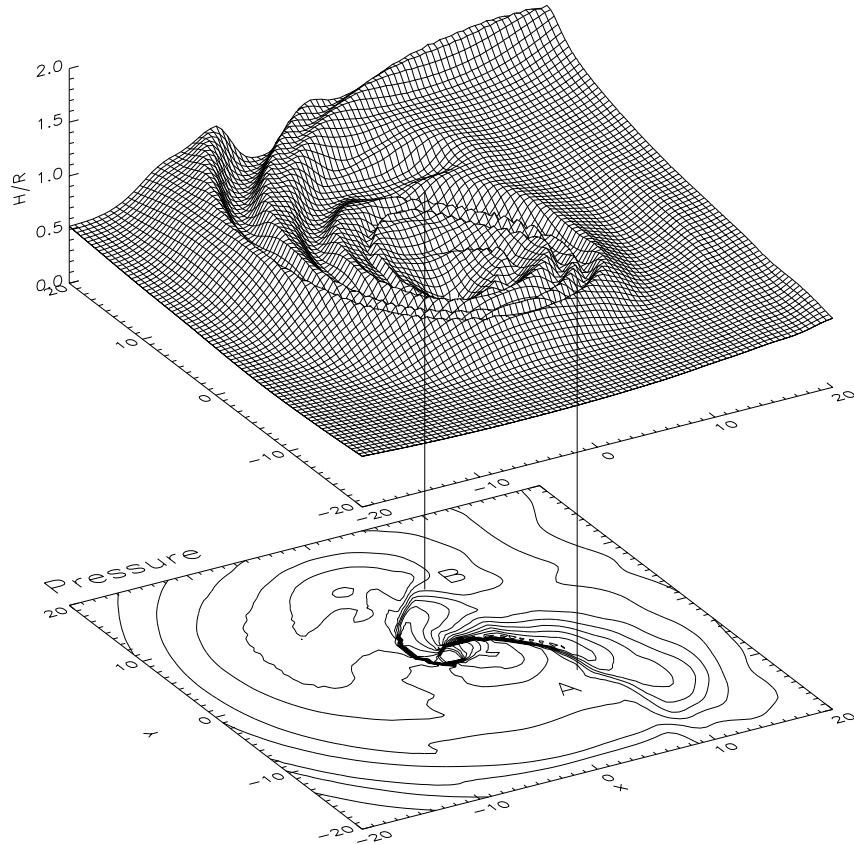


Рис. 6. Трехмерное изображение удельной толщины диска (верхняя часть рисунка) и изолиний давления (нижняя часть). Зоны возмущения наружного края диска помечены литерами *A* и *B*. Значения координат X и Y выражены в единицах R_{\odot} .

током вещества, вызванным орбитальным движением аккректора в газе звездного ветра. Наличие этого потока приводит к формированию в системе двух отошедших ударных волн вместо типичной для случая сильного ветра конической ударной волны.

Сложное взаимодействие газовых потоков в двойной системе приводит к спиралеобразному характеру движения вещества вблизи аккректора и к формированию устойчивого аккреционного диска. Газодинамическое взаимодействие набегающего потока газа с наружным краем аккреционного диска является причиной возникновения в диске сложной структуры из спиральных ударных волн. Наличие спиральных волн существенно меняет угловой момент вещества диска.

Настоящая работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 96-02-16140).

Литература

- [1] Бисикало, Д.В., Боярчук, А.А., Кузнецов, О.А., Попов, Ю.П., Четкин, В.М. // *Астрономический журнал*, 1994, **71**, 560.
- [2] Бисикало, Д.В., Боярчук, А.А., Кузнецов, О.А., Попов, Ю.П., Четкин, В.М. // *Астрономический журнал*, 1995а, **72**, 190.
- [3] Бисикало, Д.В., Боярчук, А.А., Кузнецов, О.А., Попов, Ю.П., Четкин, В.М. // *Астрономический журнал*, 1995б, **72**, 367.
- [4] Бисикало, Д.В., Боярчук, А.А., Кузнецов, О.А., Четкин, В.М. // *Астрономический журнал*, 1996 а, **73**, 717.
- [5] Бисикало, Д.В., Боярчук, А.А., Кузнецов, О.А., Четкин, В.М. // *Астрономический журнал*, 1996 б, **73**, 727.
- [6] Boyarchuk, A.A. / Symbiotic Stars, *Sov. Sci. Rev. E Astrophys. Space Phys.*, 1984, **3**, 123.
- [7] Chakrabarti, S.K. and Matsuda, T. // *Astrophys. J.*, 1992, **390**, 639.
- [8] Matsuda, T., Inoue, M., Sawada, K., Shima, E., Wakamatsu, K. // *MNRAS*, 1987, **229**, 295.
- [9] Nussbaumer, H. and Vogel, M. // *Astron. and Astrophys.*, 1987, **182**, 51.
- [10] Sawada, K., Matsuda, T. and Hachisu, I. // *MNRAS*, 1986, **219**, 75.
- [11] Spitzer, L. *Physical Processes in the Interstellar Medium*. 1978, Wiley & Sons Publ., New-York.
- [12] Spruit, H.C. // *Astron. and Astrophys.*, 1987, **184**, 173.
- [13] Тимофеев, А.В. / *Резонансные эффекты в осцилляциях неоднородных потоков*, в “Проблемы теории плазмы”, ред. Б.Б.Кадомцев, Энергоатомиздат, Москва, 1988, **17**, 157.

В.П. Долгачев, А.Д. Чернин (ГАИШ МГУ)

Скрытые массы в широких тройных системах галактик

Аннотация

Строятся численные модели динамики широких тройных систем галактик и делается оценка скрытых масс в этих системах.

Введение

Группу галактик называют широкой, если характерное время пересечения для нее не меньше хаббловского времени H^{-1} , которое в свою очередь сравнимо с возрастом системы и возрастом мира. Ансамбли широких тройных систем — в отличие от компактных систем с малым временем пересечения — далеки от квазистационарного равновесия, при котором могло бы реализоваться статистически “вириализованное” состояние с более или менее постоянными и универсальными соотношениями между общими физическими характеристиками ансамблей. Поэтому к широким группам не применимы обычно используемые методы оценки масс, предполагающие квазистационарное состояние ансамблей систем.

В этом случае требуются другие методы, учитывающие нестационарное состояние ансамблей широких систем. Такие методы могут быть разработаны на основе динамических моделей широких триплетов галактик.

Широкие триплеты галактик

В каталоге широких триплетов галактик [1] содержится 108 объектов (из них 50 — триплеты Южного неба). По критерию Аносовой вероятно физическими могут считаться 38 из них. Для последних медианы среднегармонических расстояний и среднеквадратичных скоростей таковы: $r = 740h^{-1}$ кпк, где $h = H/(100 \text{ км/с/Мпк})$, $v = 84 \text{ км/с}$. Характерные размеры для ансамбля вероятно физических широких триплетов оказываются на порядок величины больше, чем у вероятно физических компактных триплетов, тогда как характерные скорости в обоих случаях близки друг к другу. Безразмерное время пересечения превышает единицу: $\tau = 2rh/v = 1.8$.

Можно построить и распределение так называемой вириальной массы для широких триплетов, под которой понимается условная характеристика системы, имеющая размерность массы и вычисляемая по фор-

муле $M_{vir} = \alpha \frac{v^2 r}{G}$, где G — гравитационная постоянная, α — безразмерный параметр.

Медианное значение вириальной массы для широких триплетов $M_{vir} = 7 \times 10^{11} h^{-1} M_{\odot}$; здесь принято “стандартное” значение $\alpha = 9\pi/2$, которое обычно и используют при вириальных оценках масс. Ниже мы увидим, что такая оценка существенно занижает массу типичного широкого триплета.

Численное моделирование

С точки зрения компьютерной физики широкие триплеты галактик выгодно отличаются от компактных триплетов и групп галактик в том отношении, что расстояния между галактиками гораздо больше их размеров (даже считая с возможными коронами), и потому хорошо работает приближение задачи N тел. В наших моделях используется простейший вариант задачи трех тел — задача точечных тел равных масс с нулевыми начальными скоростями. Ряд моделей прослеживает эволюцию широких триплетов на протяжении 30-40 млрд. лет, что существенно превышает их реальный возраст; эти модели описывают как прошлое и настоящее триплетов, так и их будущую эволюцию.

В ходе интегрирования вычислялись кинетическая T и потенциальная U энергии тройной системы. В типичном случае отношение U/T (рис. 1) монотонно уменьшается от формально бесконечной величины до некоторого минимального значения, слабо зависящего, как выясняется, от начальных условий. После этого наблюдается осциллирующее поведение отношения энергий, причем на больших временах осцилляции происходят чаще всего вокруг “вириального” значения $U/T = 2$ или близких к нему значений. Поэтому можно говорить о вириализации наборов таких тройных систем на больших временах как о ведущей тенденции их эволюции.

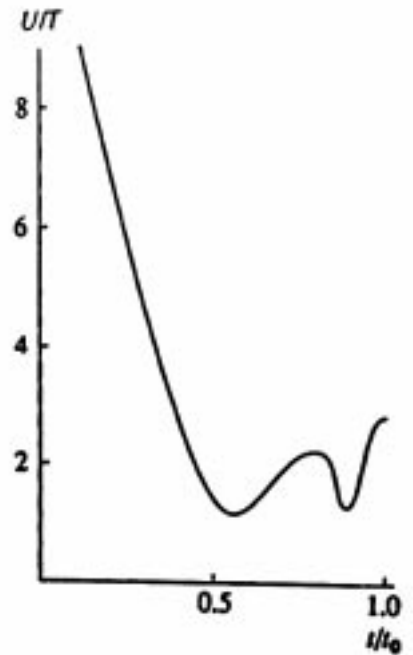


Рис. 1. Типичная зависимость от времени отношения энергий U/T для модельного широкого триплета.

Оценка масс

Основываясь на этих результатах, мы построили новый статистический эстематор массы тройных систем, который содержит, как и в “стандартном” случае, вычисленное по наблюдательным данным (для нас это каталог [1]) медианное значение произведения $v^2 r$, но параметр α является теперь функцией времени: $\alpha(t) = 9\pi/4U/T$ и лишь на больших временах выходит на постоянное значение $9\pi/2$. Зная, как ведет себя отношение энергий (рис. 1), можно для вероятного возраста триплетов, 10-20 млрд. лет, найти (в некотором разумном приближении) их типичную массу: $M \approx (3 - 1.5)(30 - t_{10}) \times 10^{12} h^{-1} M_{\odot}$, где $t_{10} = t/(10 \text{ млрд. лет})$.

Как мы видим, масса типичного широкого триплета примерно в 5-7 раз превышает массу светящегося вещества, оцениваемую для этих систем из отношения масса-светимость. Это и есть количественная мера присутствия скрытых масс в этих системах.

Литература

1. Трофимов А.В., Чернин А.Д. // Астрон.журн., 1995, **72**, 308.

*В.Т. Дорошенко (ГАИШ МГУ), К.К. Чуваев, С.Г. Сергеев,
В.И. Проник, Ю.Ф. Мальков (КрАО)*

Фотометрия и спектрофотометрия сейфертовской галактики Mkn 509 за 23 года

Аннотация

Сейфертовская галактика Mkn 509 в 1972-1994 гг. показала большую переменность потока в оптическом континууме и в широких эмиссионных линиях, которые не сопровождались сколько-нибудь значительными изменениями контура водородных линий. Контуры водородных линий H_β и H_γ подобны. Взаимосвязь между изменениями потока в континууме и в широких эмиссионных линиях переменна во времени. Распределение энергии в спектре переменного континуума имеет вид $\lg F(\nu) \approx -\alpha \cdot \lg \nu$, где $\alpha = -0.60$ после учета межзвездного поглощения.

Фотометрия

Фотометрическое исследование Mkn 509 выполнено на основе UBV наблюдений в Крымской лаборатории ГАИШ в 1987-1994 гг. и данных, взятых из литературы. Наблюдения в Крыму проводились на 60-см телескопе Крымской лаборатории ГАИШ с UBV-фотометром, в основном с диафрагмой диаметром $A = 27.''5$. Ошибки измерений, определяемые по разбросу накопленных импульсов за 10-сек экспозиции, составляют: $\sigma_U = 0^m.045$, $\sigma_B = 0^m.03$, $\sigma_V = 0^m.03$. Анализ UBV-кривой блеска, построенной по нашим наблюдениям и собранным из литературы данным, показал, что изменения блеска имеют сложный частотный характер: в пределах месяца они хаотичны, на более длительных интервалах (годы) колебания блеска плавные и большей амплитуды. Изменения на больших интервалах максимальны в полосе U ($\Delta U \approx 0^m.95$), а минимальны в полосе V ($\Delta V \approx 0^m.45$). Дисперсия звездных величин внутри ночи и от ночи к ночи ($s_U = 0^m.10$, $s_B = 0^m.08$, $s_V = 0^m.07$ при $\Delta T = 1^d$) более, чем в два раза, превышает ошибки измерений, что можно интерпретировать как присутствие переменности и на интервалах порядка суток. На рис. 1а треугольниками показана кривая блеска в полосе В, и видно, что дважды в полосе В за время с 1973 по 1995 гг. наблюдались глубокие ослабления блеска: в 1974-1975 гг. падение блеска составило $\approx 1^m.0$ за 14 месяцев [1], а в 1989 г. $\approx 0^m.7$ за 40 суток [2]. Показатели цвета в двух глубоких минимумах оказались похожими.

Наблюдения в разных апертурах позволили определить показатели цвета галактики и поверхностную яркость в полосе V на расстоянии

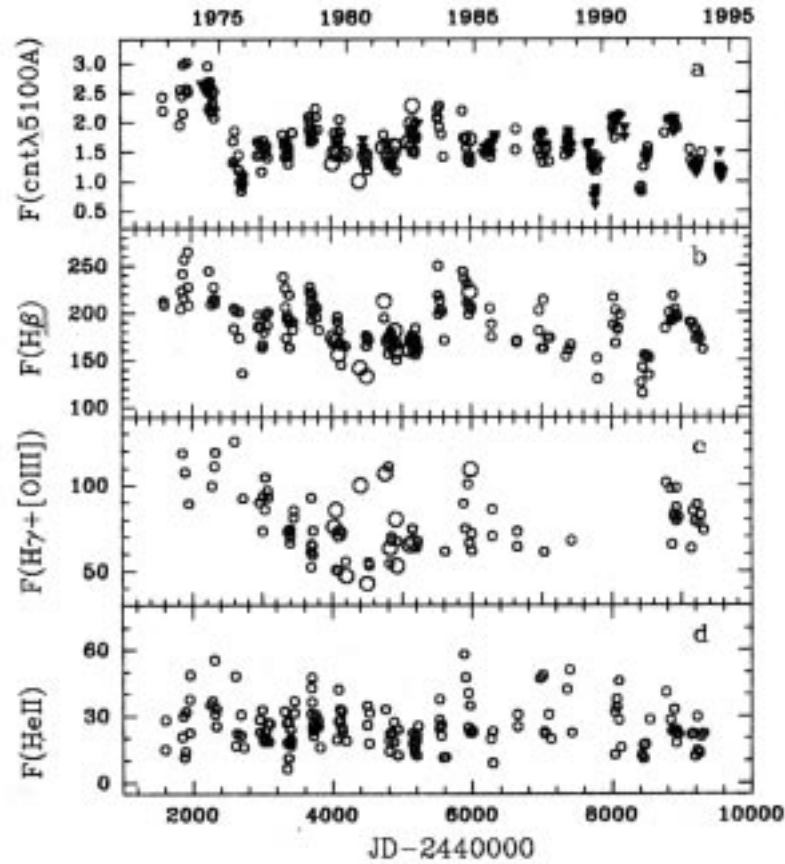


Рис. 1. **a)**. Световая кривая в континууме по спектрам — малые кружки; по В-величинам — треугольники; данные Розенблата и др. [3] показаны большими кружками. **b), c), d)**. Световые кривые в линиях H_β , $H_\gamma + [\text{OIII}] \lambda 4363$ и $\text{HeII} \lambda 4686$ соответственно.

10–11'' от ядра: $\mu(V) = 22.66 \pm 0.05$, $(U - B) = -0.18 \pm 0.40$, $(B - V) = 0.66 \pm 0.05$, $(V - R) = 0.66 \pm 0.05$ и $(V - I) = 0.84 \pm 0.05$. Эти показатели цвета больше характерны для галактик типа Sbc или Sc. Однако на прямых фотографиях Mkn 509 спиралей не видно, и по виду она скорее напоминает галактику SO с балджем.

Показатели цвета переменного ядерного компонента, полученные методом Холоневского на основе наблюдений в $A = 27''.5$, равны: $(U - B) = -1.04 \pm 0.02$, $(B - V) = 0.06 \pm 0.02$, $(V - R) = 0.31 \pm 0.04$, $(V - I) = 0.50 \pm 0.05$. Распределение энергии в спектре переменного компонента при таких показателях цвета хорошо аппроксимируется функцией $\lg F(\nu) \approx -\alpha \cdot \lg \nu$, где $\alpha = -0.43$ без учета межзвездного поглощения и -0.60 — после его учета.

Спектрофотометрия

Спектры ядра SyG Mkn 509 были получены Чуваевым К.К. в течение 1972-91 гг. на 2.6-м телескопе КрАО с ЭОПом в качестве приемника

излучения. Спектры 1992-93 гг. были получены на том же телескопе Сергеевым С.Г., Проником В.И., Мальковым Ю.Ф. и Чуваевым К.К. с CCD-матрицей. Спектральное разрешение было в среднем 8 Å. Наблюдения проводились, если позволяли условия видимости объекта в Крыму и погодные условия, с частотой 1-2 раза в месяц практически ежегодно. За 156 дат наблюдений с 1972 по 1993 гг. было получено 254 спектра ядра Мкп 509 в области линии H_β . По среднему спектру были выбраны участки континуума и зоны интегрирования для вычисления потоков в эмиссионных линиях $\lambda\lambda$ 4250-4280, 4415-4445, 4575-4605, 4745-4780, 5095-5115, 5230-5260 и 5355-5375 Å для континуума и $\lambda\lambda$ 4285-4405, 4610-4743, 4780-4938, 4938-4977 и 4977-5036 Å соответственно для линий H_γ + $[\text{OIII}]$ λ 4363, HeII, H_β , $[\text{OIII}]$ λ 4959 и $[\text{OIII}]$ λ 5007. Длины волн указаны в системе покоя галактики. Континуум аппроксимировался полиномом низкой степени, проходящим через указанные зоны. Для калибровки спектров мы использовали линию $[\text{OIII}]$ λ 5007, считая, что поток в этой линии не меняется за время наблюдений.

Типичные значения относительных ошибок потоков в линиях и континууме, найденные по нескольким десяткам ночей, приводятся в первой строке табл. 1. Ошибки CCD-данных меньше тех, что указаны в табл. 1. Они составляют $\approx 2.5\%$ в континууме и 4% в линии H_β .

Привязка CCD-спектров к стандартной звезде ε Aqr позволила оценить поток в линии $[\text{OIII}]$ λ 5007 в абсолютных единицах. Средний по 15-ти датам поток равен $6.7 \cdot 10^{-13}$ эрг/см²·с, что согласуется с оценкой, взятой из литературы [3]. Далее поток в линии $[\text{OIII}]$ λ 5007 принимается за 100 условных единиц.

По запаздыванию световой кривой в линиях относительно световой кривой в континууме можно судить о размере BLR. Сама величина запаздывания (τ_{CCF}) определяется из наблюдений по пику или по положению центра масс кросс-корреляционной функции между световыми кривыми. Полуширина автокорреляционной функции световых кривых определяет характерный размер областей когерентных вариаций (τ_{ACF}).

Таблица 1. Характеристики переменности

| линия/конт. | H_β | HeII λ 4686 | H_γ + $[\text{OIII}]$ λ 4363 | $\text{c}\lambda\lambda$ 4745 –4780 | $\text{c}\lambda\lambda$ 5095 –5115 |
|-------------------------|-----------|------------------------|--|--|--|
| err % | 6.8 | 18.9 | 18.4 | 7.0 | 7.2 |
| число ночей | 74 | 74 | 40 | 74 | 74 |
| ср. поток | 187.6 | 25.7 | 78.6 | 1.94 | 1.71 |
| std % | 14 | 38 | 22 | 23 | 23 |
| F var % | 12 | 33 | 12 | 21.5 | 22 |
| $R = F_{\max}/F_{\min}$ | 2.3 | 9 | 2.5 | 3.4 | 3.7 |

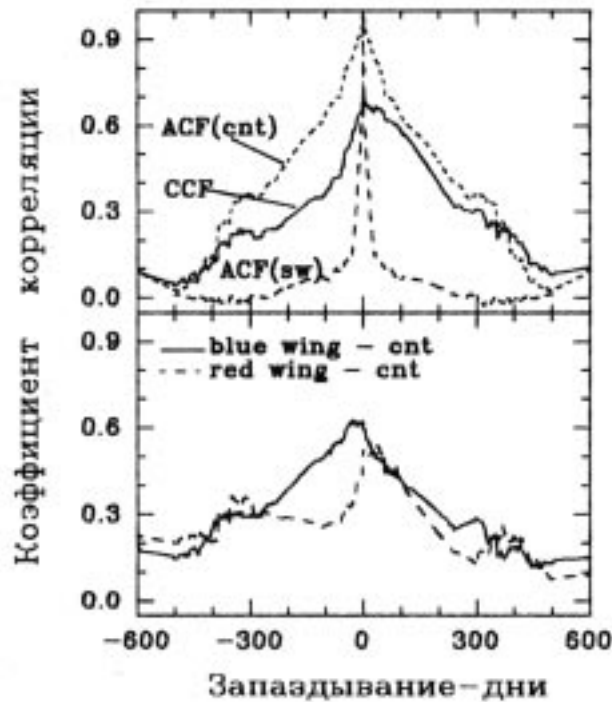


Рис. 2. **а).** Автокорреляционная функция окна выборки — $ACF(sw)$ и континуума — $ACF(cnt)$ только по спектральным данным, а также кросс-корреляционная функция между световой кривой в континууме и в линии H_β . **б).** Кросс-корреляция с континуумом для голубого и красного крыльев линии H_β .

Обычно полуширины ACF и CCF световых кривых в линии и континууме на нулевом уровне корреляции устанавливают верхний предел, а положение пика CCF — нижний предел на размер BLR. На рис. 2 представлены автокорреляционные и кросс-корреляционные функции потока в линии H_β с континуумом. Средневзвешенное значение времени запаздывания по пику CCF (как по полному потоку в линии H_β , так и по потокам в отдельных ее частях) получилось равным 25 ± 11 суток, что соответствует внутреннему радиусу BLR; по положению центра масс запаздывание равно 52 ± 11 суток и соответствует взвешенному по светимости радиусу BLR. Полуширина ACF составляет около 500 св. дней. Это можно интерпретировать как внешний размер BLR. Отсюда следует, что толщина BLR значительная — ($r_{\text{внеш.}}/r_{\text{внутр.}} \approx 20$).

CCF -анализ, выполненный по 4 временным группам (1972-1976, 1977-1983, 1984-1991 и 1992-1993 гг.), выявил разное в пределах ошибок время запаздывания. Статистический анализ линий регрессии между вариациями потока в континууме и в линиях для указанных групп (рис. 3) показал, что линии регрессии групп 1 и 4 по тем или иным критериям отличаются от линий регрессии групп 2 и 3 на высоком уровне значимости.

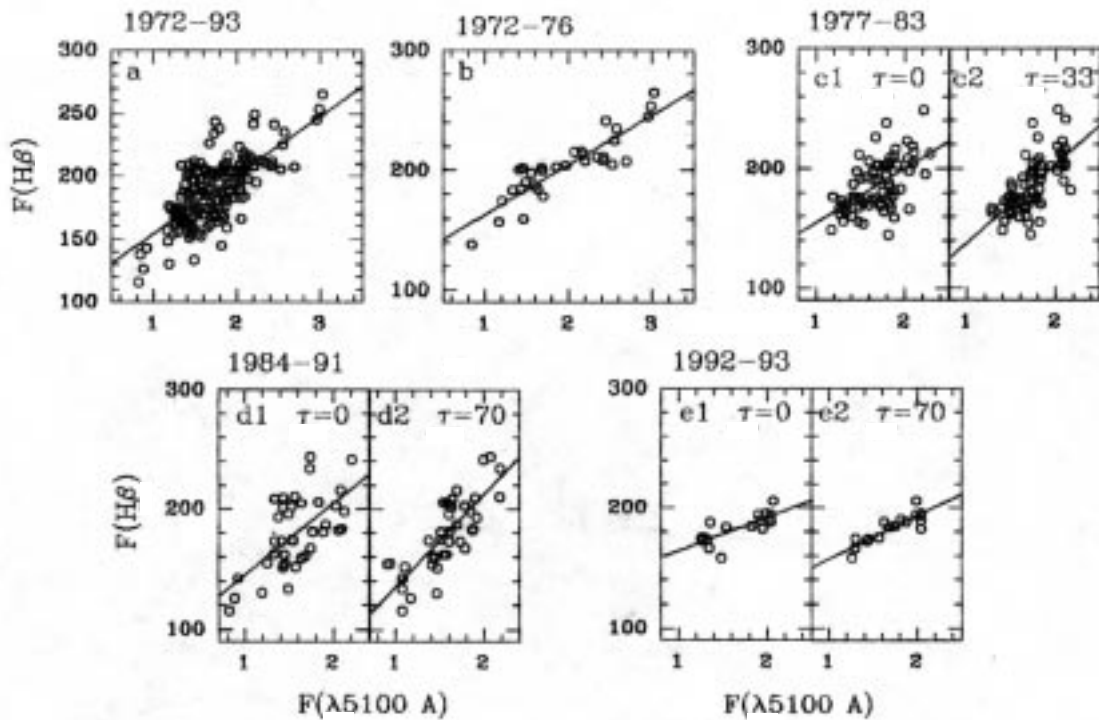


Рис. 3. Сопоставление (в разных временных интервалах) потоков в линии H_β и в континууме на $\lambda 5100 \text{ \AA}$ без учета запаздывания: $\tau = 0$ — а), b), c1), d1), e1) и с учетом возможного запаздывания: c2) $\tau = 33$, d2) $\tau = 70$ и e2) $\tau = 70$ суток.

Таким образом, и кросс-корреляционный, и регрессионный анализ свидетельствуют о том, что взаимосвязь между изменениями в континууме и в линии H_β переменна во времени, а значит, либо переменна передаточная функция в связке “центральный источник-BLR”, либо оптический континуум неоднозначно отражает изменения ионизиющего излучения.

Несмотря на значительные изменения полного потока в линии H_β , контур линии не претерпел больших изменений. И хотя кросс-корреляция потоков в голубом и красном крыльях H_β с континуумом свидетельствует в пользу радиального истечения газа наружу (рис. 2), отсутствие существенных изменений профиля указывает на то, что радиальные движения не являются доминирующими.

Если контур линии представить состоящим только из переменной и постоянной частей, то в этом случае постоянную часть можно выделить путем экстраполяции потока в линии в каждом небольшом спектральном участке (бине) на нулевое значение потока в континууме. Этот компонент составляет 57% от средней величины потока в H_β , и, как показано на рис. 4, он слегка асимметричен относительно стандартной длины волны. Максимум переменной части контура, меняющегося коррелированно с континуумом, слегка смещен в коротковолновую сторону от-

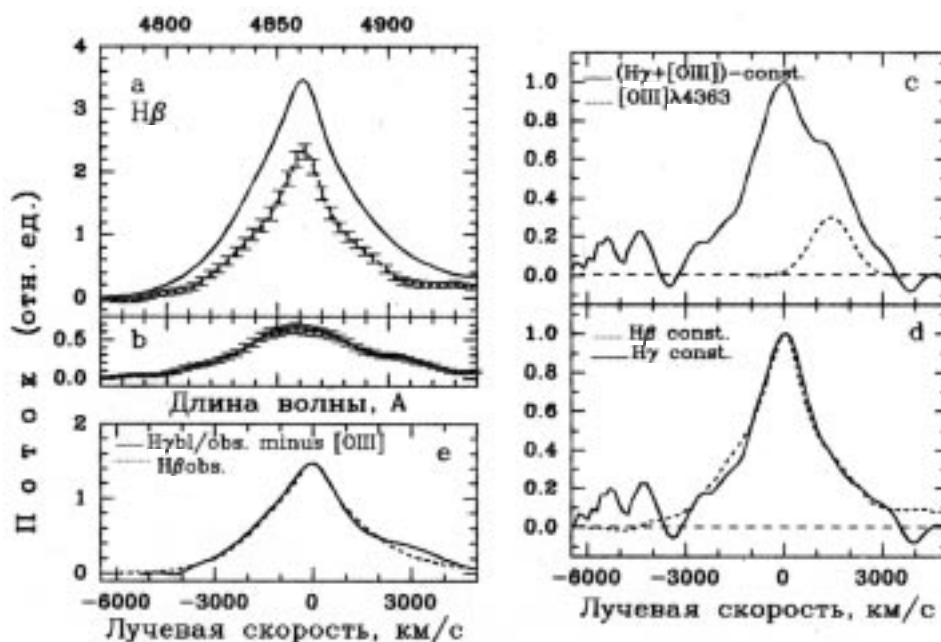


Рис. 4. Контуры водородных линий. а). Сплошная линия — наблюдаемый контур H_β , усредненный по всем датам; постоянная часть контура — штриховая линия. б). Переменная часть контура, вернее, прирост переменного компонента при увеличении потока в континууме вблизи $\lambda 5100 \text{ \AA}$ на единицу. в). Сплошная линия — постоянная часть бленды $H_\gamma + [\text{OIII}] \lambda 4363$, штриховая линия — контур $[\text{OIII}] \lambda 4363$. д). Сопоставление постоянных частей контуров H_β и H_γ — штриховая и сплошная линии соответственно. е). Сопоставление наблюдаемых контуров H_β и H_γ после вычета $[\text{OIII}] \lambda 4363$ — штриховая и сплошная линии соответственно.

носителем $\lambda 4861 \text{ \AA}$. Аналогичное разделение бленды $H_\gamma + [\text{OIII}] \lambda 4363$ на постоянную и переменную части и выделение линии $[\text{OIII}] \lambda 4363$ из постоянной части помогли сделать вывод, что контуры постоянной части линий H_β и H_γ , также как и средние контуры этих линий, похожи, что и представлено на рис. 4. Следовательно, профиль линий H_β и H_γ меняется подобно самому себе.

Линия $\text{HeII} \lambda 4686 \text{ \AA}$ показывает более сильную переменность, чем водородные линии. Это наглядно продемонстрировано на рис. 5. Кросс-корреляционный анализ показал, что изменения в линии HeII на 10 суток опережают изменения в H_β и на 10 ± 4 суток запаздывают по сравнению с континуумом. И хотя из-за слабости линии HeII эти оценки нельзя считать надежными, однако, они не противоречат сложившимся представлениям о том, что размер эффективно излучающей области в линии HeII меньше, чем в линиях водорода. Контур линии HeII отличается от контура H_β и, возможно, включает дополнительные линии из числа линий FeII .

Анализ отношения H_γ/H_β не исключает того, что бальмеровский декремент меняется со временем. Действительно, наблюдаемый диапазон

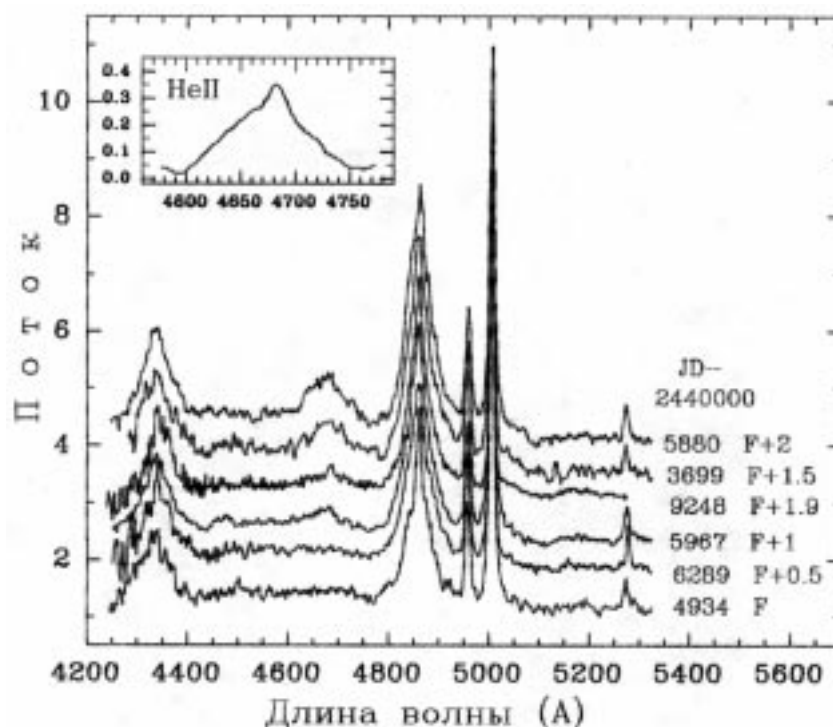


Рис. 5. Демонстрация изменения потока в линии HeII $\lambda 4686$. Справа указаны юлианская дата получения спектрограммы и величина смещения спектров по оси y .

изменений отношения составляет 0.22 — 0.67. При ошибке отношения, равной 20%, доверительный интервал для истинного значения H_γ/H_β при уровне надежности 95% равен (0.33 — 0.43). При 50% ошибке этот интервал станет (0.26 — 0.50) при том же уровне надежности. При этом за пределами доверительного интервала остается 13% измерений. Среднее значение отношения $H_\gamma/H_\beta \approx 0.38$, что соответствует его значению для облачной модели [4].

Основные выводы этой работы совпадают с тем, что докладывал Константин Константинович Чуваев на совещании рабочей группы “Активные ядра галактик” в октябре 1992 г.

Литература

1. Магницкая О.В., Саакян К.А. // *Астрофизика*. 1976, **12**, 431-435.
2. Takalo L. // *Astrophys. And Space Sci.*, 1993, **202**, 161-171.
3. Rosenblatt E.I., Malkan M.A., Sargent W.L., Readhead S.C. // *Ap.J. Suppl.*, 1992, **81**, 59-81.
4. Kwan J., Krolik J.H. // *Ap.J.*, 1981, **250**, 478-507.

В.П. Гринин (КрАО, АИ СПбГУ)
**Кометоподобная активность
в окрестности молодых звезд**

Аннотация

Приводится краткий обзор наблюдательных данных, свидетельствующих о существовании кометоподобной активности в окрестности молодых переменных звезд типа UX Ori.

Введение

По образному выражению И.С.Шкловского [1], кометы, астероиды, метеориты и другие малые тела Солнечной системы являются “строительным мусором”, оставшимся с момента ее образования. Обнаружение подобных тел вокруг других звезд могло бы рассматриваться как важное косвенное доказательство того, что планетные системы, аналогичные нашей, существуют, либо находятся в процессе “строительства”. Однако, вплоть до последнего времени решение такой задачи казалось невозможным ввиду чрезвычайной слабости этих объектов. Лишь недавно в этом направлении удалось сделать первые шаги, приведшие к обнаружению кометоподобной активности вокруг других звезд. Ниже дается краткий обзор работ, посвященных этому новому астрофизическому направлению.

Кометы в окрестности β Pictoris

В 1984 году американские астрономы Смит и Террил [2] с помощью специальной коронографической камеры обнаружили вокруг звезды β Pictoris (Sp=A5; D=16 пс) слабосветящийся протопланетный пылевой диск, наблюдаемый с ребра.¹⁷ Спустя несколько лет французские астрофизики Лагранж-Анри и др. [4], Ферлай и др. [5], изучая спектр этой звезды в окрестности резонансного дублета Ca II, обнаружили переменные, смещенные в красную сторону абсорбционные компоненты, образованные предположительно в газовой коме кометы, двигавшейся по направлению к звезде [6].

Дальнейшие исследования β Pic показали, что похожие абсорбционные детали появляются в ее спектре довольно часто, как в резонансных линиях CaII, так и в ультрафиолетовых линиях других металлов и их

¹⁷ Совсем недавно с помощью телескопа Хаббла протопланетные диски обнаружены еще у нескольких звезд [3]. Они имеют значительно меньшие угловые размеры, поскольку звезды находятся значительно дальше от Солнца, чем β Pic.

ионов; причем скорости падения газа достигают 200 км/с и более. Это означает, что кометное вещество может появляться в непосредственной близости от звезды. Кометы, двигающиеся по таким, сильно вытянутым орбитам, существуют и в нашей Солнечной системе. Они принадлежат малочисленному семейству Крейца и больше известны в англоязычной литературе под названием Sun-grazing comets — кометы, царапающие Солнце.

Результаты французской группы можно рассматривать как первое конкретное указание на существование комет за пределами Солнечной системы. Они стимулировали поиски похожих “следов” кометоподобной активности в окрестностях звезд типа UX Ori, о которых пойдет речь ниже.

Кометоподобная активность в окрестности звезд типа UX Ori

Звезды этого типа (среди которых преобладают Ae звезды Херbiga, а звезда UX Ori (Sp=A3) является их прототипом [7]) уже давно привлекают внимание исследователей переменных звезд своими необычными алголе-подобными ослаблениями блеска (до 2-3 звездных величин в полосе V) и весьма необычными изменениями цветовых характеристик в моменты глубоких минимумов: звезда в начале краснеет, но начиная с некоторого уровня блеска, покраснение сменяется изменением цвета в обратном направлении. Для объяснения таких изменений блеска и цвета был высказан ряд гипотез [8-10], среди которых наибольшей популярностью к середине восьмидесятых годов пользовалась гипотеза поверхностной магнитной активности [11].

В результате фотополариметрических наблюдений звезд типа UX Ori, проводимых, начиная с 1986 года, в Крымской астрофизической обсерватории, было установлено [12], что ослабления блеска вызываются затмениями звезд околозвездными пылевыми облаками, а необычные цветовые вариации обусловлены тем обстоятельством, что в моменты глубоких минимумов (когда звезда полностью закрыта от наблюдателя пылевым облаком) основной вклад в наблюдаемое излучение вносит рассеянное излучение околозвездной пыли. Это излучение оказалось сильно поляризованным (5 — 8%), что привело нас к следующему важному выводу [12, 13]: звезды типа UX Ori отличаются от других фотометрически более спокойных молодых звезд таких же спектральных типов лишь ориентацией околозвездных пылевых дисков — с ребра или под небольшим углом к лучу зрения. В настоящее время эта интерпретация принята большинством исследователей молодых звезд [14,15].

В первоначальной гипотезе, предложенной автором этой статьи [16], предполагалось, что параметры рассеянного излучения (образующегося в большом объеме протопланетного диска) не меняются от минимума к минимуму, а если и меняются, то в основном за счет изменений условий освещения звездой околозвездной пыли (что естественно, если учесть ее неоднородное распределение). Это предположение в целом оказалось правильным, о чем свидетельствует воспроизводимость от минимума к минимуму параметров Стокса поляризованного излучения. В то же время, у некоторых звезд (WW Vul, CQ Tau) за длительное время патрульных наблюдений были зарегистрированы изменения поляризации, которые не укладывались в указанную выше модель. Анализ таких событий (их минимальное характерное время порядка одной недели) позволил предположить [17], что пылевые облака, вызывающие алголе-подобные ослабления блеска, могут появляться в ближайших окрестностях звезд типа UX Ori и становиться заметными источниками рассеянного излучения, сравнимого по величине с рассеянным излучением протопланетного диска. Поскольку звезды типа UX Ori — это в основном горячие молодые звезды, в окрестностях которых конденсация пыли из газа весьма затруднена и требует больших характерных времен, то мы предположили, что появление пыли вблизи горячих молодых звезд происходит в результате распада кометоподобных тел при близких проходах их от звезды.¹⁸

К тому времени гипотеза о появлении пыли в окрестностях молодых звезд в результате прохождения комет и о возможном влиянии этой пыли на фотометрическую активность звезд уже существовала в астрофизической литературе [19,20]. Указанные выше фотополариметрические наблюдения представляли, таким образом, качественно новую информацию о таких событиях. Они послужили основанием для начала патрульных спектральных наблюдений звезд типа UX Ori с целью поиска спектроскопических признаков появления холодного нейтрального газа на луче зрения.

Для этой цели был выбран резонансный дублет нейтрального натрия, который из-за малого потенциала ионизации натрия (5.1 эВ) практически не наблюдается в спектрах нормальных A звезд. Уже первые наблюдения самой UX Ori, выполненные в 1992-93 годах в ESO совместно с голландскими астрофизиками, показали [51], что в спектре этой звезды присутствуют смещенные в красную сторону переменные абсорбционные компоненты, аналогичные наблюдавшимся в спектре β Pic

¹⁸Как показали расчеты [18], важную роль в разрушении кометоподобных тел в окрестностях звезд типа UX Ori играет термическая дезинтеграция (растрескивание) твердых тел в результате тепловых напряжений.

в линиях резонансного дублета Ca II. В дальнейшем похожие абсорбционные компоненты в линиях нейтрального натрия были обнаружены в спектрах других звезд типа UX Ori [22,23].

Эти результаты, а также данные, полученные с помощью ультрафиолеового спутника IUE [26,25], показали, что спорадические падения на звезду сгустков околозвездного газа, подобные наблюдаемым у β Pic, являются, со-видимому, общим важным свойством всех звезд этого типа. Учитывая, однако, что в спектрах большинства звезд типа UX Ori эмиссионная линия H_{α} имеет двухкомпонентный профиль [26], характерный для дисковой аккреции, правильно, по-видимому, говорить о том, что околозвездный газ в их окрестности представляет собой смесь нормального по химическому составу газа и газовых сгустков, появляющихся в результате испарения кометоподобных тел. В этом, по-видимому, состоит главное отличие звезд типа EX Ori от эволюционно более старой звезды β Pic, в околозвездном окружении которой легких элементов (водорода и гелия) в свободном виде уже осталось мало.

Заключение

Таким образом, результаты исследований последних лет свидетельствуют о том, что объекты типа UX Ori в эволюционном отношении являются молодыми предшественниками звезды β Pictoris. Они окружены молодыми протопланетными дискообразными оболочками, в которых в настоящее время идет образование планет. В связи с этим представляет значительный интерес координированные наблюдения этих звезд с помощью наземных телескопов и инфракрасной космической обсерватории ISO. Опубликованные к настоящему времени данные наземных наблюдений в оптической и ИК областях спектра [27,28] свидетельствуют о том, что на этом пути могут быть получены весьма ценные результаты.

Литература

1. Шкловский И.С., Вселенная, жизнь, разум. 1975. Наука, М., 336 с., 32 илл.
2. Smith B.A. and Terrile R.J. // Science, 1984, **226**, 1321.
3. Beckwith S.V.W. and Sargent A.I. // Nature, 1985, **383**, 139.
4. Lagrange-Henri A.M., Vidal-Madjar A., Ferlet R. // A&A, 1978, **190**, 275.

5. Ferlet R., Lagrange-Henri A.M., Beust H. // A&A, 1993, **267**, 137.
6. Beust H., Vidal-Madjar A., Ferlet R. // A&A, 1991, **247**, 165.
7. Bibo E.A. and Thé P.S. // A&A. 1990, **236**, 155.
8. Wenzel W. / “Non-Periodic Phenomena in Variable Stars”, IAU Coll. № 4, 1962, ed.L.Detre, p.61.
9. Зайцева Г.В. // Переменные звезды, 1973, т.**19**, с. 63.
10. Herbst W., Holtzman J.A., Klasky R.S. // AJ, 6983, **88**, 1458.
11. Rydgren A.E. and Cohen M. / “Protostars and Planets”, eds. D.C. Black and M.S.Matthews. 1985, University of Arisona Press, Tucson, Arisona, p.371.
12. Grinin V.P., Kiselev N.N., Minikhulov N.Kh. et al. // Astrophys. Space Sci. 1991, **186**, № 2, 283.
13. Grinin V.P. // Astron. Astrophys. Trans., 1992, **3**, 17.
14. Herbst W., Herbst D.K., Grossman E.J., et al. // AJ, 1994, **108**, 1906.
15. Thé P.S. // ASP Conf. Ser. 1994, № 62, 23.
16. Гринин В.П. // Письма в АЖ, 1988, т.**14**, 65.
17. Grinin V.P. // ASP Conf. Ser. 1994, № 62, 63.
18. Grinin V.P., Natta A., Tambovtseva L.V. // A&A, 1996, **313**, 857.
19. Gahm G. and Greenberg M. / “Asteroids, Comets, Meteors”, eds. by C.I. Lagerkvist, H. Rikman, 1983, p.375
20. Baade D. and Stahl O. // A&A, 1989, **209**, 255.
21. Grinin V.P., Thé P.S., de Winter D. et al. // A&A, 1994, **292**, 165.
22. Grinin V.P., Kozlova O.V., Thé P.S., Rostopchina A.N. // A&A, 1996, **309**, 474.
23. de Winter D., Grady C.A., van den Ancker M.E. et al. // A&A, 1999, **343**, № 1, 137.
24. Perez M.R., Grady C.A., and Thé P.S. // A&A, 1993, **274**, 381.

25. Grady C.A. et al. // A&A Suppl.Ser., 1996, **120**, 157.
26. Гринин В.П. и Ростопчина А.Н. // АЖ, 1996, **73**, 194.
27. Hutchinson G.M. et al. // A&A, 1994, **285**, 883.
28. Sitko M. et al. // ApJ, 1994, **432**, 753.

А.Ф. Захаров (ИТЭФ)

Сверхновая как мощный источник гравитационного излучения

Аннотация

Рассмотрено гравитационное излучение в рамках сферически несимметричной модели эволюции предсверхновой, предложенной ранее Имшенником. В отличие от анализа гравитационного излучения, проведенного Имшенником и Поповым в рамках формализма Питерса и Мэтьюза, в данной работе гравитационное излучение было рассмотрено в рамках $(PN)^{5/2}$ -приближения Дамура-Дерюэль и Линкольна-Уилла. В случае, если сверхновая находится в Большом Магеллановом Облаке ($R = 50$ кпк), то может быть получена оценка для амплитуды гравитационных волн $h \approx 8 \times 10^{-20}$. Характерная частота испускаемых гравитационных волн порядка 1 кГц. Таким образом, такой источник может быть наблюдаем не только с помощью строящихся в настоящее время детекторов типа VIRGO, LIGO, GEO, но даже с помощью работающего в настоящее время детектора типа LIGO-I.

Введение

В работе Имшенника [1] предложена модель сферически несимметричной эволюции предсверхновой. Напомним основные этапы сценария Имшенника.

I этап. Этот этап заключается в образовании быстро вращающейся протонейтронной звезды в результате гравитационного коллапса.

II этап. Образовавшаяся протонейтронная звезда может быть неустойчива (или стать неустойчивой под действием малых возмущений), в результате чего образуется тесная двойная система нейтронных звезд, параметры которой определяются из закона сохранения массы и углового момента.

III этап. На данном этапе происходит взаимное сближение компонентов двойной системы, обусловленное испусканием гравитационного излучения, до заполнения маломассивным компонентом полости Роша.

IV этап. На данном этапе происходит потеря массы маломассивным компонентом, причем в результате этого перетекания вещества масса маломассивного компонента порядка $0.1M_{\odot}$.

V этап. Образовавшаяся неустойчивая нейтронная звезда с массой $0.1M_{\odot}$ взрывается с энергovyделением порядка 10^{51} эрг, согласно расчетам, приведенным в работе Блинникова и др. [2,3].

В настоящей работе будет рассмотрено гравитационное излучение, испускаемое двойной системой нейтронных звезд, причем параметры

системы взяты равными соответствующим значениям, рассмотренным в работе Имшенника [1], а именно: масса протонейтронной звезды равна $m = M_t = 2M_\odot$, момент импульса равен $J_0 = 8.81 \cdot 10^{49}$ эрг/с. В отличие от работы Имшенника и Попова [4], где гравитационное излучение было рассмотрено в рамках формализма Питерса и Мэтьюза [5,6], в настоящей работе гравитационное излучение проанализировано в рамках приближения Дамура-Дерюэль [7], используя соотношения, приведенные в работе Линкольна-Уилла [8].

Основные уравнения и соотношения

Напомним основные уравнения, описывающие движение двойной системы нейтронных звезд с учетом влияния гравитационного излучения, причем уравнения включают в себя $(\text{PN})^{5/2}$ -члены (PN — постньютоновская поправка), с помощью которых удастся в уравнениях учесть согласованным образом влияние гравитационного излучения [7,8]. В этом случае для относительного ускорения компонентов двойной системы может быть получено следующее уравнение [8]:

$$\mathbf{a} = (m/r^2)[(-1 + A)\mathbf{n} + B\mathbf{v}], \quad (1)$$

где \mathbf{a} — относительное ускорение компонентов двойной системы, $m = m_1 + m_2$, m_1, m_2 — массы компонентов двойной системы, $r = |\mathbf{x}|$, $\mathbf{x} = r\mathbf{n}$, $\mathbf{v} = \mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2$, A и B определяют PN, $(\text{PN})^2$, $(\text{PN})^{5/2}$ поправки (пост=PN, пост-пост= $(\text{PN})^2$ и $(\text{пост})^{5/2}=(\text{PN})^{5/2}$). Записывая эти поправки в виде $A = A_1 + A_2 + A_{5/2}$ и $B = B_1 + B_2 + B_{5/2}$, получаем для них следующие выражения [8]:

$$A_1 = 2(2 + \eta)\frac{m}{r} - (1 + 3\eta)v^2 + \frac{3}{2}\eta\dot{r}^2, \quad (2)$$

$$A_2 = -\frac{3}{4}(12 + 29\eta)\left(\frac{m}{r}\right)^2 - \eta(3 - 4\eta)v^4 - \frac{15}{8}\eta(1 - 3\eta)\dot{r}^4 + \frac{3}{2}\eta(3 - 4\eta)v^2\dot{r}^2 + \frac{1}{2}\eta(13 - 4\eta)\frac{m}{r}v^2 + (2 + 25\eta + 2\eta^2)\frac{m}{r}\dot{r}^2, \quad (3)$$

$$A_{5/2} = \frac{8}{5}\eta\frac{m}{r}\dot{r}\left(3v^2 + \frac{17}{3}\frac{m}{r}\right), \quad (4)$$

$$B_1 = 2(2 - \eta)\dot{r}, \quad (5)$$

$$B_2 = -\frac{1}{2}\dot{r}\left[\eta(15 + 4\eta)v^2 - (4 + 41\eta + 8\eta^2)\frac{m}{r} - 3\eta(3 + 2\eta)\dot{r}^2\right], \quad (6)$$

$$B_{5/2} = -\frac{8}{5}\eta\frac{m}{r}\left(v^2 + 3\frac{m}{r}\right), \quad (7)$$

где $\eta = \mu/m$, $\mu = m_1 m_2 / m$, а точка над переменной означает дифференцирование по времени (d/dt). Следуя Линкольну и Уиллу [8], получим уравнения, описывающие движение двойной системы с использованием оскулирующих элементов [9]. Напомним, что оскулирующие переменные используются для исследования малых возмущений кеплеровых орбит [9]. В общем случае кеплерова орбита определяется шестью параметрами: i — угол наклона плоскости орбиты относительно исходной координатной плоскости, Ω — угол между осью x исходной системы координат и линией восходящего узла, ω — угол между линией восходящего узла и линией перицентра, a — большая полуось, e — эксцентриситет, T — время прохождения перицентра. Положения и координаты орбиты определяются [8]

$$x' \equiv r \cos \psi, \quad (8)$$

$$y' \equiv r \sin \psi, \quad (9)$$

$$z' \equiv 0, \quad (10)$$

$$p/r \equiv 1 + e \cos(\psi - \omega), \quad (11)$$

$$\dot{r} \equiv (m/r)^{1/2} e \sin(\psi - \omega), \quad (12)$$

$$r^2 \dot{\psi} \equiv (m/r)^{1/2}, \quad (13)$$

где ψ — угол в плоскости орбиты от линии восходящего узла, $p \equiv a(1 - e^2)$, а соотношения между координатами x, y, z и координатами x', y', z' выражаются через углы i, Ω

$$x \equiv x' \cos \Omega - y' \sin \Omega \cos i + z' \sin \Omega \sin i, \quad (14)$$

$$y \equiv x' \sin \Omega + y' \cos \Omega \cos i - z' \cos \Omega \sin i, \quad (15)$$

$$z \equiv y' \sin i + z' \cos i. \quad (16)$$

Радиальная компонента ускорения, возмущающего орбиту, обозначена через R , перпендикулярная радиальной компонента ускорения в плоскости орбиты в направлении увеличения угла ψ обозначена через S и компонента ускорения в направлении, перпендикулярном экваториальной плоскости, $-W$. Поскольку возмущающее ускорение является линейной комбинацией векторов \mathbf{n} и \mathbf{v} , то $W = 0$, т. е. орбитальное движение является плоским. Используя оскулирующие элементы, запишем уравнения движения двойной системы [8]:

$$di/dt = 0, \quad (17)$$

$$\dot{\Omega} = 0, \quad (18)$$

$$\dot{a} = \frac{2a^2}{(mp)^{1/2}} [eR \sin(\psi - \omega) + (p/r)S], \quad (19)$$

$$\dot{e} = (mp)^{1/2} \{ R \sin(\psi - \omega) + [e(r/p) + (1 + r/p) \cos(\psi - \omega)] \infty \}, \quad (20)$$

$$e\dot{\omega} = (mp)^{1/2} [-R \cos(\psi - \omega) + (1 + r/p) \sin(\psi - \omega) S], \quad (21)$$

$$m\dot{T} = a[2r - (p/e) \cos(\psi - \omega) - 3(m/p)^{1/2} e(t - T) \sin(\psi - \omega)] R + (a/e)[(r + p) \sin(\psi - \omega) - 3(mp)^{1/2} e(t - T)/r] S. \quad (22)$$

Выберем систему координат таким образом, что движение происходит в плоскости xy и линия восходящего узла совпадает с осью x . Таким образом, $i = 0$, $\Omega = 0$. Далее, следуя Линкольну и Уиллу [8], можно обозначать угол $\psi = \phi$ (ϕ — полярный угол в плоскости орбиты). В этом случае орбита описывается следующими соотношениями [8]

$$\mathbf{x} \equiv r(\mathbf{e}_x \cos \phi + \mathbf{e}_y \sin \phi), \quad (23)$$

$$\mathbf{v} \equiv (m/p)^{1/2} [-\mathbf{e}_x(\sin \phi + e \sin \omega) + \mathbf{e}_y(\cos \phi + e \cos \omega)], \quad (24)$$

$$p/r \equiv 1 + e \cos f, \quad (25)$$

$$\dot{r} \equiv (m/r)^{1/2} e \sin f, \quad (26)$$

$$r^2 \dot{\phi} \equiv (m/r)^{1/2}, \quad (27)$$

где $f \equiv \phi - \omega$. Ясно, что в этом случае для компонент ускорения мы имеем следующие выражения

$$R = (m/r^2)(A + \dot{r}B), \quad (28)$$

$$S = (m/r)\dot{\phi}B. \quad (29)$$

Уравнение (29) можно использовать для замены независимой переменной (вместо времени t можно использовать полярный угол ϕ). Тогда имеем следующие уравнения для описания движения двойной системы

$$\frac{d(a/m)}{d\phi} = 2 \left[\frac{a}{m} \right]^2 \frac{m}{p} \left\{ eA \sin f + \left[\frac{m}{p} \right]^{\frac{1}{2}} B(1 + e^2 + 2e \cos f) \right\}, \quad (30)$$

$$\frac{de}{d\phi} = A \sin f + 2 \left[\frac{m}{p} \right]^{1/2} B(e + \cos f), \quad (31)$$

$$e \frac{d\omega}{d\phi} = -A \cos f + 2 \left[\frac{m}{p} \right]^{1/2} B \sin f. \quad (32)$$

Подставляя в уравнения (30-32) выражения для возмущений A и B , получим уравнения для переменных e, ω, p [8]:

$$\begin{aligned}
\frac{de}{d\phi} = & \frac{m}{p} \left\{ (3 - \eta) \sin f + (5 + 4\eta)e \sin 2f + \right. \\
& + \frac{e^2}{8} \left[(56 - 47\eta) \sin f - 3\eta \sin 3f \right] \left. \right\} - \\
& - \left[\frac{m}{p} \right]^2 \left\{ \frac{1}{4} (36 + 73\eta - 8\eta^2) \sin f + \right. \\
& + (11 + 31\eta - 3\eta^2)e \sin 2f + \\
& + \frac{e^2}{16} \left[(60 + 245\eta - 64\eta^2) \sin 3f + \right. \\
& + (92 + 181\eta - 32\eta^2) \sin f \left. \right] + \\
& + \frac{e^3}{8} \left[(2 + 25\eta - 16\eta^2) \sin 4f + 4(3 - 11\eta - 10\eta^2) \sin 2f \right] + \\
& + \frac{\eta}{128} e^4 \left[15(1 - 3\eta) \sin 5f - 3(73 + 53\eta) \sin 3f - \right. \\
& - 2(477 + 161\eta) \sin f \left. \right] \left. \right\} - \frac{\eta}{15} \left(\frac{m}{p} \right)^{5/2} \left[192 \cos f + \right. \\
& + 16e(19 + 20 \cos 2f) + 2e^2(91 \cos 3f + 269 \cos f) + \\
& + e^3(121 + 180 \cos 2f + 35 \cos 4f) + \\
& + 5e^4(3 \cos 3f + 5 \cos f) \left. \right], \tag{33}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
e \frac{d\omega}{d\phi} = & \frac{m}{p} \left\{ -(3 - \eta) \cos f + e \left[3 - (5 - 4\eta) \cos 2f \right] \right. \\
& + \frac{e^2}{8} [3\eta \cos 3f + (8 + 21\eta) \cos f] \left. \right\} + \\
& + \left(\frac{m}{p} \right)^2 \left\{ \frac{1}{4} (36 + 73\eta - 8\eta^2) \cos f + \right. \\
& + e \left[(7 + 5\eta - 7\eta^2) + (11 + 31\eta - 3\eta^2) \cos 2f \right] + \\
& + \frac{e^2}{16} \left[(84 + 79\eta - 224\eta^2) \cos f + \right. \\
& + (60 + 245\eta - 64\eta^2) \cos 3f \left. \right] +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{e^3}{8} \left[(2 + 25\eta - 16\eta^2) \cos 4f - 2\eta(1 + 24\eta) \cos 2f - \right. \\
& \left. (2 - 21\eta + 48\eta^2) \right] + \frac{\eta}{128} e^4 \left[15(1 - 3\eta) \cos 5f + \right. \\
& \left. + 3(33 - 19\eta) \cos 3f + 10(27 - 41\eta) \cos f \right] \Big\} - \\
& - \frac{\eta}{15} \left(\frac{m}{p} \right)^{5/2} \left[192 \sin f + 320e \sin 2f + \right. \\
& + 2e^2(91 \sin 3f + 115 \sin f) + 5e^3(7 \sin 4f + 26 \sin 2f) + \\
& \left. + 18e^4(\sin 3f + \sin f) \right], \tag{34}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{d(p/m)}{d\phi} = & 4(2 - \eta) \sin f + e \frac{m}{p} \left[-2(2 + 13\eta + 2\eta^2) \sin f - \right. \\
& - \frac{1}{2}(4 + 11\eta)e \sin 2f + \frac{1}{4}\eta(33 - 2\eta)e^2 \sin f + \\
& \left. + \frac{3}{4}\eta(3 + 2\eta)e^2 \sin 3f \right] - \\
& - \frac{8}{5}\eta \left(\frac{m}{p} \right)^{3/2} \left(8 + 18e \cos f + 5e^2 \cos 2f + 2e^3 \cos f \right) \tag{35}
\end{aligned}$$

Квазикруговые орбиты

В соответствии с подходом Линкольна и Уилла дадим определение квазикруговых орбит двойной системы [8]. Нетрудно видеть, что решение уравнений движения с постоянным нулевым значением эксцентриситета невозможно, т.к. при $e = 0$ из уравнений (33-35) следует, что $\frac{de}{d\phi} \neq 0$. Определим вначале в $(PN)^2$ -приближении квазикруговые орбиты следующим образом $\frac{d\omega}{d\phi} = 1$, т.е. частица и оскулирующий эллипс поворачиваются с одинаковой скоростью. В этом случае $f = \phi - \omega = \text{const}$, и в силу произвола выбора начального значения ϕ можно считать, что $f = \pi$. Таким образом, в $(PN)^2$ -приближении получаем, что $\frac{dp}{d\phi} = \frac{de}{d\phi} = 0$. Легко видеть, что тогда в $(PN)^2$ -приближении имеем

$$e \approx (3 - \eta)(m/p) - (15 + \frac{17}{4}\eta + 2\eta^2)(m/p)^2. \tag{36}$$

Непосредственной проверкой нетрудно убедиться в том, что аппроксимация для e является решением и в $(PN)^{5/2}$ -приближении в предполо-

жении, что

$$f = \pi + \frac{64}{5} \frac{\eta}{(3 - \eta)} u^{3/2}. \quad (37)$$

В этом случае для изменения координаты $u \equiv \frac{m}{p}$ в зависимости от угла ϕ имеем уравнение в (PN)^{5/2}-приближении

$$\frac{du}{d\phi} \approx 16\eta u^{7/2} [4/5 + (1 - \eta)u]. \quad (38)$$

Нетрудно видеть, что из определения квазикруговых орбит следует, что при эволюции двойной системы всегда выполняется соотношение $\frac{dr}{d\phi} < 0$, т. е. двойная система движется по такой орбите, что расстояние между компонентами постоянно уменьшается (ясно, что при движении по эллиптической орбите последнее неравенство не выполняется). Действительно, поскольку

$$\hat{r} \equiv \frac{r}{m} \approx [1 + (3 - \eta)u - (6 + \frac{41}{4}\eta + 2\eta^2)u^2]/u, \quad (39)$$

то

$$\frac{d\hat{r}}{du} = -\frac{1}{u^2} - (6 + 41\eta/4 + \eta^2) < 0, \quad (40)$$

тем самым двойная система движется по орбите типа спирали так, что расстояние между компонентами постоянно уменьшается. Заметим, что уравнение (38) интегрируется в квадратурах, таким образом известна зависимость $\phi(u)$. Кроме того, имеются следующие зависимости от переменной u

$$\frac{d\phi}{d\hat{t}} = u^{3/2} [1 - 2(3 - \eta)u + (39 + 5\eta/2 + \eta^2)u^2], \quad (41)$$

где $\hat{t} = t/m$. Нетрудно увидеть также, что если выписать уравнение для времени, то имеем

$$\frac{d\hat{t}}{du} = \frac{1}{\frac{64}{5}\eta u^5 (1 + \frac{5}{4}(1 - \eta)u) [1 - 2(3 - \eta)u + (39 + 5\eta/2 + \eta^2)u^2]}, \quad (42)$$

причем последнее уравнение также интегрируется в квадратурах от рациональных функций. Выпишем также выражение для скорости \mathbf{v} в зависимости от u

$$\mathbf{v} \approx u^{1/2} \left[1 - (3 - \eta)u + (15 + 17\eta/4 + 2\eta^2)u^2 \right] (-\mathbf{e}_x \sin \phi + \mathbf{e}_y \cos \phi). \quad (43)$$

Эволюция двойной системы при излучении гравитационных волн

В настоящей работе рассмотрена эволюция двойной системы, испускающей гравитационные волны, причем использовано приближение квазикруговых орбит. Причины, по которым из всевозможных решений уравнений движения выбраны квазикруговые орбиты, заключаются в следующем. Во-первых, Линкольном и Уиллом показано, что решения уравнений движения двойной системы достаточно общего вида переходят в решения типа квазикруговых орбит [8], во-вторых, как показали предварительные результаты гидродинамического моделирования, при образовании двойной системы из неустойчивой нейтронной звезды происходит движение по орбите с небольшим значением эксцентриситета, что при достаточно большом расстоянии между компонентами системы с большой точностью может описываться квазикруговыми орбитами. Кроме того, в работе Имшенника и Попова [4] показано довольно быстрое уменьшение эксцентриситета до значений, сравнимых со значением пост-ньютоновского параметра.

Форма гравитационных волн различной поляризации в (PN)-приближении определяется соотношениями, приведенными Линкольном и Уиллом [8],

$$\begin{aligned}
 h_+ \approx & -\frac{2\mu}{R} \left[\left(\frac{m}{p} \right) \left(1 + \cos^2 \Theta \right) \cos 2\Psi - \right. \\
 & -\frac{1}{2} \left(\frac{m}{p} \right)^{3/2} \frac{\delta m}{m} \sin \Theta \left[\sin \Psi + \frac{1}{4} \left(1 + \cos^2 \Theta \right) (\sin \Psi + 9 \sin 3\Psi) \right] - \\
 & -\frac{1}{3} \left(\frac{m}{p} \right)^2 \left\{ \frac{1}{2} (37 - 9\eta) (1 + \cos^2 \Theta) \cos 2\Psi + \right. \\
 & + (1 - 3\eta) \sin^2 \Theta \left[2 \cos 2\Psi + \right. \\
 & \left. \left. + \left(1 + \cos^2 \Theta \right) (\cos 2\Psi + 4 \cos 4\Psi) \right] \right\} \right], \\
 h_\times \approx & \frac{2\mu}{R} \cos \Theta \left\{ 2 \left(\frac{m}{p} \right) \sin 2\Psi + \right. \\
 & + \frac{3}{4} \left(\frac{m}{p} \right)^{3/2} \frac{\delta m}{m} \sin \Theta (\cos \Psi + 3 \cos 3\Psi) - \\
 & -\frac{1}{3} \left(\frac{m}{p} \right)^2 \left[(37 - 9\eta) \sin 2\Psi + \right.
 \end{aligned} \tag{44}$$

$$+4(1 - 3\eta) \sin^2 \Theta (\sin 2\Psi + 2 \sin 4\Psi) \Big] \Big\}, \quad (45)$$

где $\Psi = \Phi - \phi$. Углы Φ , Θ определяют положение наблюдателя и соответствуют единичным ортам, ортогональным радиусу-вектору, направленному от двойной системы к наблюдателю. Так угол $\Theta = 0, \pi$ соответствует положению наблюдателя на полюсе, в случае, если движение системы происходит в экваториальной плоскости ($\Theta = \pi/2$), он соответствует положению наблюдателя в экваториальной плоскости. Угол Φ соответствует различному повороту системы координат наблюдателя. Эволюция двойной системы, испускающей гравитационное излучение, согласно модели Имшенника [1], происходит вплоть до момента заполнения маломассивным компонентом полости Роша, причем критическое значение радиуса орбиты, связанное с радиусом маломассивного компонента, определяется аппроксимационной формулой Масевич и Тутукова [10]

$$\frac{r_{cr}}{R_2} = \frac{1}{0.52(m_2/m)^{0.44}}. \quad (46)$$

В данном случае радиус полости Роша определяется как радиус шара, объем которого равен объему полости Роша.

Примеры формы гравитационной волны различной поляризации при эволюции двойной системы

Выберем значения массы протонейтронной звезды и момента импульса, равные значениям, проанализированным в работах Имшенника [1] и Имшенника, Попова [4], а именно $m = M_t = 2M_\odot$, а момент импульса равен $J_0 = 8.81 \cdot 10^{49}$ эрг/с. Напомним, что Имшенником и Поповым [4] предельное значение для $\delta = m_2/m = 0.205$ ($\eta = 0.163$) получено из условия того, что время сближения компонентов двойной системы, обусловленное испусканием гравитационных волн, равно 1 час. В приближении Линкольна-Уилла компоненты сближаются 3711 сек, таким образом, может быть найдено минимальное значение в этом приближении $\delta = m_2/m = 0.2045$, которому соответствует время сближения, равное 1 час. Отсюда можно сделать вывод, что если определять минимальное значение отношения массы маломассивного компонента к общей массе, исходя из заданного времени сближения в данной задаче в приближении Питерса-Мэтьюза, то отличие от приближения Линкольна-Уилла весьма незначительно.

Предположим, что $\eta = 0.2$, т.е. значение этой константы соответствует значению, близкому к предельному. Радиус нейтронной звезды с

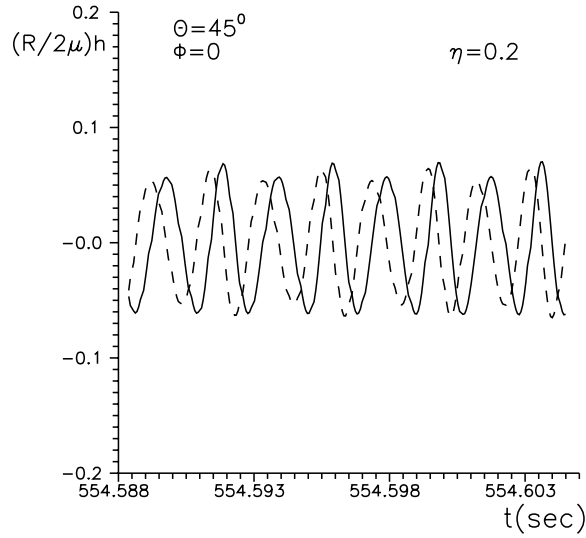


Рис. 1. Форма гравитационной волны в зависимости от времени для поляризации h_+ (сплошная линия) и поляризации h_\times (пунктирная линия) ($\eta = 0.2$) для значений углов $\Phi = 0, \Theta = \pi/4$.

массой $m_2 = 1.1 \cdot 10^{33}$ г (аналогично Имшеннику и Попову [4]) выбран порядка 13.32 км, что основано на результатах Коэна и Камерона и представлено в монографии Зельдовича и Новикова [11]. Предполагаем, что эволюция двойной системы происходит в соответствии с приближением квазикруговых орбит.

Приведем форму гравитационной волны поляризации h_+, h_\times для различных значений углов Φ, Θ .

На рис. 1 приведена форма гравитационных волн поляризаций h_+, h_\times для значений углов $\Phi = 0, \Theta = 0$. Форма волн для данных значений параметров похожа на синусоиду с медленно увеличивающейся амплитудой. Гравитационная волна нормирована на величину (R/μ) , т.е. для того, чтобы получить гравитационную волну, соответствующую конкретному астрономическому объекту, необходимо разделить на расстояние от объекта до наблюдателя в единицах μ . Если двойная система находится в Большом Магеллановом Облаке, то $R_{\text{БМО}} = 1.6 \cdot 10^{23}$ см, $\mu = 5.92 \cdot 10^4$ см, $R/\mu = 2.71 \cdot 10^{18}$ см.

Приведем также для выбранных ранее параметров двойной системы графики, описывающие изменение некоторых других параметров двойной системы.

$$L_{WW} = \frac{8}{15} \frac{\mu^2 m^2}{r^4} \left\{ (12v^2 - 11\dot{r}^2) + 12v^2 \left[14\eta \tilde{E} - (6 - 9\eta) \frac{m}{r} \right] - \right. \\ \left. - 2\dot{r}^2 \left[2(33 + 43\eta) \tilde{E} + 3(8 + 21\eta) \frac{m}{r} - \frac{3}{2}(20 + 3\eta) \dot{r}^2 \right] + \right.$$

$$\begin{aligned}
& +4\eta(1-6\eta) \left[\frac{v^2}{2} (6\tilde{E} + 7\frac{m}{r}) - \right. \\
& \left. - \frac{1}{3} \dot{r}^2 (21\tilde{E} + 23\frac{m}{r} - 6\dot{r}^2) \right] + \\
& + \frac{1}{7} (1-3\eta) [8v^2 (17\tilde{E} - 10\frac{m}{r}) - \\
& - \frac{1}{3} \dot{r}^2 (144\tilde{E} - 440\frac{m}{r} + 105\dot{r}^2)] + \\
& + \frac{1}{7} (1-4\eta) \left[\frac{v^2}{2} (345\tilde{E} + 397\frac{m}{r}) + \right. \\
& \left. + 4 \left(\frac{m}{r} \right)^2 - \dot{r}^2 (319\tilde{E} - 349\frac{m}{r} + 297\dot{r}^2/4) \right] \Big\}, \tag{47}
\end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned}
\tilde{E} &= \frac{v^2}{2} - \frac{m}{r}, \\
v^2 &= u \left[1 - (3-\eta)u + (15 + \frac{17}{4}\eta + 2\eta^2)u^2 \right]^2 \\
\dot{r} &= \frac{d\hat{r}}{du} \frac{du}{d\phi} \frac{d\phi}{d\hat{t}}. \tag{48}
\end{aligned}$$

На рис. 2 изображено отношение светимости, вычисленной в приближении Питерса-Мэтьюза, к светимости Вагонера-Уилла, т.о. в момент максимального сближения компонентов приближение Питерса-Мэтьюза определяет существенно большее значение светимости.

На рис. 3 представлена зависимость эксцентриситета от числа оборотов двойной системы. Видно, что значение эксцентриситета при максимальном сближении компонентов порядка 0.12. Таким образом, вывод работы Имшенника и Попова [4] о значении эксцентриситета в момент максимального сближения меньшем 0.1 неверен, что является следствием пренебрежения не слишком малым (порядка 7%) пост-ньютоновским параметром. В случае предельного значения отношения масс $\delta = m_2/m = 0.205$ конечное значение эксцентриситета порядка 0.11.

Выводы

Следует заметить, что рассмотренная система является примером, в котором пост-ньютоновский параметр не слишком мал, особенно в момент максимального сближения, и, конечно, его необходимо учитывать при

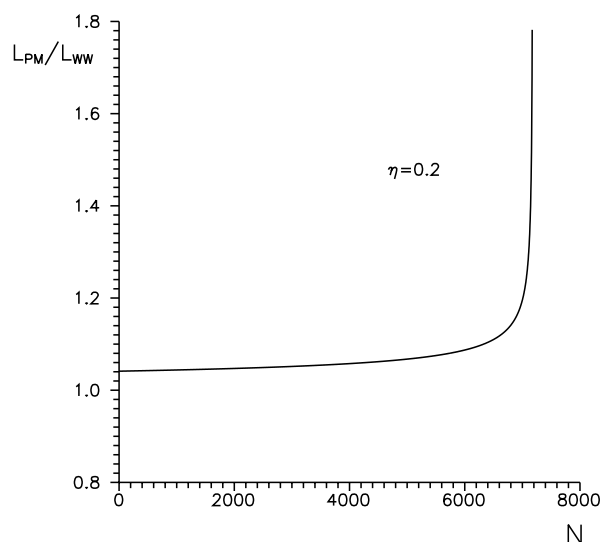


Рис. 2. Отношение L_{PM} (гравитационной светимости в приближении Питерса-Мэтьюза) и L_{WW} (гравитационной светимости в приближении Вагонера-Уилла) как функция числа оборотов.

качественном описании сближения компонентов двойной системы, когда движение происходит по кривой типа спирали. Пренебрежение малым пост-ньютоновским параметром в данном случае может привести, аналогично результатам работы Имшенника и Попова [4], к неверному выводу о монотонном уменьшении эксцентриситета и приближении его в конечном значении к величине меньшей, чем 0.1. Уточняя вывод указанных авторов о том, что орбиты общего вида эволюционируют к круговым орбитам, можно сказать, что орбиты общего вида эволюционируют к квазикруговым, причем связь эксцентриситета с параметром u

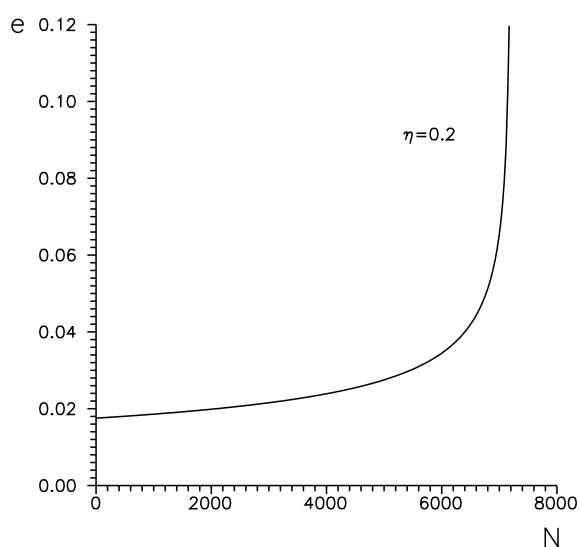


Рис. 3. Зависимость эксцентриситета от числа оборотов для квазикруговых орбит ($\eta = 0.2$).

определяется соотношением (38).

Форму гравитационной волны также целесообразно рассматривать в максимально возможном порядке разложения по пост-ньютоновскому параметру, поскольку форма волны может сильно меняться при значении пост-ньютоновского параметра порядка 10%. Следует заметить, что форма волны может сильно зависеть от таких факторов, как приливные эффекты, отклонение от приближения точечной массы для движения протяженных объектов, обладающих в некоторых случаях собственным вращением, эффекты типа переноса массы. Поэтому кривые, представленные на рис. 1, иллюстрируют лишь типы формы гравитационной волны, рассматриваемые как иллюстрация типов гравитационных волн, которые могут появиться в данной задаче.

В заключение автор благодарит проф. К. Уилла, за ценные обсуждения предварительных результатов данной работы [13], проф. К. Торна за стимулирующие обсуждения связи взрывов сверхновых с детектированием гравитационных волн.

Более детальное обсуждение данной модели приведено в работе [14].

Автор выражает благодарность Российскому Фонду Фундаментальных Исследований за частичную финансовую поддержку (проект № 96-02-17604) данной работы, а также организационному комитету Международной Конференции по актуальным проблемам астрофизики, посвященной памяти И.С. Шкловского, С.А. Каплана и С.Б. Пикельнера, за приглашение представить устный доклад по теме данной работы.

Литература

1. Имшенник В.С. // Письма в Астрон. журн. 1992. Т. **18**. С. 489.
2. Blinnikov S.I., Nadyozhin D.K., Perevodchikova T.V., Imshennik V.S., Novikov I.D., Polnarev A.G. // Preprint Nordita - 90/37A. 1990.
3. Блинников С.И., Имшенник В.С., Надежин Д.К., Новиков И.Д., Переводчикова Т.В., Полнарев А.Г. // Астрон. журн. 1990. Т. **67**. С. 1181.
4. Имшенник В.С., Попов Д.В. // Письма в Астрон. журн. 1994. Т. **20**. С. 620.
5. Peters P.C., Mathews J. // Phys. Rev. 1963. V. **131**. P.435.
6. Peters P.C. // Phys. Rev. 1964. V. **136**. P. B1224.
7. Damour T., Deruelle N. // Phys. Lett. 1981. V. **87A**. P. 81.

8. Lincoln C., Will C. // Phys. Rev. D. 1990. V. **42**. P. 1123.
9. Абалакин В.К., Аксенов Е.П., Гребеников Е.А., Демин В.Г., Рябов Ю.А. Справочное руководство по небесной механике и астродинамике. М.: Наука, 1976, 864 С.
10. Масевич А.Г., Тутуков А.В. Эволюция звезд: Теория и наблюдения. М.: Наука, 1988, 280 С.
11. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Теория тяготения и эволюция звезд. М.: Наука, 1971, 484 С.
12. Wagoner R.V., Will C.M. // Preprint OAP - 449. 1976.
13. Zakharov A.F. // Report MPE 261. Garching. Proc. of 17th Texas Symposium on Relativistic Astrophysics, 1995.
14. Захаров А.Ф. // Астрон. журн. 1996. Т. **73**. С. 605.

К.С. Станкевич, В.П. Иванов, С.П. Столяров (НИРФИ)

Эффект Шкловского в эволюции остатков сверхновых

Аннотация

Сообщаются результаты многолетних исследований векового уменьшения потока радиоизлучения остатков сверхновых II типа: Кассиопеи А и Крабовидной туманности, и I типа: Кеплера и Тихо.

В 1960 г. И.С.Шкловский [?] предсказал вековое уменьшение потока и интенсивности радиоизлучения у остатков сверхновых. В процессе эволюции остатков происходит их непрерывное расширение, в результате магнитное поле и энергия релятивистских частиц в туманности убывают, следствием является вековое уменьшение интенсивности электромагнитного излучения, генерируемого синхротронным механизмом.

Шкловским было показано, что падение потока радиоизлучения от молодого остатка Кассиопеи А радиоастрономы вполне могут измерить. Уже в первых работах, специально предпринятых для проверки эффекта, вековое уменьшение было обнаружено. Сейчас, по прошествии многих лет, хорошо видно, насколько эффект важен: со времени первых радионаблюдений Кассиопеи А (1948 г.) и до наших дней ее светимость уменьшилась на 25%. За прошедшие годы из идеи И.С.Шкловского выросла обширная область экспериментальных и теоретических исследований — эволюционные и нестационарные изменения излучения остатков сверхновых. Исторически важность идеи была и в том, что она положила начало поиска переменности излучения космических источников, и остатки сверхновых оказались первыми объектами на этом пути.

В начале 60-х годов в НИРФИ были развиты методы точных абсолютных радиоастрономических измерений, для их реализации на радиоастрономической станции Кара-Даг были созданы стенды калибровки антенн по методу “искусственной луны”. Радиоастрономический комплекс позволял измерять малые изменения потоков и спектров остатков сверхновых. Первые наблюдения были проведены в 1961 году и регулярно продолжались в последующие годы на 22 частотах в диапазоне 0.5-15 ГГц.

Для остатка сверхновой оболочечного типа Кассиопея А теперь уже точно определено время вспышки сверхновой: оказалось, ее наблюдал в 1680 г. Flamstead [?]. В последние годы получены данные о трехмерной структуре остатка [?], в результате чего уточнились основные параметры на современную эпоху, они приведены в Таблице 1.

Таблица 1. Основные параметры Кассиопеи А

| | |
|--------------------------------------|------------------------------|
| Расстояние | $3.4^{+3}_{-0.1}$ кпс |
| Скорость расширения | 5290 ± 90 км/с |
| Радиус | $104.5'' \pm 0.7''$ (1.7 пс) |
| Динамический возраст | 863 г. |
| Параметр замедления ($R \sim t^x$) | 0.37 |

Согласно теории Шкловского при адиабатическом расширении остатка вековое уменьшение плотности потока равно:

$$\frac{1}{S_\nu} \frac{dS_\nu}{dt} = -2(2\alpha + 1) \frac{1}{R} \frac{dR}{dt}. \quad (1)$$

На современную эпоху (1995.0) плотность потока убывает в год на $\dot{S}/S_\nu = -0.61\%$, спектральный индекс радиоспектра $\alpha = 0.81$. Поскольку в рассматриваемой модели не изменяется спектральное распределение радиоизлучения, то выражение (1) описывает также вековое уменьшение радиосветимости:

$$\frac{1}{L} \frac{dL}{dt} = -2(2\alpha + 1) \frac{1}{R} \frac{dR}{dt} = -0.61\% \text{ в год}. \quad (2)$$

На графике рис. 1 представлено вековое уменьшение светимости по данным измерений в диапазоне частот (0.5-15) ГГц в период 1955-1995 гг. В среднем убывание эмиссии происходит линейно во времени и может быть представлено функцией

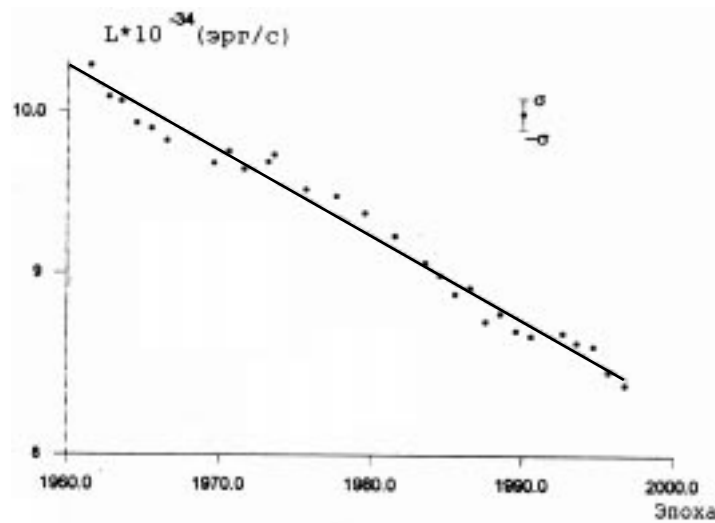


Рис. 1. Кассиопея А. Изменения во времени светимости L в диапазоне частот 0.5-10 ГГц.

$$L(t) = -[10.3 - 0.076(t - 1960)] \cdot 10^{34} \text{ эрг/с.} \quad (3)$$

Средняя потеря светимости составляет

$$\dot{L}/L = -(0.55 \pm 0.013)\% \text{ в год.} \quad (4)$$

Эта величина прекрасно совпадает с оценкой изменения общего энерговыделения (2), но поскольку наблюдается также существенная изменчивость в распределении энергии по спектру радиоизлучения, то эволюция не полностью описывается теорией адиабатического расширения.

При сравнении данных абсолютных измерений интенсивности Кассиопеи А в диапазоне 0.5 – 10 ГГц, выполненных в 60-х годах, было установлено, что скорость уменьшения плотности потока зависит от частоты, уменьшаясь с ее ростом [?, ?, ?]. Величины средней скорости падения потока за год по результатам наблюдений 1961-1975 гг. хорошо аппроксимировались функцией вида [?]:

$$-\frac{1}{S(\nu)} \frac{ds(\nu)}{dt} = 1.25 \cdot 10^{-3}(29 - \ln \nu), \quad (5)$$

где ν — частота в Гц.

Однако, обнаруженная зависимость (5) оказалась нестационарной. В последующие годы на всех частотах наблюдалось замедление скорости падения потока. По результатам измерений на эпохах 1969.6-1984.6 эта зависимость имела вид [4]:

$$\dot{S}(\nu)/S(\nu) = 1.584 \cdot 10^{-3}(24.87 - \ln \nu). \quad (6)$$

На графике рис. 2 представлена скорость уменьшения потока на частотах дециметрового и сантиметрового диапазонов в период 1981-1995 гг., пунктирной линией отмечена зависимость (6). Из графика видно, что скорость падения увеличилась на сантиметровых волнах и уменьшилась на дециметровых волнах, на современную эпоху в среднем она не зависит от частоты и составляет около 0.6% в год. Замедление скорости падения потока после 1980 г. обнаружено на частотах метрового диапазона 81.5; 102 и 152 МГц, ее величина равна $(0.8 \pm 0.12)\%$ в год [?].

Частотная зависимость скорости уменьшения потока и ее переменность сопровождаются изменением наклона спектра излучения в радиодиапазоне

$$\frac{d\alpha}{dt} = -\frac{d \ln S(\nu_1, t) - \ln S(\nu_2, t)}{dt \ln \nu_1 - \ln \nu_2}. \quad (7)$$

Таблица 2.

| Нестационарные изменения параметров по эпохам | 1960-1970 | 1970-1984 | 1984-1995 |
|---|----------------------|----------------------|---------------|
| Скорость падения потока на $\lambda = 3$ см | 0.9% | 0.3% | 0.6% |
| Частотная зависимость скорости падения потока | умеренная | сильная | отсутствует |
| Скорость уменьшения спектрального индекса | $1.26 \cdot 10^{-3}$ | $1.56 \cdot 10^{-3}$ | отсутствует |
| Изменение яркости волокон за год | нет данных | падение -1.7% | рост $+1.6\%$ |

Изменения наклона обнаружены из непосредственных измерений распределения плотностей потоков по частоте. По нашим данным средний спектральный индекс уменьшался примерно до эпохи 1980 года. Так в период 1961-1975 гг. средняя скорость уменьшения составила $\dot{\alpha} = -1.26 \cdot 10^{-3}$ [?], в последующие 15 лет она несколько возросла $\dot{\alpha} = -1.56 \cdot 10^{-3}$ [?], а в течение последнего десятилетия средний спектральный индекс практически не изменялся $\dot{\alpha} = -(1.6 \pm 3.4) \cdot 10^{-3}$.

В целом вековое уменьшение светимости остатка сверхновой Кассиопеи А сопровождалось перераспределением энерговыделения по спектру радиоизлучения. Характерное время таких изменений составило 10-15 лет. Если суммировать вышеизложенные результаты, то за историю наблюдений выделяются три характерных периода, их иллюстрирует Таблица 2.

Выше рассматривалось интегральное радиоизлучение Кассиопеи А, которое можно представить как излучение диффузного вещества оболочки остатка сверхновой и излучение быстро движущихся мелкомасштабных волокон или конденсаций внутри. Поскольку вклад в плотности потока последних незначителен, то полученные результаты полностью относятся к эволюции распределенной радиоизлучающей материи в оболочке остатка сверхновой.

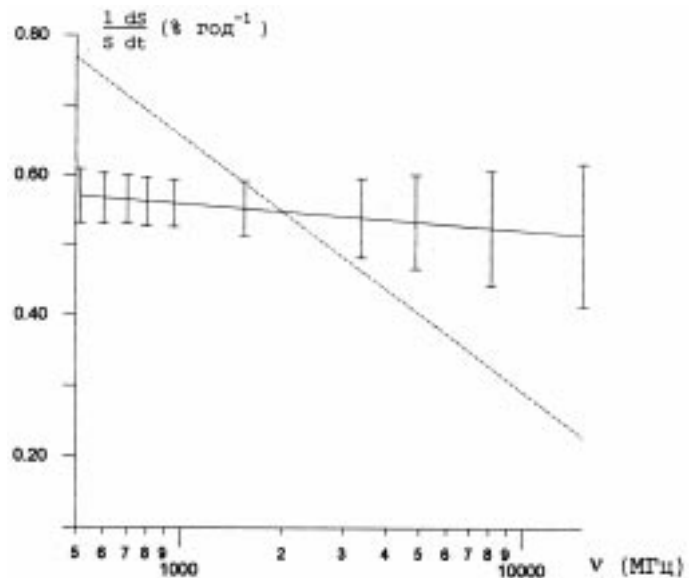


Рис. 2. Кассиопея А. Скорости уменьшения потока на частотах дециметрового и сантиметрового диапазонов.

На современную эпоху остаток сверхновой расширяется со значительным замедлением, о чем свидетельствует большой динамический возраст, в несколько раз превышающий действительное время жизни. При среднем параметре замедления $x = 0.37$ согласно (1) и (2) получаются близкие к наблюдаемым скорости вековых изменений светимости и потока. Но торможение оболочки анизотропно: динамические времена расширения в направлениях “север—юг” (750 лет) и “восток—запад” (1300 лет) значительно отличаются [?], что может являться причиной 10 — 15-летних вариаций светимости. На графике рис. 1 эти вариации видны и не превосходят $\Delta L/L = 0.05\%$.

В оптике получена объемная структура остатка сверхновой Кассиопеи А [?]. В ее оболочке наблюдаются 450 квазистационарных конденсаций (QSF) и 3663 быстродвижущихся (ФМК). Первые исследования в радиодиапазоне на частотах 2695 и 8085 МГц ярких ФМК были сделаны в 1967-1976 гг. [?]. Было показано, что в эти годы интегральное излучение ФМК убывало в среднем на 1.7% в год. В продолженных измерениях на эпохах 1974-1979 годов эта величина получена равной 1.32% [?], изменения яркости и конфигурации волокон происходят с характерным временем 10-20 лет. Anderson, Rudnick [?] исследовали 304 ФМК на длинах волн 6 и 20 см с интервалом 12 лет между 1978-1990 годами; обнаружено, что в этот период имело место увеличение яркости ФМК в среднем на 1.6% в год, а характерное время изменения яркости 25-30 лет аналогично изменениям в оптике. Таким образом, в период 1967-1979 гг. имело место среднее годовичное убывание потока ФМК 1.7-1.3%, а в период 1978-1990 гг. их яркость нарастала. В целом изменение яркости ФМК, как видно из Таблицы 2, антикоррелирует с изменениями векового уменьшения потока, светимости и наклона спектра излучения диффузной оболочки. Отсюда следует, что полная светимость быстродвижущихся конденсаций в радиодиапазоне не превосходит отмеченных выше вариаций светимости, т.е. менее 0.05%. Поскольку радиоспектр конденсаций подобен спектру оболочки, то и на каждой частоте (по крайней мере СВЧ-диапазона) вклад конденсаций в плотность потока составляет менее 0.05%. Поэтому изменения распределения энерговыделения по спектру интегрального излучения Кассиопеи А не могут быть отнесены за счет конденсаций.

Существовавшая частотная зависимость векового уменьшения потока обычно объяснялась процессом ускорения релятивистских электронов статическим механизмом. Однако в последнее десятилетие увеличилась скорость падения потока на сантиметровых волнах и уменьшилась на метровых, частотная зависимость фактически пропала. Это означа-

Таблица 3. Параметры сверхновых I типа.

| Параметры | SN 1572 | Ссылка | SN 1604 | Ссылка |
|--|---------------------|--------|-----------------------|--------|
| Внешний радиус (сек. дуги) | 216 | [?] | 100 | [?] |
| Параметр замедления | 0.462 ± 0.024 | [?] | $0.5^{+0.65}_{-0.35}$ | [?] |
| Угловое расширение (% в год) | 0.113 ± 0.006 | [?] | 0.131 | [?] |
| Расстояние (кпс) | 3.2 ± 0.3 | [?] | 5 | [?] |
| Светимость эрг/с | $3 \cdot 10^{31}$ | н.р. | $2.7 \cdot 10^{31}$ | н.р. |
| Спектральный индекс | 0.6251 ± 0.0035 | н.р. | 0.62 ± 0.03 | н.р. |
| Плотность потока ($\lambda = 6$ см)Ян | 17.1 | н.р. | 6.4 | н.р. |

ет, что ускорение релятивистских электронов в этот период эволюции остатка мало эффективно. Причиной нестационарности распределения энергии по спектру могут быть только изменения условий генерации электромагнитных волн в процессе расширения остатка [?, ?].

Остатки сверхновых I типа 1572 г. (Тихо Браге) и 1604 г. (Кеплера) также имеют оболочечную структуру. Их динамические параметры во многом подобны, современные значения приведены в Таблице 3.

Вековое уменьшение потока этих остатков сверхновых исследовалось на радиотелескопе РТ-70. Для SN1604 данные о скорости падения получены впервые. Среднее годовичное уменьшение потока за 20-летний интервал между эпохами 1967.5 и 1987.5 составило на частоте 1667 МГц $-\frac{1}{5}(ds/dt) = -(0.24 \pm 0.14)\%$ и на частоте 5870 МГц $-\frac{1}{5}(ds/dt) = -(0.26 \pm 0.22)\%$. У сверхновой 1572 г. за 27.4-летний интервал между эпохами 1967.4 и 1994.8 на частоте 5000 МГц поток падал со скоростью $(0.41 \pm 0.03)\%$ в год. На частоте 960 МГц между эпохами 1964 и 1987 годов эта величина составила $(0.47 \pm 0.13)\%$. Для обоих объектов частотной зависимости векового уменьшения потока не обнаружено. Оценка векового уменьшения потока на основании (1) для остатка сверхновой 1572 года дает величину 0.41% в год, что хорошо согласуется с данными, приведенными выше. Это означает, что в современную эпоху остаток находится в стадии адиабатического расширения и генерации магнитного поля и ускорения частиц не происходит.

Более сложная ситуация с SN1604: оценка на основании радиоданных о скорости расширения оболочки дает величину 0.6% в год. В оптике собственные движения волокон почти не обнаруживают систематического расширения, среднее угловое расширение составляет $0.005''/\text{год}$

[?]. При этом как в оптике, так и в радио наблюдается большая дисперсия скоростей движения волокон. Поскольку энергетические и динамические характеристики SN1572 и 1604 одинаковы и возрасты близки, то оба остатка должны находиться в одинаковой фазе расширения — адиабатической. Тогда по скорости уменьшения потока определяется средняя скорость расширения SN1604, которая равна $0.05\% \text{ год}^{-1}$ или $0.053'' \text{ год}^{-1}$, т.е. на порядок больше, чем в оптике, и параметр замедления $x = 0.2$ меньше, чем даже $x = 0.35$ для северного края остатка [?].

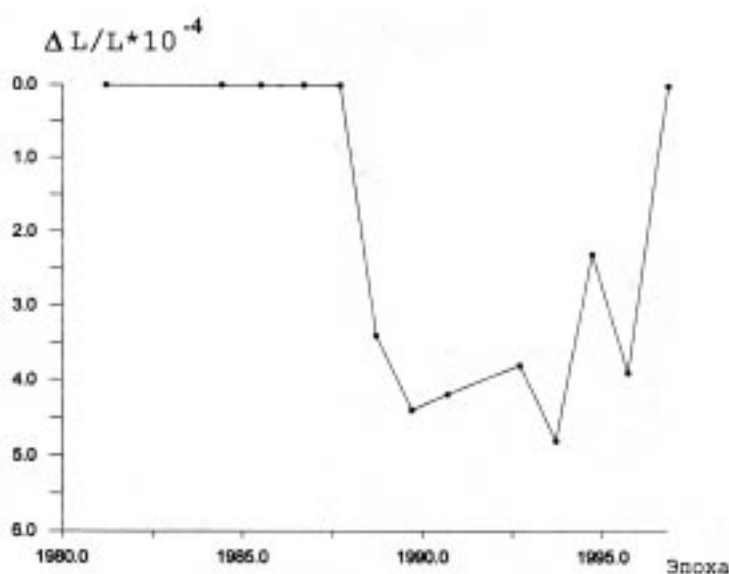


Рис. 3. Зависимость от времени дефицита светимости ΔL в диапазоне 0.5-1.1 ГГц, L — светимость в диапазоне 30 МГц—300 ГГц.

Возможно, что в оптическом и рентгеновском диапазонах они также имели место.

В период 1981-1987 гг. обнаружены заметные изменения наклона спектра: минимальная величина спектрального индекса зарегистрирована в 1985 г. — он уменьшился на 25%. В последующие годы его величина восстановилась до невозмущенного уровня. В радиоспектрах после 1988 г. наблюдаются локальные нарушения степенного распределения интенсивности: в диапазоне частот от 1100 до 500 МГц дефицит светимости. Дефицит светимости, отнесенный к полной светимости в радиодиапазоне, изображен на рис. 3. Причиной нестационарности спектра излучения Крабовидной туманности, по-видимому, являются изменения

Вековые и нестационарные изменения в радиоспектре обнаружены у остатка сверхновой 1054 года (Крабовидная туманность)[?]. За 40 лет с 1955 по 1995 гг. светимость туманности уменьшилась примерно на 5%, и средняя скорость уменьшения составила $(0.11 \pm 0.02)\%$. За последние годы заметна тенденция к замедлению скорости падения светимости и потока. Показано, что после 1975 года в спектре начались нестационарные изменения, не закончившиеся на современную эпоху.

инжекции релятивистских электронов пульсаром после катастрофических событий 1974 г.

Литература

- [1] Agafonov, M.I. // A&A, 1996, **306**, 578.
- [2] Anderson, M.C., Rudnick, L. // ApJ, 1995, **441**, 307.
- [3] Ashworth, W.R. // J. Hist Astr., 1980, **11**, 1.
- [4] Барабанов А.П., Иванов В.П., Станкевич К.С., Столяров С.П. // Астрон.Ж., 1986, **63**, 926.
- [5] de Vaucouleurs, G. // ApJ, 1985, **289**, 5.
- [6] Dickel, J.R., Greisen, E.W. // A&A, 1979, **75**, 44.
- [7] Dickel, J.R., Sault, R., Arendt, R.G., Matsui, Y., & Korista, K.T. // ApJ, 1988, **330**, 254.
- [8] Иванов В.П., Станкевич К.С., Столяров С.П. // Астрон.Ж., 1994, **71**, 737.
- [9] Read J.E., Hester, J.J., Fabian, A.C., & Winkler, P.F. // ApJ, 1995, **440**, 706.
- [10] Станкевич К.С., Иванов В.П., Пелюшенко С.А., Торхов В.А. // Изв. ВУЗов. Радиофизика, 1973, **16**, 786.
- [11] Станкевич К.С., Иванов В.П., Торхов В.А. // Астрон.Ж., 1973, **50**, 645.
- [12] Станкевич К.С. // Письма в Астрон.Ж., 1977, **3**, 349.
- [13] Станкевич К.С. // Письма в Астрон.Ж., 1987, **13**, 118.
- [14] Станкевич К.С. // Астрон.Ж., 1994, **71**, вып.3, 395.
- [15] Tan, S.M., Gull, S.F. // Monthly Not. Roy. Astron. Soc., 1985, **216**, 949.
- [16] Троицкий В.С., Станкевич К.С., Цейтлин Н.М., Кротиков В.Д., Бондарь Л.Н., Стрежнева К.М., Рахлин В.Л., Иванов В.П. и др. // Астрон.Ж., 1971, **48**, 1150.

- [17] Tuffs, R.J. // Monthly Not. Roy. Astron. Soc., 1986, **219**, 13.
- [18] Write, R.L., & Long, K.S. //ApJ, 1983, **264**, 196.
- [19] Шкловский И.С. //Астрон.Ж., 1960, **37**, 256.

А.Е. Дудоров, А.Г. Жилкин (ЧелГУ)
МГД-коллапс протозвездных облаков

Аннотация

Рассмотрена задача численного моделирования двумерного гравитационного МГД-коллапса протозвездных облаков. Построен численный метод для решения уравнений двухкомпонентной смеси с учетом процессов амбиполярной диффузии, нестационарной ионизации и нагрева-охлаждения. Представлен двумерный код для моделирования МГД-коллапса на эйлеровой цилиндрической сетке на основе явной монотонной схемы Ошера 3-го порядка аппроксимации по пространству и 2-го порядка по времени. Показаны результаты тестовых расчетов гравитационного коллапса изотермического вращающегося протозвездного облака.

Введение

Теория звездообразования основана на численном моделировании газодинамики сжатия протозвездных облаков. Она объясняет образование одиночных звезд разных масс [7]. Наблюдательные данные последнего десятилетия показывают, что современное звездообразование происходит во вращающихся замагниченных межзвездных облаках [12, 1]. Согласно оценкам скоростей вращения удельные угловые моменты протозвездных облаков превышают удельные угловые моменты на 4-5 порядков [1]. То же самое можно сказать и о магнитных потоках. Проблему магнитного потока и углового момента в теории звездообразования необходимо решать в рамках самосогласованной постановки задачи. На первых этапах развития теории задачи об эволюции углового момента и магнитного потока решаются отдельно, так как в первую очередь необходимо выяснить основные процессы, обуславливающие их изменения.

Эволюция остаточного магнитного поля была исследована в ряде работ А.Е. Дудорова [12]. Было показано, что звезды могут рождаться с достаточно интенсивным *остаточным* магнитным полем. Эволюция вращающихся протозвездных облаков исследовалась до сих пор лишь при предположении локального сохранения углового момента [3]. Сжатие вращающегося замагниченного облака принципиально отличается от этого случая тем, что магнитное поле может как отводить угловой момент от облака, так и перераспределять его между центральными частями и оболочкой.

Численные расчеты в полуторамерном кинематическом приближении [13, 14] показывают, что геометрия и напряженность остаточного магнитного поля молодых звезд, а также эффективность магнитного

торможения вращения зависят, в основном, от степени девмороженности магнитного поля протозвезд [12]. Величина степени девмороженности определяется эффективностью магнитных диффузионных процессов. Как амбиполярная, так и омическая диффузия магнитного поля развиваются на продвинутых стадиях коллапса протозвездных облаков, когда перепад плотности от центра к периферии превышает 5-6 порядков величины. При этом степень ионизации вещества, хотя и достаточно коротковременно, падает до таких предельно низких значений, что становится существенным нестационарный рекомбинационный распад плазмы.

Перечисленные особенности обуславливают необходимость численного моделирования коллапса межзвездных облаков в рамках приближения многокомпонентной смеси. В данной работе дается математическое обоснование возможности исследования поставленной задачи (см. следующий раздел) с помощью модифицированного метода Лакса-Фридрихса-Ошера [4,5] (см. раздел о численных методах решения). Описание численной реализации метода приведено там же. Сравнительная характеристика проведенных тестовых расчетов кратко изложена в последнем разделе.

Постановка задачи

Основные уравнения

Межзвездные (протозвездные) облака состоят из нейтральной (атомы, молекулы и частицы космической пыли) и заряженной (электроны и ионы, а также заряженная пыль) компонент. В первом приближении при моделировании коллапса протозвездных облаков пыль можно считать лишь как рекомбинационный сток электронов и ионов и описывать динамику коллапса в приближении трехкомпонентной смеси (электроны e , ионы i и нейтралы n) (см. [10]).

Практическое моделирование МГД-коллапса протозвездных облаков в рамках приближения трехкомпонентной смеси требует трудоемкой процедуры согласования скоростей основных компонент. Итерационной процедуры согласования скоростей можно избежать, если описывать динамику МГД-коллапса в рамках *диффузионного* приближения [12], в котором нейтралы рассматриваются в качестве основной компоненты газа протозвездных облаков, а электроны и ионы — в качестве диффузионной добавки. Введя дополнительно к обычно определяемым массовым

переменным “диффузионные” переменные: степень ионизации

$$x = \frac{\rho_e + \rho_i}{\rho}, \quad \rho = \rho_e + \rho_i + \rho_n \quad (1)$$

и скорость амбиполярной диффузии

$$\mathbf{v}_A = \mathbf{v}_p - \mathbf{v}_n, \quad (2)$$

где \mathbf{v}_n и \mathbf{v}_p — массовые скорости нейтралов и электрон-ионной плазмы, и предполагая, что степень ионизации мала ($x \leq 10^{-5}$), систему МГД-уравнений трехкомпонентной смеси можно привести к следующему виду:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \nabla_k (\rho v^k) = 0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial (\rho v^i)}{\partial t} + \nabla_k [g^{ik} P + \rho v^i v^k - \sigma^{ik}] = -\nabla^i \Phi, \quad (4)$$

$$\frac{\partial (x\rho)}{\partial t} + \nabla_k (x\rho V^k) = 0, \quad (5)$$

$$\frac{\partial (x\rho V^i)}{\partial t} + \nabla_k [g^{ik} P_p + x\rho V^i V^k - \sigma^{ik}] = -x\rho\tau^{-1}v_A^i - x\rho\nabla^i \Phi + pV^i S, \quad (6)$$

$$\frac{\partial B^i}{\partial t} = [\nabla, [\mathbf{V}, \mathbf{B}] - \nu_m [\nabla, \mathbf{B}]]^i, \quad (7)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} \left(\rho\varepsilon + \rho \frac{v^2}{2} + \rho\Phi + \frac{B^2}{8\pi} \right) + \\ & + \nabla_k \left\{ \rho v^k \left[\varepsilon + \frac{P}{\rho} + \Phi + \frac{v^2}{2} \right] + [\mathbf{B}, [\mathbf{V}, \mathbf{B}] + \nu_m [\nabla, \mathbf{B}]]^k + q^k \right\} = \rho Q, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\Delta\Phi = 4\pi G\rho, \quad \nabla \cdot \mathbf{B} = 0, \quad P = (\gamma - 1)\rho\varepsilon, \quad (9)$$

где тензор натяжений Максвелла:

$$\sigma^{ik} = \frac{B^i B^k}{4\pi} - \delta^{ik} \frac{B^2}{8\pi}, \quad (10)$$

S — функция источника ионов, $\mathbf{V} = \mathbf{v} + \mathbf{v}_A$, P_p — давление плазменной компоненты, τ^{-1} — частота столкновений ионов с нейтралами, ν_m — магнитная вязкость, \mathbf{q} — лучистый поток, Q — функция нагрева-охлаждения. При выводе системы (3)-(8) учитывалось, что ионы и электроны движутся с одной массовой скоростью ввиду амбиполярности плазмы.

Начальные и граничные условия

Коллапс вращающихся замагниченных протозвездных облаков можно исследовать в рамках осесимметричного приближения, если начальное однородное магнитное поле \mathbf{B} коллинеарно угловой скорости вращения облаков $\Omega = [\mathbf{r}, \mathbf{v}]$. При этом задачу о коллапсе протозвездных облаков, инициированном как гравитационной неустойчивостью, так и амбиполярной диффузией, можно рассматривать в двумерной расчетной области ($0 \leq r \leq R$, $0 \leq z \leq Z$). Начальные условия для коллапса твердотельно-вращающегося сферически-симметричного облака с массой, превышающей критическую относительно гравитационной неустойчивости, соответствуют выбору начальных значений плотности ρ_0 или радиуса R_0 , а также параметров α , β , γ — являющихся отношениями начальных значений тепловой энергии, кинетической энергии и магнитной энергии к модулю гравитационной энергии, соответственно. Следовательно, начальные условия задаются соотношениями:

$$\rho = \rho_0, \quad x = x_0, \quad \varepsilon = \varepsilon_0, \quad \mathbf{v} = 0, \quad \mathbf{v}_A = 0, \quad \mathbf{B} = \mathbf{B}_0. \quad (11)$$

Условия на внешней границе расчетной сетки соответствуют условиям сжатия самогравитирующего облака из заданного объема. При этом нормальные компоненты массовой скорости и скорости амбиполярной диффузии должны быть нулевыми, а их азимутальные компоненты — непрерывными:

$$v_n = 0, \quad \frac{\partial v_r}{\partial n} = 0. \quad (12)$$

Внешние граничные условия для магнитного поля соответствуют условиям непрерывности силовых линий:

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial n} = 0. \quad (13)$$

Подобные внешние граничные условия справедливы также для плотности, внутренней энергии и степени ионизации.

Граничные условия на оси симметрии и экваториальной плоскости задаются из условий аксиальной и зеркальной симметрии. Граничные условия для массовой скорости и скорости амбиполярной диффузии соответствуют условиям: на оси вращения

$$v_r = v_\varphi = 0, \quad \frac{\partial v_z}{\partial r} = 0, \quad (14)$$

на экваториальной плоскости

$$\frac{\partial v_r}{\partial z} = \frac{\partial v_\varphi}{\partial z} = 0, \quad v_z = 0. \quad (15)$$

Магнитное поле на оси вращения удовлетворяет соотношениям:

$$B_r = B_\varphi = 0, \quad \frac{\partial B_z}{\partial r} = 0, \quad (16)$$

на экваториальной плоскости — условиям непрерывности силовых линий (13).

Численный метод решения

Специфика численного моделирования МГД-коллпаса межзвездных облаков.

При моделировании МГД-коллпаса важно учитывать следующие характерные особенности постановки задачи (3)-(8) с начальными и граничными условиями (11)-(16):

- существенная нестационарность процесса коллапса требует необходимости обеспечения достаточно высокого порядка точности численной схемы по времени.
- Резко неоднородная структура решения в расчетной области и существенное уменьшение размеров коллапсирующего протозвездного облака совместимы лишь с неявными методами. Это обуславливается тем, что классическое условие Куранта-Фридрихса-Леви явных схем ввиду резких перепадов величин от границы облака к его центру и возрастания альвеновской скорости на несколько порядков может давать ограничение временных шагов, не совместимое с характерным временем эволюции неоднородного протозвездного облака. Таким образом, с помощью только явных методов не удастся довести расчет коллапса до его продвинутых стадий.
- Для расчета коллапса требуется достаточно тонкое пространственное разрешение, так как динамическая концентрация газа к центру облака в процессе сжатия может привести к тому, что практически весь активный процесс сосредоточится в небольшой центральной части расчетной области. Поэтому в конечной реализации численной схемы важно не только использование пространственных аппроксимаций высокого порядка точности, но также динамически адаптивной (подвижной) сетки, постепенно сгущающей свои ячейки к центру расчетной области.

Общая схема расчета.

Систему уравнений (3)-(8) можно представить в следующей векторной форме:

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial r} + \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial z} = \mathbf{R}, \quad (17)$$

где \mathbf{u} — вектор консервативных переменных, \mathbf{F} и \mathbf{G} — вектора потоков в радиальном и вертикальном направлениях; \mathbf{R} — вектор источников. Для численного решения системы уравнений сохранения (17) применялся метод Лакса-Фридрихса-Ошера [5]. Потоки в исходной численной схеме (для простоты рассмотрим только радиальное направление)

$$\frac{\partial \mathbf{u}_i}{\partial t} + \frac{\mathbf{H}_{i+1/2} - \mathbf{H}_{i-1/2}}{\Delta r_i} + \dots = \mathbf{R}_i \quad (18)$$

вычисляются согласно следующему алгоритму. Вначале вычисляем потоки по методу Лакса-Фридрихса:

$$\mathbf{H}_{i+1/2}^L = \frac{\mathbf{F}_i + \mathbf{F}_{i+1}}{2} - \frac{\lambda_{i+1/2}}{2}(\mathbf{u}_{i+1} - \mathbf{u}_i), \quad (19)$$

где

$$\lambda_{i+1/2} = \max_k (|\lambda_i^k|, |\lambda_{i+1}^k|), \quad (20)$$

λ^k — собственные значения матрицы гиперболичности

$$A = \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{u}} \quad (21)$$

системы (17). Схема Лакса-Фридрихса (19) является монотонной консервативной схемой и имеет 1-й порядок точности по пространству.

Для повышения порядка аппроксимации схемы, но с учетом сохранения свойства монотонности Ошером было предложено скорректировать потоки (19) согласно следующей формуле:

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_{i+1/2} = \mathbf{H}_{i+1/2}^L &- \frac{1-\phi}{4} \minmod(\mathbf{H}_{i+3/2}^-, \beta \mathbf{H}_{i+1/2}^-) \\ &- \frac{1+\phi}{4} \minmod(\mathbf{H}_{i+1/2}^-, \beta \mathbf{H}_{i+3/2}^-) \\ &+ \frac{1+\phi}{4} \minmod(\mathbf{H}_{i+1/2}^+, \beta \mathbf{H}_{i-3/2}^+) \\ &+ \frac{1-\phi}{4} \minmod(\mathbf{H}_{i-3/2}^+, \beta \mathbf{H}_{i+1/2}^+), \end{aligned} \quad (22)$$

где ϕ и β ($1 < \beta < \frac{3-\phi}{1-\phi}$) — параметры схемы,

$$\mathbf{H}_{i+1/2}^- = \mathbf{H}_{i+1/2} - \mathbf{F}_i, \quad (23)$$

$$\mathbf{H}_{i+1/2}^+ = \mathbf{F}_{i+1} - \mathbf{H}_{i+1/2}, \quad (24)$$

$$\minmod(x, y) = \text{sign}(x) \max(0, \min(|x|, y \cdot \text{sign}(x))). \quad (25)$$

При $\phi = 1/3$ схема имеет третий порядок точности по пространству. В остальных случаях — второй. Условие устойчивости схемы Лакса-Фридрихса-Ошера можно записать в виде:

$$\Delta t = \frac{4}{5 - \phi + \beta(1 + \phi)} \min \left(\frac{\Delta r}{\lambda} \right). \quad (26)$$

Аппроксимацию временной производной в (17) можно получить, например, с помощью метода Рунге-Кутты 2-го порядка.

Чтобы применить только что описанную численную схему к системе уравнений (3)-(8), необходимо вычислить собственные значения соответствующей матрицы гиперболичности. После некоторых вычислений был получен следующий набор собственных значений:

$$\begin{aligned} \lambda_{1,2} &= v_r, & \lambda_{3,4} &= v_r \pm c, & \lambda_{5,6} &= V_r \pm a_r, \\ \lambda_{7,8,9,10} &= V_r \pm \frac{1}{2} \sqrt{c_p^2 + a^2 + 2a_r c_p} \pm \frac{1}{2} \sqrt{c_p^2 + a^2 - 2a_r c_p}, \end{aligned} \quad (27)$$

где

$$a = \frac{\mathbf{B}}{\sqrt{4\pi x \rho}}, \quad (28)$$

$$c = \sqrt{\gamma \frac{P}{\rho}}, \quad c_p = \sqrt{\gamma \frac{P_p}{\rho}}. \quad (29)$$

Аналогично строится z — часть численной схемы. Следует заметить, что формулы (27) не переходят при $x = 1$ в соответствующие формулы идеальной МГД [15], так как система (3)-(8) получена в предположении малых степеней ионизации.

Уравнение Пуассона для гравитационного потенциала решалось с помощью *схемы переменных направлений* Дугласа-Рэкфорда [11]. Однако, в наших расчетах используется неоднородная сетка, и значит стандартный алгоритм Дугласа-Рэкфорда для выбора последовательности шагов итерационного времени использовать нельзя. Поэтому для итерационной последовательности мы использовали некоторое эмпирическое выражение [2].

Тестирование численного метода.

Для проверки правильности и точности работы численного кода были проведены тестовые расчеты задач, для которых известно аналитическое решение:

- Распад произвольного разрыва [16];
- Расчеты гравитационного потенциала для различных модельных распределений плотности;
- Сферически-симметричный коллапс при отсутствии газового давления (пылевая сфера);
- Сферически-симметричный изотермический коллапс [8];
- Изотермический коллапс вращающегося облака [9] ;
- Изотермический коллапс облака с замороженным магнитным полем [6].

Здесь приведены только некоторые результаты тестового расчета коллапса изотермического вращающегося облака на расчетной сетке 100×100 ячеек с начальными параметрами модели: $\alpha = 0.12$, $\beta = 0.03$. Для того, чтобы избежать сильных градиентов на границе облака, во внешней области плотность была задана экспоненциально убывающей. Само облако в начальный момент времени имело форму шара радиуса $R_0 = 0.9$ и плотности $\rho_0 = 1$.

Результаты расчетов иллюстрируются рисунками 1 и 2. На рис. 1a показано распределение плотности в момент времени $t_1 = 0.8721t_{ff}$. К этому моменту времени в результате действия центробежной силы центральная часть облака приняла форму сплюснутого эллипсоида вращения с отношением полуосей порядка 0.75. В момент времени $t_2 = 1.0053t_{ff}$ (см. рис. 1b) сплюснутость облака увеличилась еще больше до величины < 0.5 . Плотность в центре в этот момент выросла до ≈ 65 . На рис. 2a, 2b показаны распределения плотности вдоль оси симметрии и вдоль экваториальной плоскости для моментов времени $t = 0$, $t = t_1$, $t = t_2$. На графиках также показана кривая $\rho \propto r^2$, которая соответствует автомодельному решению для изотермического сферически-симметричного коллапса. В результате вращения облака вдоль оси симметрии формирующийся неоднородный профиль плотности имеет наклон меньше, чем для кривой r^2 , а вдоль экваториальной плоскости профиль плотности с течением времени становится все более крутым.

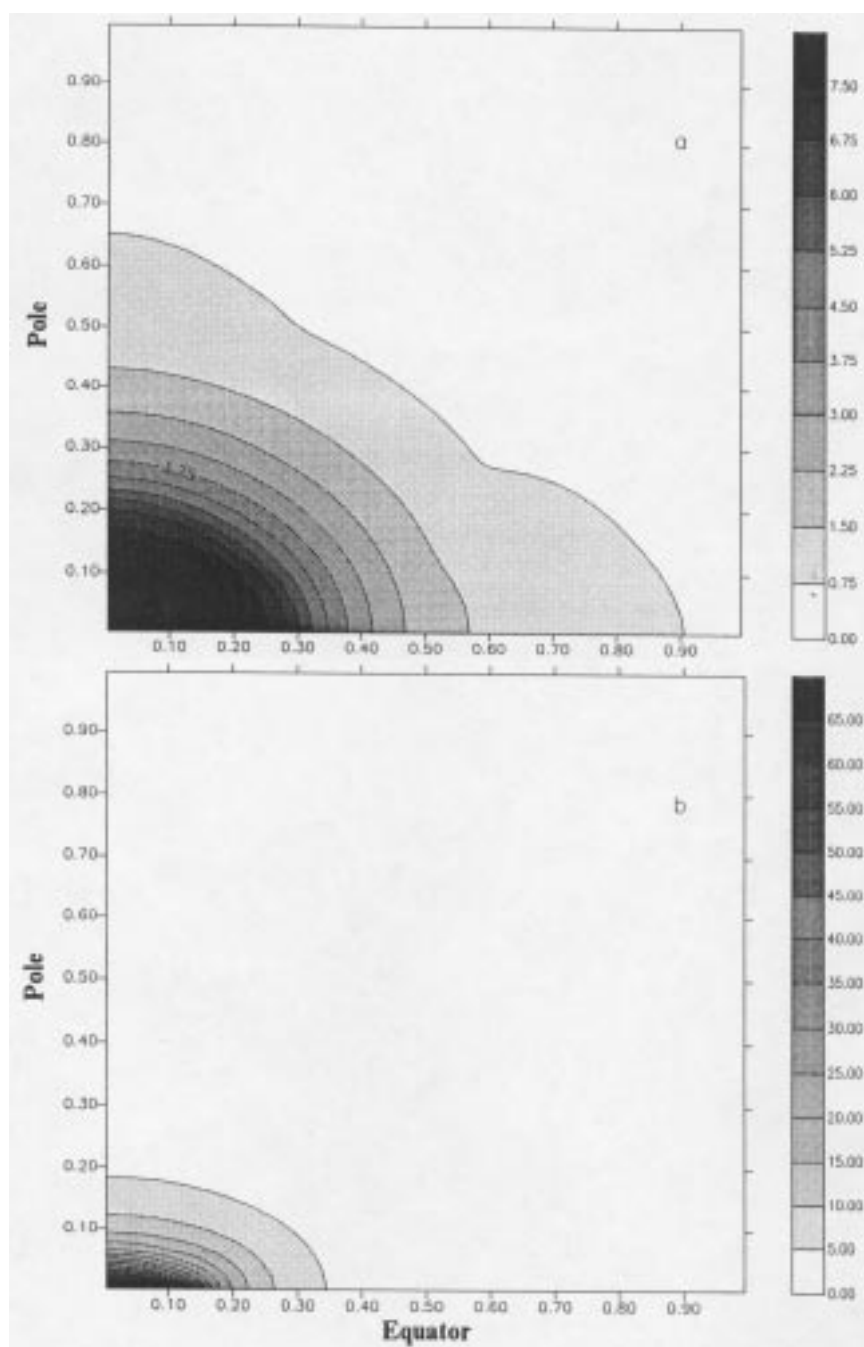


Рис. 1. Контуры распределения плотности для момента времени (а) $t = 0.8721t_{ff}$ и (б) $t = 1.0053t_{ff}$.

Заключение

Таким образом, нами построен и протестирован 2D-код для моделирования гравитационного МГД-коллапса. Тесты показали, что этот численный код обладает достаточной точностью для решения данного класса задач, однако, вместе с тем, хотелось бы для моделирования продвинутых стадий коллапса иметь неявный код.

Авторы благодарят О.А Кузнецова за полезные обсуждения особен-

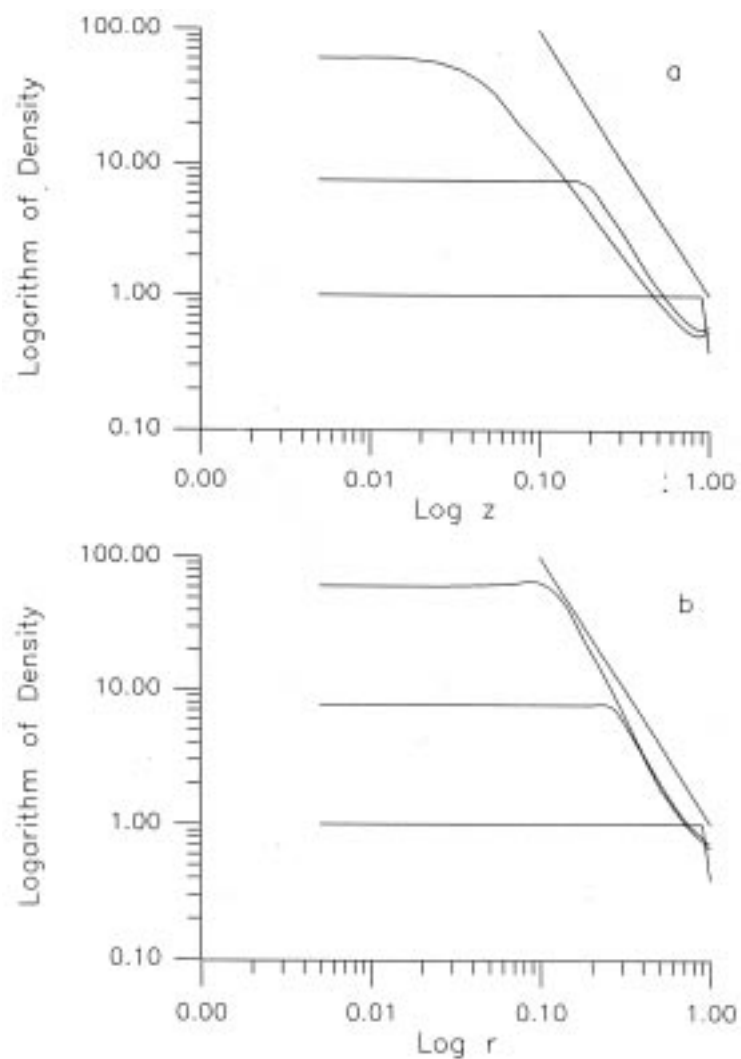


Рис. 2. Распределение плотности вдоль оси симметрии **(a)** и на экваториальной плоскости **(b)** для моментов времени $t = 0.0$, $t = 0.8721t_{ff}$ и $t = 1.0053t_{ff}$. Показана прямая линия с коэффициентом наклона -2 , соответствующая автомодельному решению.

ностей численного метода. Эта работа частично финансировалась грантом №18 Федеральной программы “Астрономия”.

Литература

1. Basu S., Mouschovias T.Ch. // ApJ, 1994, **432**, 720.
2. Black D.C., Bodenheimer P. // ApJ, 1975, **199**, 619.
3. Burkert A., Bodenheimer P. // MNRAS, 1993, **264**, 798.
4. Chakravarthy S.R., Osher S. // AIAA, 1983, **9**, 1241.
5. Chakravarthy S.R., Osher S. // AIAA, 1985, **85**, 363.
6. Galli D., Shu F.H. // ApJ, 1993, **417**, 220.
7. Palla F., Stahler S.W., / In “International Meeting on the nature and evolutionary status of Herbig Ae/Be stars”, Astron. Soc. of the Pacific Conference Series, Eds. Pik Sin The, Mario R. Perez and P.J. van den Heuvel, 1994, 384.
8. Shu F.H. //ApJ, 1977, **214**, 488.
9. Terebye S., Shu F.H., Cassen P. //ApJ, 1984, **286**, 529.
10. Гершман Б.Н., Ерухимов Л.М., Яшин Ю.А. *Волновые явления в ионосфере и космической плазме*, М: Наука, 1984, 392 с .
11. Годунов С.К., Рябенкий В.С. Разностные схемы. М: Наука, 1977, 439 с.
12. Дудоров А.Е. *Магнитное поле межзвездных облаков* (Москва: ВИНТИ), 1990, 158 с.
13. Дудоров А.Е. //Астрон.Журн., 1995, **77**, N6, 884.
14. Дудоров А.Е., Сазонов Ю.В. //Научные информации, 1987, **63**, 68.
15. Колдоба А.В., Кузнецов О.А., Устюгова Г.В. *Квазимонотонные разностные схемы повышенного порядка аппроксимации для уравнений МГД*, М: ИПМ РАН, 1992, препринт №69.
16. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Гидродинамика*, М: Наука, 1986, 736 с.

*Ю.Н. Бондаренко, В.Ю. Гуторов,
И.А. Лаптев, П.В. Щеглов (ГАИШ МГУ)*
**Интерферометр Фабри-Перо с двойным
прохождением для линии [OIII]-5007Å**

В конце шестидесятих годов были предприняты попытки обнаружения сверхзвуковых течений газа в оболочках планетарных и диффузных туманностей. Полученные результаты свидетельствуют о наличии больших скоростей вещества, связанных, по предположению Т. Менона, со звездным ветром ядер планетарных туманностей или горячих О-звезд. В 1968 году с помощью эталона Фабри-Перо (ЭФП) и применением маскирующих кольцевых диафрагм были получены изображения ряда туманностей в различных интервалах скоростей [1].

Так, в диффузных туманностях NGC 6618 (“Омега”) и NGC 1976 (“Туманность Ориона”) и планетарной туманности NGC 6853 удалось зафиксировать скорости вещества до 125 км/с. После этой работы дальнейшее исследование предпринял Н.И.Грачев [2] с помощью фотоэлектрического ЭФП в линии H_β . Основным результатом его работы является получение профиля H_β туманности Ориона, показывающего наличие скоростей ± 90 км/с с интенсивностью 1 — 2% относительно центра линии. Малое отношение сигнала к шуму для остальных объектов (исследовались диффузные туманности NGC 6523, 7538, 7635 и планетарные NGC 6720, 6826, 7009, 7027 и 7662) не позволяет уверенно говорить о наличии скоростей хотя бы 100 км/с.

Отсутствие новых данных, по которым можно было бы уверенно судить о природе высоких скоростей вещества в туманностях, привело нас к выводу, что необходима аппаратура, способная регистрировать слабые, по отношению к максимуму, световые потоки в крыльях линий излучения исследуемых объектов. Учитывая тот факт, что высокоскоростные компоненты имеют малую интенсивность, делающую затруднительным их уверенную регистрацию на фоне ядра линии с малыми скоростями, мы старались создать прибор как можно с большим контрастом.

Как известно, контраст эталона всецело зависит от коэффициента отражения отражающих зеркал. Делая коэффициент отражения слишком большим (близким к единице), мы тем самым понижаем пропускание эталона. Повышение отражающей способности слоев выгодно для лазерной спектроскопии, но никак не для астрономической, которая работает со слабыми световыми потоками. С современными отражающими покрытиями, с коэффициентами $R = 0.94$ и выше, теория дает контраст

1000 для одной пары пластин. На самом деле, в реальных условиях наблюдений, достигается контраст на порядок величины меньше. Это, по-видимому, связано, в первую очередь, с рассеянным светом в приборе, паразитной засветкой и несовершенством приемной аппаратуры.

Увеличение контраста и разрешающей силы может быть достигнуто, если идти по пути увеличения в серии числа эталонов, работающих как единое целое. Подобные устройства не редкость для спектроскопической практики. Интересный вариант интерферометра, который называли “PEPSIOS”, был разработан Маск [3]. Установка состояла из трех эталонов со специально подобранным отношением толщин разделителей так, чтобы в совокупности интерферометр имел одну узкую полосу пропускания. Интерферометр использовали для изучения межзвездного поглощения линии D по наблюдению α Cyg.

Сложность в настройке такого типа приборов заставила нас отказаться от этого варианта и пойти по пути “multi-pass” интерферометров, которые широко применяются в лазерной спектроскопии. Нами был разработан и изготовлен прибор, оптическая схема которого представлена на рис. 1.

Свет от диафрагмы D_1 , пройдя через интерференционный фильтр, коллимируется линзой L_1 и падает на эталон. На пластинах эталона линзой L_3 строится выходной зрачок телескопа. Линза L_2 , расположенная софокусно с L_1 , через призму P_{90} строит изображение диафрагмы D_1 на диафрагме D_2 . Далее процесс повторяется и пучок проходит второй раз через эталон. Остальные оптические элементы доводят свет от

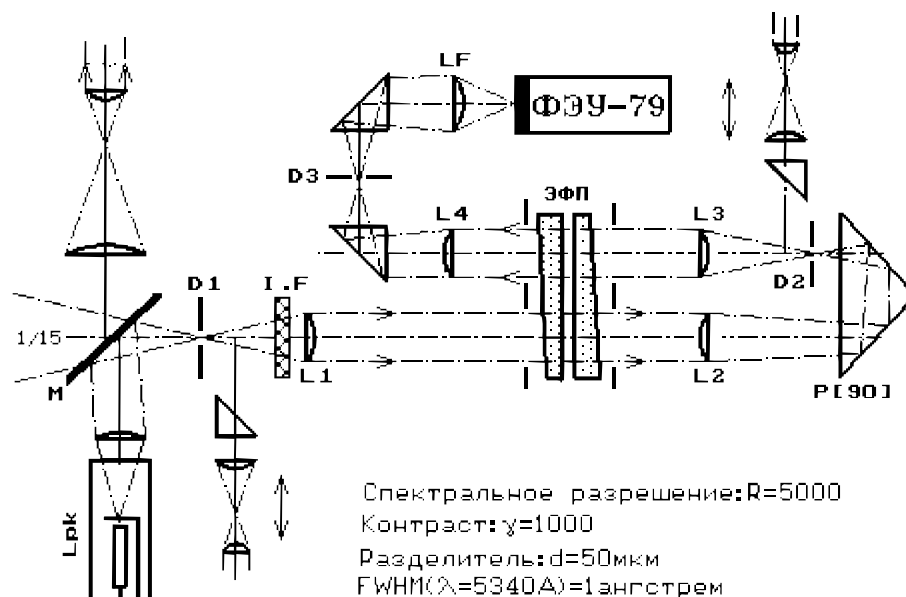


Рис. 1. Оптическая схема прибора.

объекта до приемника излучения. Наличие подсмотров позволяет контролировать положение объекта в поле зрения диафрагмы, а также совпадение изображений диафрагм D_1 , D_2 , D_3 . Как показал опыт, наличие диафрагм сильно уменьшает рассеянный свет и тем самым позволяет достигнуть нужного контраста.

а) Эталон Фабри-Перо

Пластины эталона имеют диаметр 60 мм и разделены стальными прокладками толщиной $d = 50$ мкм. Разделители были вытравлены кислотой из автомобильного щупа и отполированы до нужной толщины. Коэффициент отражения зеркал $R = 0.94$. Собранный эталон, в массивной медной оправе, располагается в герметичном газовом баке, имеющем два кварцевых просветленных окна для прохождения света. Конструкция бака позволяет юстировать эталон, не нарушая его герметичности, а также наклонять бак вместе с эталоном относительно оптической оси интерферометра. Во время наблюдений внутри бака поддерживается постоянная температура на уровне 30°C с точностью $\pm 0.5^\circ\text{C}$. Поскольку толщина разделителей небольшая, то такая точность термостатирования вполне пригодна для проведения измерений и не сказывается на форме инструментального профиля.

б) Система сканирования

В интерферометре используется система газового сканирования, как наиболее простая и дающая хорошие результаты. Сканирование осуществляется путем изменения давления газа между пластинами эталона. В нашем случае применяется дихлордифторметан CClF_2 (фреон-12), обладающий одним из наибольших показателей преломления $(n - 1) \times 10^3 = 10.5$ в нормальных условиях. Газ не ядовит и не горюч. Контроль за изменением давления ведется по образцовому манометру, одно деление которого соответствует смещению полосы пропускания ЭФП на 0.1\AA . Вся шкала манометра соответствует 10\AA .

в) Приемник излучения

В качестве приемника излучения служит отобранный отечественный ФЭУ-79 с темновым шумом $5 - 10$ имп/с при комнатной температуре. Проведенные исследования его счетной характеристики при температуре охлаждения $t = -1^\circ\text{C}$ показали уровень шума $1 - 3$ имп/с с протяженностью плато 300 вольт. Рабочее стабилизированное напряжение на катоде можно выбирать от 1.4 кВ до 1.8 кВ с шагом 100 вольт. Импульсы, усиленные после ФЭУ, поступают на частотомер и на схему стрелочно-звуковой индикации. Во время разработки юстировочных приспособлений был придуман метод юстировки пластин ЭФП (по максимуму сигнала), а также всего интерферометра в целом. Элек-

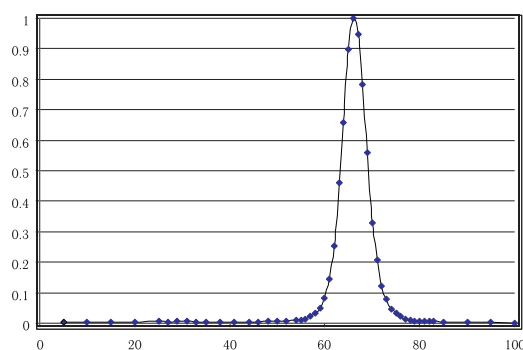


Рис. 2. Профиль сравнения — $H_{\beta}(4861)$.

трическая схема выдает звуковую частоту, пропорциональную частоте следования электронных импульсов с фотокатода ФЭУ, тем самым позволяя качественно судить о величине светового потока, попадающего на фотокатод.

г) Спектр сравнения

Немаловажную роль в измерениях играет спектр сравнения, к которому в дальнейшем привязываются все наблюдения. В качестве такого опорного пункта используются лампы с полым катодом, светящиеся в узких спектральных линиях. Поскольку наблюдения ведутся на длине волны 5007 \AA [ОIII], то желательно иметь линию сравнения, близкую к указанной. Идеальный вариант, когда линия сравнения точно совпадает с линией объекта, но, к большому сожалению, этого трудно достичь на практике. Сейчас используется бариевая лампа с полым катодом ($\lambda = 4934 \text{ \AA}$) или Гейслерова водородная трубка (см. рис. 2).

Проверка работоспособности интерферометра проводилась на телескопе “Цейсс-600” Крымской лаборатории ГАИШ. За время наблюдений были получены профили линии запрещенного кислорода [ОIII] от ряда туманностей (см. рис. 3, 4, 5, 6).

Все графики даны без учета инструментального контура. По оси ординат отложена интенсивность в относительных единицах. По оси абсцисс — давление газа по шкале манометра (ЕМ). Хорошо видно, что все представленные профили имеют различную форму, а некоторые из них (NGC 6543, “Омега”) — ярко выраженные крылья. Это свидетельствует о наличии внутренней динамики газа. Входная диафрагма D_1 (см. рис. 1) диаметром 3 мм на телескопе с относительным отверстием $1/15$ вырезает площадку на небе диаметром $100''$. Большая часть туманностей имеет угловые размеры $20 - 40''$. Поэтому получаемые профили содержат в себе движение оболочки, имеющее небольшие скорости $20 - 50 \text{ км/с}$, и локальные внутренние движения с большими скоростями. Если скорости внутренних движений большие (от 100 км/с и выше),

то они могут проявиться в виде дополнительных максимумов в крыльях линии с небольшим отношением сигнала к шуму. Для обнаружения подобных скоростей требуются более тщательные наблюдения и их дальнейшая обработка.

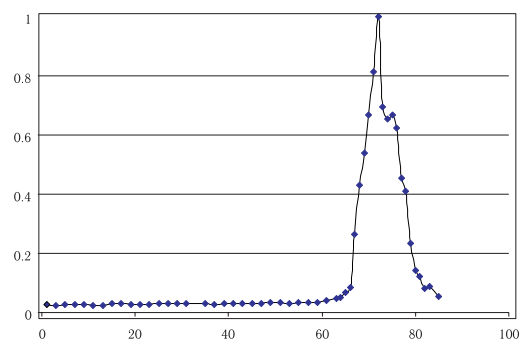


Рис. 3. Профиль линии $[\text{OIII}] - 5007$ от NGC 6210.

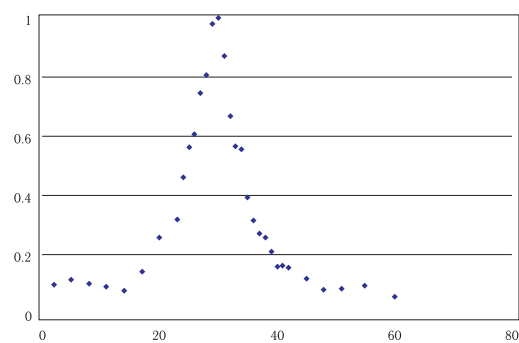


Рис. 4. Профиль линии $[\text{OIII}] - 5007$ от NGC 6543.

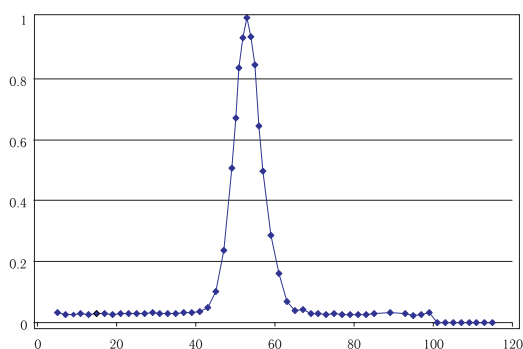


Рис. 5. Профиль линии $[\text{OIII}] - 5007$ от NGC 7027.

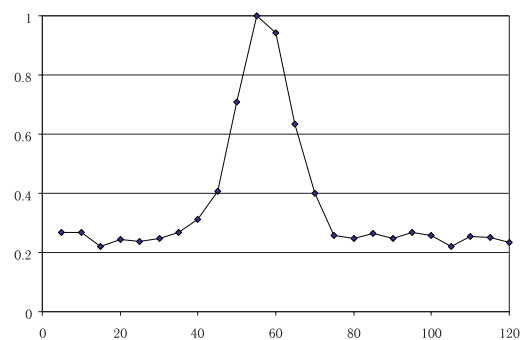


Рис. 6. Профиль линии [OIII] –5007 от диффузной туманности “Омега”.

Литература

1. Sheglov P.V. // Astrophys. Lett., 1968, **1** , 145.
2. Грачев Н.И. *Диссертация на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук*, МГУ, ГАИШ, 1973.
3. Mack J.E., McNutt D.P., Rösler F.L., and Chabbal R. // Appl. Opt., 1963, **2**, 873.

Т.А. Лозинская (ГАИШ МГУ)
**Сверхновые и звездный ветер
в межзвездной среде**

Аннотация

Кратко суммированы современные представления о влиянии сверхновых и звездного ветра на межзвездный газ. В качестве иллюстрации представлены результаты наблюдений двух уникальных объектов в галактике IC1613: туманности, связанной со звездой редкого класса WO, и остатка вспышки сверхновой.

Введение

Мне повезло вдвойне: после окончания МГУ я была принята на работу в отдел И.С.Шкловского и в той же комнате сидел С.Б.Пикельнер. И.С.Шкловский тогда (и до конца дней) был увлечен анализом природы и эволюции остатков вспышек сверхновых (ОВС); С.Б.Пикельнер рассчитывал свечение газа за фронтом ударной волны в ОВС Петля Лебедя. А в 1967 г., после первых внеатмосферных наблюдений, когда стало ясно, что звездный ветер — широко распространенное явление, С.Б.Пикельнер первым рассмотрел действие ветра на межзвездный газ. Т.е. я оказалась в том месте (и в нужное время), где закладывались основы современного понимания физики ОВС, с одной стороны, и где был фактически начат новый раздел астрофизики: звездный ветер в межзвездной среде — с другой стороны. Это определило мою судьбу с самого начала, и уже ясно, что до самого конца. В 1963 г. И.С.Шкловский дал мне первую самостоятельную тему — собрать эталон Фабри-Перо с ЭОП, чтобы измерить скорость расширения ОВС IC433. Это оказалось фатально интересным, я не смогла остановиться, пока не определила скорость расширения всех доступных для наблюдений ОВС северного неба (кроме Петли в Лебеде, для которой эта величина была измерена в трех работах: Хаббла, Фесенкова и Минковского еще в 1937-1958 гг.). А из-за постоянных контактов с С.Б.Пикельнером мне удалось первой исследовать кинематику объектов нового класса — кольцевых туманностей, образованных звездным ветром. Удалось по простой причине: я начала наблюдения туманности NGC 6888, взяв ее из книги И.С.Шкловского как пример ОВС, а когда через два сезона их закончила, было ясно, что это классическая кольцевая туманность, образованная ветром центральной звезды WR. Я надолго переметнулась от ОВС к наблюдениям туманностей, выметенных ветром. И.С.Шкловский был ревнив, долго не понимал, зачем мне эти как, он говорил с подачи

В.В.Подобеда, “ветром надутые туманности”. И уже много лет спустя, когда я однажды навещала его в больнице, Иосиф Самуилович произнес очень задумчиво “А знаете, Танечка, ведь вы единственная моя настоящая ученица — все ребята сменили свою первую тему, а вы так и ковыряетесь с остатками сверхновых, только зачем-то припутали эти ветром надутые туманности.”

А я горжусь тем, что, вероятно, первой поняла общепонятную сегодня вещь: нельзя адекватно анализировать природу ОВС любого размера и любого возраста, не учитывая действие звезды-предшественника на окружающий газ.

Остатки вспышек сверхновых и выметенные звездным ветром туманности: как изменились представления об их природе.

Напомню, что по существу физика ОВС и физика туманности, образованной звездным ветром, одинакова. В обоих случаях она определяется действием ударной волны на межзвездный газ, но в одном случае ударная волна инициирована взрывом, а в другом — продолжительным действием звездного ветра.

На рис. 1 показана упрощенная принципиальная схема молодого ОВС и каверны, выметенной звездным ветром. В обоих случаях теория предсказывает и наблюдения подтверждают многослойную оболочечную структуру.

Общие представления о природе и эволюции ОВС и выметенных ветром оболочек, заложенные И.С.Шкловским и С.Б.Пикельнером, фактически не изменились. Современная теория, в основном, добавила детальные расчеты потерь энергии на высвечивание, развитие неустойчивостей и учет неоднородностей: во-первых, неоднородностей межзвездного газа (крупномасштабные градиенты плотности и двухфазная структура, плотные сгустки в разреженной среде); и во-вторых, неоднородностей оболочки сверхновой (СН) и звездного ветра (та же двухфазная структура — плотные сгустки в разреженном газе).

Сегодня скорее изменился общий подход к проблеме. Подчеркну три принципиальных момента, которые сегодня очевидны. Первый уже упоминался: выброс СН разлетается не в межзвездный газ, а в среду, уже возмущенную действием звезды-предшественника. Это существенно определяет физику ОВС, поскольку распространение ударной волны в среде с резким скачком плотности вызывает дополнительную систему прямых и возвратных ударных волн, вторично греющих и уплотняющих

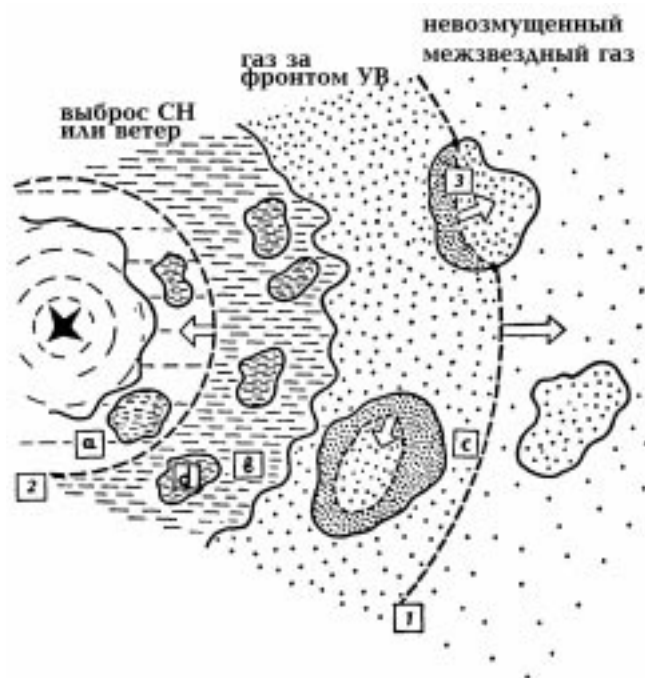


Рис. 1. Упрощенная принципиальная схема молодого ОВС и каверны, выметенной звездным ветром: **а** — невозмущенное вещество выброса сверхновой (СН) или свободно расширяющийся невозмущенный звездный ветер. В случае вспышки СН типа II, сопровождающейся образованием пульсара, центральная область заполнена облаком релятивистской плазмы с магнитным полем; **б** — внутренняя геометрически толстая оболочка: газ выброшенной при вспышке оболочки СН или газ ветра, нагретый “возвратной” ударной волной; **с** — внешняя оболочка — межзвездный газ, сжатый и нагретый ударной волной.

газ, усиливающих магнитное поле и т.д. А таких скачков плотности вокруг звезды-предшественника образуется несколько, и это содержание второго момента.

Сегодня ясно, что структура околозвездной среды много сложнее, чем предсказывает классическая теория действия звездного ветра. Уже давно известны три типа кольцевых туманностей вокруг звезд WR и Of [?, ?, ?, ?]:

- 1 — выметенные ветром оболочки,
- 2 — выброшенные звездой оболочки,
- 3 — НII-области с кольцевой морфологией.

Современные “глубокие” изображения позволяют выделить эти три типа вокруг одной и той же звезды.

Классический пример — система четырех concentрических оболочек вокруг звезды Of HD148937, где наблюдаются центральная яркая выброшенная звездой оболочка NGC 6164/5 (размер 2-3 пк), внешняя слабая выметенная ветром тонковолокнистая оболочка (размер 10-12 пк), и обе локализованы в центре диффузной НII-области, окруженной слоем

пыли (размер 50-60 пк) [?, ?].

Даже прототип выметенных ветром оболочек: яркая туманность NGC 6888 вокруг WR136 — на поверку оказалась звездным выбросом. Оболочка, выметенная ветром центральной звезды WR136, представлена очень слабыми тонкими периферийными волокнами, яркими в линии [OIII] (см. фотографию в [?]). А IRAS-изображение области выявило внешнюю протяженную ИК оболочку вокруг NGC6888 размером около 40 пк [?, ?], которая в свою очередь окружена оболочкой нейтрального водорода [?]. Вероятно, протяженная ИК оболочка образована звездой-предшественником на стадии главной последовательности. В качестве альтернативного объяснения обсуждается старый остаток СН, вспыхнувшей в тесной паре со звездой WR136.

Многочисленные примеры двойных структур (звездный выброс внутри кольцевой HII-области или выметенная ветром оболочка внутри кольцевой HII-области) обнаружены в результате глубокого обзора полной выборки звезд WR в Большом Магеллановом Облаке (БМО) [?].

Следует подчеркнуть, что такие многослойные оболочки, образованные звездой в ходе всех стадий ее эволюции, наблюдаются не всегда. Но мы всегда понимаем, как объяснить их отсутствие. Как правило, отсутствие оболочечной туманности вокруг звезд WR связано с низкой плотностью окружающей среды, выметенной ветром родительской ассоциации (вопрос детально обсуждается в [?, ?]). И это приводит нас к третьему моменту.

Массивные звезды рождаются и остаются всю жизнь в составе ОВ ассоциаций. Суммарный ветер звезд и вспышки СН выметают общие оболочки и сверхоболочки вокруг ассоциации или даже вокруг группы ассоциаций; инициируют новую волну звездообразования на периферии. И именно с учетом такой крупномасштабной структуры межзвездной среды следует анализировать любую “индивидуальную” туманность или любой остаток сверхновой. Надо сказать, что это очень сложная задача. Оболочечный комплекс в Лебеде, к которому, в частности, принадлежит упомянутая система WR136 и NGC6888, интенсивно исследуется уже второе десятилетие несколькими группами наблюдателей в нашей стране и за рубежом, в том числе в группе под руководством автора, но адекватного исчерпывающего понимания его природы до сих пор нет.

Поэтому изложенный “общий подход” к проблеме я очень кратко проиллюстрирую на примере еще незаконченных комплексных наблюдений галактики IC1613, проводимых в соавторстве с D.Helfand, M.Goss и О.Сильченко и частично представленных в [?, ?].

(К моменту подготовки настоящего сборника получены новые ре-

зультаты, которые мы не упоминали ни в докладе, ни в публикации трудов на английском языке [?], но считаем целесообразным включить в настоящий текст. Эти новые данные опубликованы в работах [?] и [?]).

Это наиболее чистый случай: в этой карликовой иррегулярной галактике, локализованной на расстоянии около 700 кпк [?], известна всего одна звезда WR, и та очень редкого класса, всего один ОВС и только одна область активного звездообразования.

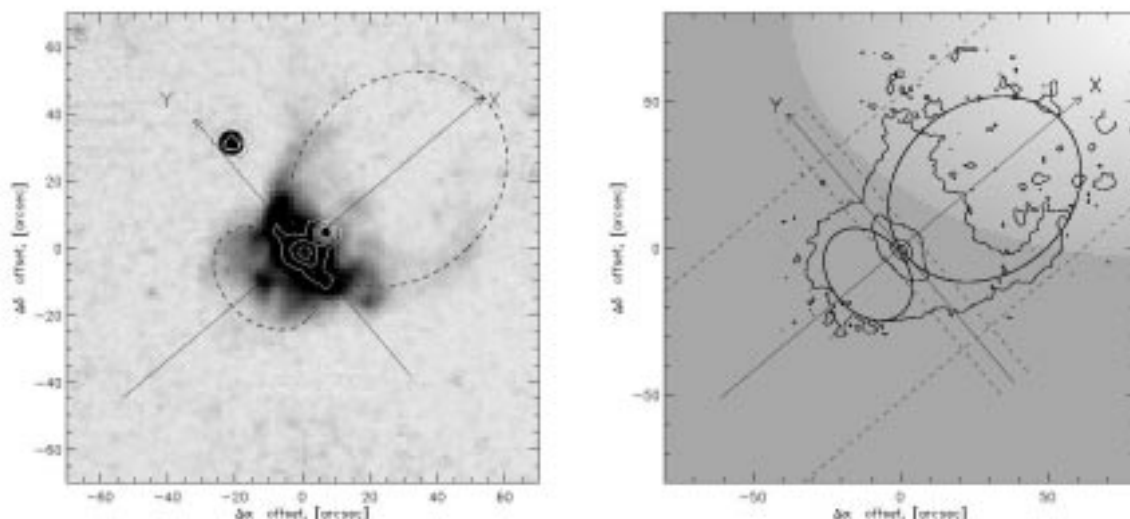
Туманность вокруг звезды WO и остаток сверхновой в IC1613.

Единственная звезда WR в IC1613 принадлежит к кислородной последовательности (WO). В галактиках Местной Группы идентифицировано всего шесть звезд WO (по сравнению с около 500 звезд WR азотной и углеродной последовательностей): три — в Галактике, по одной в ММО и в БМО и одна в IC 1613 [?, ?, ?, ?]. Звезды WO представляют собой очень короткую конечную стадию в эволюции массивных звезд, близкую к голому СО ядру, т.е. стадию непосредственно перед взрывом СН. Эта стадия характеризуется сверхмощным ветром: $V_w = (5-7)1000$ км/с, т.е. мощность ветра на порядок выше стандартного ветра звезд WR. При такой скорости каждая $1 M_\odot$ вещества ветра поставляет в окружающую межзвездную среду такую же кинетическую энергию, как и взрыв СН. И это очень горячие звезды: $T_{eff}(WO) \geq 100000$ К.

Звезда WO в IC 1613 находится в центральном ярком ядре гигантской HII области размером $29 \times 9'' = 100 \times 30$ пк с сильной эмиссией HeII 4686. Сопоставив узкополосные фотографии области в линии H_α , полученные в работах [?] и [?], и наши новые узкополосные изображения в линии [OIII], мы выделили здесь гигантскую биполярную структуру: два протяженных слабых оболочечных образования размером около 100 и 250 пк по обе стороны яркого ядра. Было высказано предположение, что это две оболочки типа blister, выметенные сверхмощным ветром звезды WO, прорвавшимся из плотного слоя газа. Ранее вокруг галактической звезды WO WR102 нами также была обнаружена яркая оболочка в плотном облаке и слабый blister, образованный мощным ветром на стадии WO, вырвавшимся за границу облака [?].

Последние наблюдения области с помощью сканирующего интерферометра Фабри-Перо в линии H_α на 6-м телескопе САО РАН выявляют эту биполярную оболочку наиболее надежно [?] (см. рис. 2а).

Нами также впервые исследована кинематика объекта и обнаружены признаки расширения обеих оболочек. Скорость расширения юго-



а

б

Рис. 2. **а:** Монохроматическое изображение области в линии H_{α} , полученное путем интегрирования излучения по всем спектральным каналам линии, из работы [?]. Изофотами показано изображение той же области в континууме вблизи линии H_{α} . Штриховой линией отмечена гигантская биполярная оболочка. **б:** Общая схема биполярной оболочечной структуры и ее расположение относительно "суперкаверны" H I. Градациями серого цвета показано распределение поверхностной плотности H I (аппроксимация данных из работы [?]; показан лишь сектор суперкаверны.)

восточной оболочки превосходит 50 км/с, северо-западной — превосходит 70 км/с.

В качестве возможного объяснения биполярной структуры внешних оболочек можно предположить, что сильный звездный ветер прорвался из плотного слоя газа, образующего "главное тело" туманности. Аргументами в пользу такой модели служит ориентация оболочки относительно протяженной области дефицита нейтрального водорода, хорошо заметной в распределении яркости излучения в линии 21 см, полученном в работе [?]. Размер этой "суперкаверны" H I соответствует 2-3' (400-600 пк), ее образование может быть связано с предшествующей активностью звезд в регионе. Общая схема биполярной оболочечной структуры, связанной со звездой WO в IC 1613, и ее расположение относительно "суперкаверны" H I показаны на рис. 2б.

Наблюдения рентгеновской обсерватории "Эйнштейн" зафиксировали в IC1613 яркий источник, причем не в центре галактики, но смещенный в сторону WO и ее туманности [?]. Подозревая, что рентгеновское излучение может быть связано с этим уникальным объектом, мы сделали заявку на ROSAT, и наблюдения были успешно проведены в 1995 г. Эти наблюдения подтвердили опубликованное уже после нашей заяв-

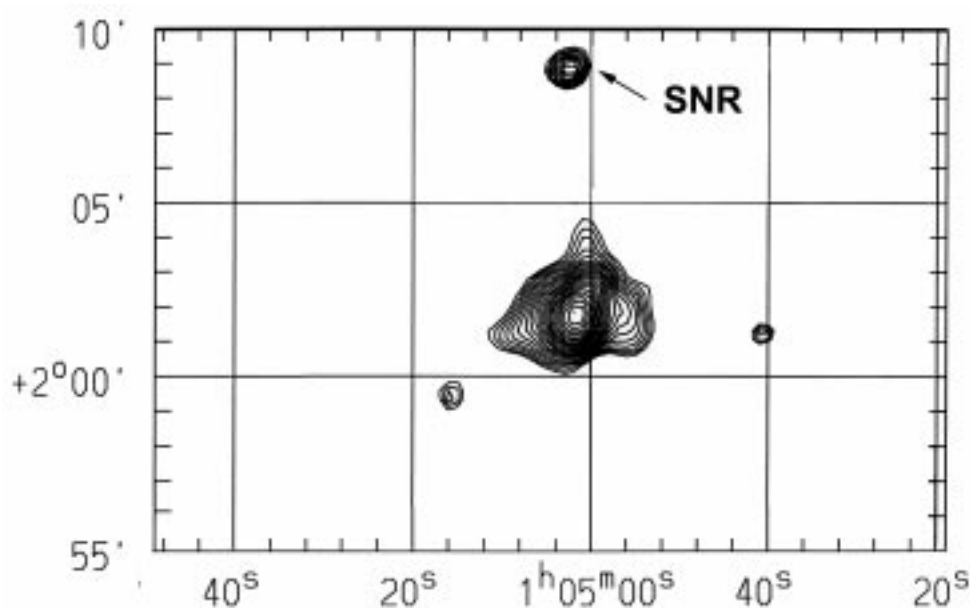


Рис. 3. Изофоты распределения рентгеновской яркости в IC1613 по наблюдениям HRI ROSAT [?]. Основной источник — далекое скопление галактик; показано положение звезды WO на его границе. Ярчайший рентгеновский источник, принадлежащий галактике IC1613, мы отождествили с остатком вспышки сверхновой S#8.

ки предположение Эскриджа [?], что рентгеновский источник связан с незакаталогизированным ранее далеким скоплением галактик.

На рис.3 представлены результаты новых наблюдений ROSAT. С разрешением HRI ROSAT видно, что звезда WO действительно расположена на краю источника.

Однако, ярчайший рентгеновский источник, принадлежащий IC1613, мы отождествили с единственным известным в галактике ОВС, и, судя по всему, этот ОВС является пекулярным, или, по крайней мере, очень интересным объектом. Этот ОВС — одна из ярчайших в галактике туманностей S#8 [?], до наших наблюдений с ROSAT особого интереса не вызывал. Оптический спектр казался типичным для старого ($t=22000$ лет) радиативного ОВС: отношение линий характерно для высвечивания газа за фронтом ударной волны, распространяющейся со скоростью $V_s = 150$ км/с по газу с высокой начальной плотностью около $n_0 = 10 \text{ см}^{-3}$ [?, ?].

Спектр радиоизлучения ОВС синхротронный [?]; наши новые наблюдения на VLA на трех частотах от 1.4 до 8.4 GHz дали спектральный индекс $\alpha = -0.57 \pm 0.05$.

Однако, новые данные наблюдений ROSAT противоречат предположению о поздней стадии эволюции ОВС. Наши наблюдения в полосе $0.1 \div 2.4 \text{ keV}$ дали поток $F = 5.8 \times 10^{-14} \text{ эрг/см}^2 \text{ с}$, что соответствует светимости $L_{0.1-2.4} = 3.6 \times 10^{36} \text{ эрг/с}$. Рентгеновский спектр ОВС не

известен, но для разумного интервала температур $\log T = 7 - 8$ при плотности поглощающего газа на луче $N(H) = (1 - 2)10^{21} \text{ см}^{-2}$ полная рентгеновская светимость составляет $L_{0.1-20} = (4 - 20)10^{36} \text{ эрг/с}$ для оптически тонкой плазмы нормального состава [?]. Такая рентгеновская светимость наблюдается в самых молодых и самых ярких галактических остатках: Крабовидная туманность и Кассиопея А.

Еще один интересный момент. На краю туманности S#8 ранее была отождествлена звезда Вольфа-Райе WR#8 [?]. Однако, более поздние спектральные наблюдения не подтвердили это отождествление. То, что ранее считалось звездой WR, было идентифицировано как сгусток газа в ОВС с весьма необычным спектром, в котором видны линии HeII, самые сильные из известных в ОВС линии FeII, FeIII и сильный континуум [?, ?, ?].

Мы провели наблюдения туманности с помощью мультиспектрального спектрографа на 6-м телескопе САО РАН. Предварительный анализ данных сводится к следующему [?]. Полученные нами изображения в линиях H_α , [OIII], FeII (рис. 4) не показали концентрации излучения железа только в точечном сгустке, как утверждалось по спектру WR-кандидата. Распределение плотности в туманности свидетельствует о наличии плотного сгустка, ранее отождествляемого как звезда WR, но спектр его не отличается от спектра туманности в целом. Обнаружена асимметрия в распределении яркости и скорости в туманности, свидетельствующие об ее нерегулярной структуре и сложной кинематике. Распределение скорости максимума линии H_α дает скорость расширения оптической туманности не более 50-100 км/с, однако слабые детали в крыльях линии говорят о возможном расширении со скоростью 150-200 км/с. Относительные интенсивности линий HeII:HeI, [OIII]:[OII]:[OI] и $H_\alpha:H_\beta$ согласуются с ожидаемым высвечиванием газа за фронтом радиативной ударной волны, распространяющейся со скоростью 150-250 км/с по газу с характерной невозмущенной

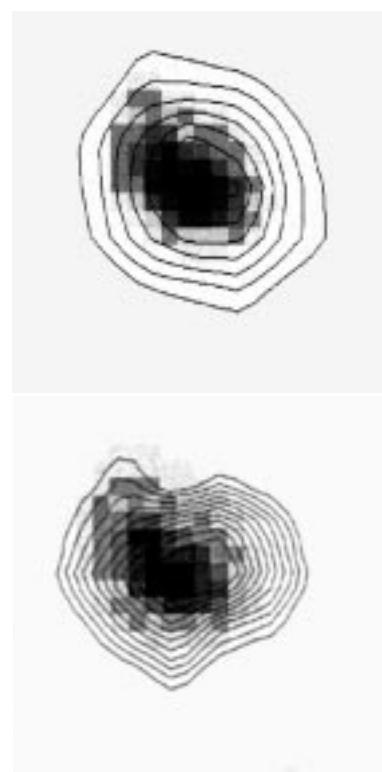


Рис. 4. Изофоты распределения яркости в остатке вспышки сверхновой в линиях [OIII] 5007Å и FeII 5159Å, полученные с помощью мультиспектрального спектрометра 6-м телескопа САО РАН и совмещенные с изображением в линии H_α , полученным с помощью 4-м телескопа Обсерватории Кит Пик [?].

плотностью $1 - 10 \text{ см}^{-3}$. Однако, сравнение относительных интенсивностей всех линий в спектре с теоретическими расчетами свидетельствует о необходимости новых расчетов с учетом низкого содержания тяжелых элементов.

Наличие сильных линий железа в спектре туманности также позволяет сделать определенные выводы о ее природе по аналогии с хорошо изученными ОСН. Сильные линии FeII, FeIII обнаружены в трех молодых ОВС: СН Кеплера, Кассиопея А и N132D в БМО, причем только в плотных медленно движущихся сгустках звездного вещества, выброшенного пред-СН [?, ?, ?, ?]. Типичные плотности в этих плотных конденсациях составляют $2000 \div 10000 \text{ см}^{-3}$ (соответствующая начальная невозмущенная плотность около $n_0 \simeq 300 \text{ см}^{-3}$), скорость ударной волны около $100 - 300 \text{ км/с}$. (Сильные линии железа наблюдаются и в Крабовидной туманности, но, судя по радиоспектру, ОСН в IC1613 не принадлежит к классу плерионов). Линии железа также найдены в некоторых старых ОВС (Cygnus Loop; RCW86, RCW103, IC443 и Vela в Галактике; N49, N63A, N103B в БМО) и именно в тех областях, где оптический спектр соответствует радиативной ударной волне в плотной среде [?, ?, ?, ?].

Т.о., можно заключить, что оптическое излучение в туманности IC1613 обусловлено высвечиванием сравнительно медленной ударной волны в плотной среде. В то же время это ярчайший рентгеновский источник в галактике. Горячая рентгеновская плазма имеет низкую плотность, около $n_0 = 0.2 - 0.4 \text{ см}^{-3}$, как следует из измеренной нами светимости для сферы $R = 5 \text{ пк}$ и принятой рентгеновской светимости единицы объема $4.0 \times 10^{-23} \text{ эрг см}^3 \text{ с}^{-1}$ согласно [?] для разумного интервала температур.

Из условия равенства давлений горячей рентгеновской плазмы и плотного оптического газа находим скорость ударной волны, ответственной за нагрев рентгеновской плазмы, около $V_s = 700 - 800 \text{ км/с}$ и возраст $t = 2000 - 3000 \text{ лет}$ для ОВС в адиабатической стадии.

Чтобы объяснить сосуществование горячей разреженной рентгеновской плазмы и холодного плотного оптического газа, обычно предполагают двухфазную структуру межзвездного газа. Однако, если просто ввести мелкие облачка в однородной межоблачной среде, трудно объяснить высокую оптическую яркость ОВС в IC1613. Представляется разумным предположить взрыв СН внутри каверны, окруженной плотной оболочкой. Такая выметенная оболочка, существовавшая еще до взрыва СН, может быть образована либо под действием ветра предшественника, либо под действием коллективного ветра (и других СН) родительской

ассоциации.

Наличие выметенной еще до вспышки СН оболочки кардинально меняет эволюцию ОВС. Пока ударная волна распространяется в каверне низкой плотности, торможение не существенно. Достигнув плотной оболочки, ударная волна быстро тормозится, становится радиативной, резко возрастает оптическая яркость ОВС, при том что внутренняя область горячей плазмы продолжает расширяться адиабатически и обеспечивает яркое рентгеновское излучение [?].

Изображение туманности в линии [OIII] имеет серпообразную форму, что действительно говорит в пользу столкновения с плотным облаком или со стенкой плотной протяженной оболочки.

Наличие такой оболочки является вполне реальным предположением. Действительно, обсуждаемый ОВС расположен на границе гигантского оболочечного комплекса, представляющего единственную область активного звездообразования в IC1613. Здесь обнаружены шесть оболочек размером 100-300 пк, скорость расширения которых составляет 30 – 50 км/с [?]. Эти перемикающиеся в картинной плоскости оболочки окружают группу ОВ ассоциаций. Простые оценки энергетики свидетельствуют, что коллективного ветра звезд ассоциаций хватает для образования системы оболочек, но на пределе; скорее всего существенен и вклад нескольких предыдущих СН [?].

И это наглядная демонстрация упомянутого выше факта, что вся история взаимодействия коллективного ветра и СН в ОВ ассоциациях регулирует природу каждого индивидуального остатка сверхновой, вспыхивающей в таком комплексе активного звездообразования.

Литература

- [1] Chu Y.-H. // Ap.J., 1981, **249**, 195.
- [2] Lozinskaya T.A. // Astroph.Space Sci., 1982, **87**, 313.
- [3] Лозинская Т.А. *Сверхновые звезды и звездный ветер: взаимодействие с газом галактики*. 1986, М.: Наука, 304 с.
- [4] Lozinskaya T.A. *Supernovae and Stellar Wind in the Interstellar Medium*, 1992, AIP, New York, 467 P.
- [5] Dufour R.J. // Rev. Mex. Astron. Astrofiz. 1989, **18**, 87.
- [6] Nichols-Bohlin J., Fesen R.A. // Astron. J., 1993, **105**, 672.

- [7] Marston A.P. // Astron. J., 1995, **109**, 2257.
- [8] Лозинская Т.А., Правдикова В.В., Госачинский И.В., Трушкин С.А. // Астрон.ж., 1997, **74**, 376.
- [9] Lozinskaya T.A., Silchenko O.K., Helfand D.J., Goss W.M. // Astron.J., 1997, **116**, 2328.
- [10] Lozinskaya T.A. // Astroph. and Space Sci., 1997, **252**, 199.
- [11] Афанасьев В.Л., Лозинская Т.А., Моисеев А.В., Блэнтон Е. // Письма в Астрон.ж., 2000, **26**, № 3, 190.
- [12] Lozinskaya T.A. // Odessa Astronomical Publications, 1999, **12**, 121.
- [13] Dopita M.A., Bell J.F., Chu Y.-H., Lozinskaya T.A. // Ap.J.Suppl., 1994, **93**, 455.
- [14] Dopita M.A., Chu Y.-H., Lozinskaya T.A. / Proc. of the 34th Herstmonceux confer. "Circumstellar media in the late stages of stellar evolution.", 1994, p.73.
- [15] Lozinskaya T.A., Helfand D.J., Goss W.M. / Workshop on Pre-SNe, SNe and SNRs, Pushino, 1996, p.36-37.
- [16] Freedman W.L. // Ap.J., 1988, **326**, 691.
- [17] Barlow M.J., Hummer D.G., 1982 in IAU Symp.No.99 Wolf-Raye Stars: Observations, Physics, Evolution. Eds. C.W.H. de Loore, A.J.Willis, p. 387.
- [18] Kingsburg R.L., Barlow M.J., Storey P.J. // A.Ap., 1995, **295**, 75.
- [19] Polcaro V.F., Norci L., Rossi C., Viotti R. / Mem. Soc. Astron. Italiana, 1994, **65** № 3 Proc. Teramo workshop on Stellar Population. eds. E.Brocato, F.R.Ferraro, G.Piotto, O.Straniero, p. 823.
- [20] Goss W.M., Lozinskaya T.A. // Ap.J., 1995, **439**, 637.
- [21] Dopita M., Lozinskaya T.A. // Ap.J., 1990, **359**, 419.
- [22] Lake G., Skillman E.D. // Astron.J., 1989, **98**, p.1274.
- [23] Hodge, P., Lee, M. G., Gurwell, M. // PASP, 1990, **102**, 1245.
- [24] Hunter D.A., Hawley W.N., Gallagher J.S. // A.J., 1993, **106**, 1797.

- [25] Fabbiano G., Kim D.-W., Trinchieri G. // Ap.J.Suppl., 1992, **80**, 531.
- [26] Eskridge P. // PASP, 1995, **107**, 561.
- [27] Sandage, A.R. // ApJ, 1971, **166**, 13.
- [28] D’Odorico S., Dopita M. / 1983, in *Supernova remnants and their x-ray emission*, IAU Symp. 101, eds J.Danziger and P.Gorenstein, (Dordrecht:D, Reidel), p.517.
- [29] Peimbert M., Bohigas J., and Torres-Peimbert S. // Revista Mexicana Astr. Astrofis., 1988, **16**, 45.
- [30] Dickel J.R., D’Odorico S., Silverman A. // A.J., 1985, **90**, 414.
- [31] Raymond J.C., Smith B.W. // Ap.J.Suppl., 1977, **35**, 419.
- [32] Armandroff T.E., Massey P. // Ap.J., 1985, **291**, 685.
- [33] Azzopardy M., Lequeux J., Maeder A. // A.Ap., 1988, **189**, 34.
- [34] Massey P., Conty P.S., Armandroff T.E. // A.J., 1987, **94**, 1550.
- [35] Armandroff T.E., Massey P. // A.J., 1991, **102**, 927.
- [36] Chevalier R.A., Kirshner R.P. // Ap.J., 1978, **219**, 931.
- [37] Dennenfeld M. // A.Ap., 1982, **112**, 215.
- [38] Leibowitz E.M., Danziger I.J. // MNRAS, 1983, **204**, 273.
- [39] Morse J.A., Winkler P.F., Kirshner R.P. // A.J., 1995, **109**, 2104.
- [40] Fesen R.A., Blair W.P., Kirshner R.P. // Ap.J., 1982, **262**, 171.
- [41] Danziger I.J., Leibowitz E.M. // MNRAS, 1985, **216**, 365.
- [42] Vancura O., Blair W.P., Long K.S., Raymond J.C. // Ap.J., 1992, **394**, 158.
- [43] Hamilton A.J.S., Sarazin C.L., Chevalier R.A. // Ap. J. Suppl., 1983, **51**, 115.
- [44] Tenorio-Tagle et al. // MNRAS, 1990, **344**, 563.
- [45] Meaburn J., Clayton C.A., Whitehead M.G. // MNRAS, 1988, **235**, 479.

Г.М. Рудницкий (ГАИШ МГУ)

Физические процессы в околозвездных оболочках красных гигантов и сверхгигантов

Аннотация

Рассмотрены эффекты, связанные с распространением ударной волны в атмосфере переменной звезды-гиганта или сверхгиганта позднего спектрального класса. Считается, что ударные волны создаются пульсациями звезд и имеют сферическую форму. Эмиссионные линии в оптических спектрах звезд, обычно интерпретируемые как признак сильных ударных волн со скоростями распространения 15-20 км/с, должны сопровождаться радиоизлучением ионизованного газа за фронтом ударной волны. Однако наблюдения показывают что потоки радиоизлучения звезд гораздо слабее, чем ожидается на основании данных оптической спектроскопии. Предлагается альтернативная модель, в которой оптические эмиссии, не сопровождаемые сильным радиоизлучением, создаются локальной конической ударной волной при движении в атмосфере звезды близкого маломассивного спутника.

Звезды поздних классов с массами $M \sim 1 - 3M_{\odot}$, находящиеся на асимптотической ветви гигантов диаграммы Герцшпрунга-Рессела, проходят полосу неустойчивости. На этой стадии эволюции звезды проявляют себя как долгопериодические переменные (типа Миры Кита) и полуправильные (типа SRa, SRb). Периоды P (или характерные времена переменности) составляют сотни дней. Согласно наиболее распространенной гипотезе переменность создается пульсациями звезд. При пульсациях поверхность звезды колеблется, при этом в атмосфере звезды периодически возникают сферические ударные волны, разогревающие газ и приводящие к возрастанию блеска.

Пульсации звезды, ударные волны, малое ускорение силы тяжести и давление излучения на пылинки, образующиеся в атмосфере, приводят к потере вещества звездой. Скорость потери вещества \dot{M} достигает $10^{-6} - 10^{-5} M_{\odot}$ в год. Вокруг звезды создается обширная околозвездная оболочка, содержащая пыль и молекулы. За несколько сот тысяч лет звезда с массой порядка солнечной сбросит значительную часть своей массы и превратится в белый карлик, а сброшенная оболочка ионизуется и образует планетарную туманность.

Свидетельством наличия ударных волн в атмосферах долгопериодических переменных звезд считается появление в их спектрах эмиссионных линий водорода (серия Бальмера) и металлов (железа и др.). Нагретый ионизованный газ за фронтом ударной волны должен излучать также в радиодиапазоне посредством тормозного (свободно-свободного)

механизма. В случае оптически толстого слоя газа поток радиоизлучения можно оценить по формуле

$$S_\nu = \frac{2kT_b \nu^2 \pi r_s^2}{c^2 D^2}, \quad (1)$$

где k — постоянная Больцмана, T_b — яркостная температура излучения (в данном случае равная температуре ионизованного газа за фронтом), ν — частота, r_s — линейный радиус источника (равный радиусу сферического ударного фронта), c — скорость света, D — расстояние до источника. Принимая значения параметров $r_s \sim 3 \cdot 10^{13}$ см, $D \sim 300$ пк, $\nu \sim 10^{10}$ Гц ($\lambda \sim 3$ см), $T_b \sim 18\,000$ К (при скорости ударного фронта $v_s \sim 25$ км/с), получим плотность потока $S_\nu \sim 1$ мЯн.

Однако исследования долгопериодических переменных звезд в радиоконтинууме не показали наличия столь сильных потоков. До сих пор радиоизлучение обнаружено лишь у небольшого числа звезд (R Aql, R Leo, V Hya, W Hya, R Cas, χ Cyg, o Cet), причем плотности потока S_ν существенно ниже 1 мЯн [1, 2]. Исключение составляет звезда R Aql, у которой наблюдались две сильные вспышки радиоизлучения, когда поток S_ν превысил сотни миллианских [3, 4]. Слабость радиоизлучения в континууме при сильной эмиссии в оптических линиях согласно [1] может объясняться поглощением излучения в “радиофотосфере” (с радиусом около двух радиусов оптической фотосферы), оптически толстой на сантиметровых волнах, но прозрачной для оптического излучения. Другой возможностью является наличие у звезды близкого спутника малой массы (“коричневый карлик” или реликтовая планета), который создает маломасштабную ударную волну при своем сверхзвуковом движении в атмосфере звезды [5]. При этом размер “горячего пятна”, связанного с конической ударной волной, $\sim 10^{12}$ см. Пятно вполне наблюдаемо в оптических эмиссиях, но ненаблюдаемо в радиодиапазоне из-за малости углового размера: площадь пятна примерно в 300 раз меньше площади видимого диска звезды, соответственно, во столько же раз плотность радиопотока будет меньше величины, определяемой формулой (1).

Тестом для предлагаемых моделей могут служить регулярные интерферометрические наблюдения в видимом свете, в частности, на длинах волн, включающих линии серии Бальмера. При сферической ударной волне, связанной с пульсациями звезды, эмиссия должна покрывать весь видимый диск звезды, угловой размер источника оптической эмиссии будет несколько больше размера диска. В случае локального источника, связанного с компактным спутником, будет наблюдаться миграция яркого эмиссионного пятна малых угловых размеров по диску звезды. Возможно, этот эффект уже был зарегистрирован авторами [6].

Литература

1. Reid M.J., Menten K.M. // ApJ. 1997. V.**476**. P.327.
2. Knapp G.R., Bowers P.F., Young K., Phillips T.G. // ApJ. 1995. V.**455**. P.293.
3. Woodsworth A.W., Hughes V.A. // Astron. Astrophys. 1977. V.**58**. P.105.
4. Estalella R., Paredes J.M., Rius A. // Astron. Astrophys. 1983. V.**124**. P. 309.
5. Rudnitskij G.M. / The Impact of Large-Scale Surveys on Pulsating Star Research. ASP Conf. Ser. 2000. V.**203**. P.384.
6. López B., Danchi W.C., Bester M., Hale D.D.S., Lipman E.A., Monnier J.D., Tuthill P.G., Townes C.H., Degiacomi C.G., Geballe T.R., Greenhill L.J., Cruzalèbes P., Lefèvre J., Mékarnia D., Mattei J.A., Nishimoto D., Kervin P.W. // ApJ. 1997. V.**488**. P.807.

IV Стендовые доклады

А.Е. Дудоров, Е.Э. Горбенко (ЧелГУ)

Затухание остаточного магнитного поля в звездах типа Т Тельца

Современные наблюдательные данные показывают, что активность звезд типа Т Тельца связана с электромагнитными процессами двух типов. Атмосферная активность этих звезд по форме подобна солнечной. Магнитосферная активность, наблюдаемая в радио- и рентгеновском диапазонах, а также в запрещенных линиях, в $10^3 - 10^4$ более мощна, чем атмосферная.

В данной работе оба типа активности объясняются в рамках теории остаточного магнитного поля (см.[1]), показывающей, что молодые звезды могут иметь внутреннее магнитное поле порядка 10^6 Гаусс. Конвекция турбулизует магнитное поле, генерируя сильное мелкомасштабное поле в форме магнитных силовых трубок (МСТ). Плавучесть МСТ и их подъем в атмосферу звезд может обуславливать магнитную природу активности молодых звезд.

Сравнивая время омического распада и характерное время всплывания МСТ с аккреционным временем и временем Кельвина-Гельмгольца, можно определить спектр размеров трубок, всплывающих в атмосферу молодых звезд. Мы показываем, что трубки с $\beta_m = B^2/8\pi P \simeq 0.1 - 0.3$ и $k_{mt} = r/H_P = 0.1 - 0.4$ (где r — радиус трубки, H_P — шкала высоты по давлению) должны всплывать на стадии аккреции. Трубки, всплывающие на гидростатической фазе эволюции, должны иметь $\beta_m \simeq 0.01 - 0.1$ и подобные k_{mt} . Вблизи главной последовательности должны подниматься конвективные МСТ. Следовательно, магнитная активность молодых звезд должна затухать со временем.

Численное моделирование динамики МСТ в оболочках молодых звезд с учетом аэродинамического и турбулентного сопротивления подтверждает эти оценки (см. рис. 1). Расчеты показывают, что динамика “мягких” МСТ (трубок переменного радиуса и магнитного поля) может объяснять энергетику магнитосферной активности. Атмосферная активность связана со всплыванием “жестких” МСТ (трубок постоянного радиуса и магнитного поля, близких к $r \approx 10^8 - 10^9$ см и $B \approx 10^3$ Gs.).

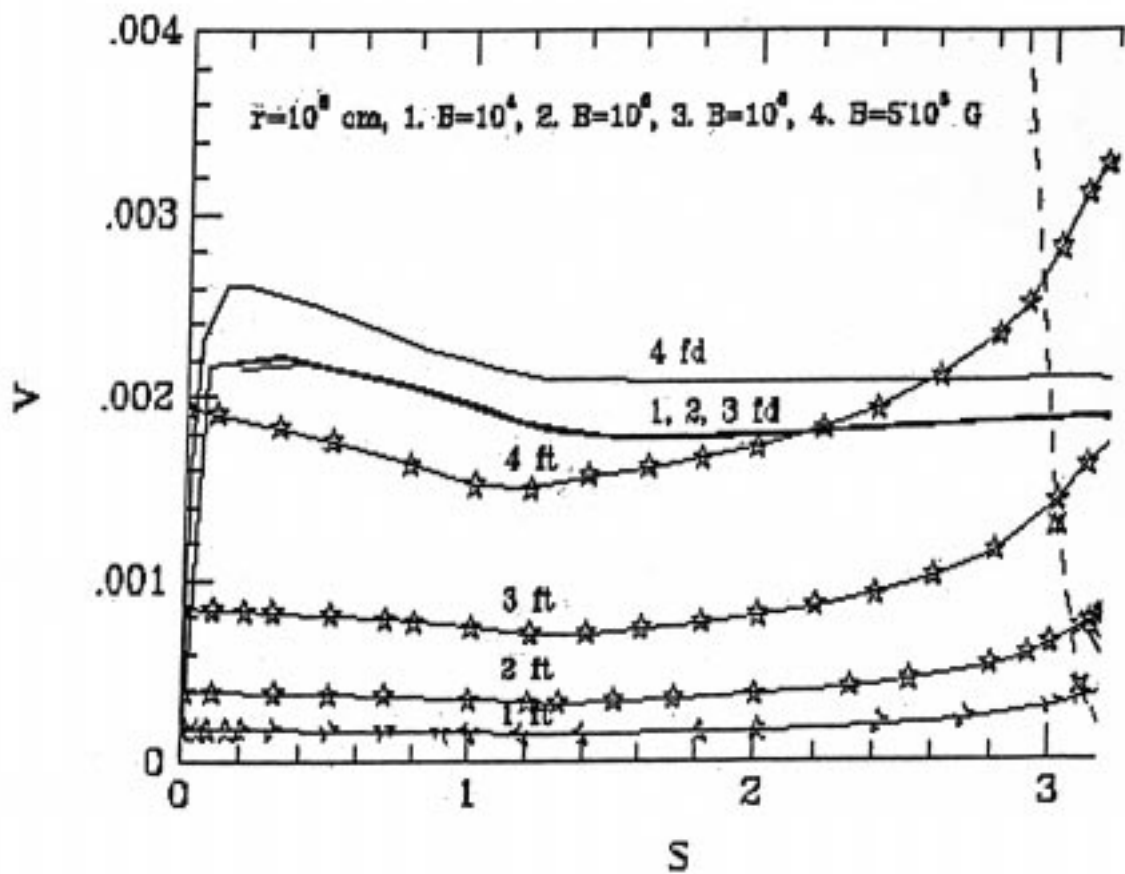


Рис. 1. Зависимость МСТ скорости от расстояния. Масштаб скорости — начальная альвеновская скорость, за пространственную шкалу принимается начальная шкала высоты. Сплошные линии на рисунке соответствуют вязкому трению, а линии со звездочками — турбулентному трению.

Литература

1. Дудоров, А.Е. // Астрон. журн., 1995, **39**, 79.

И.Л. Андронов, В.И. Марсакова (кафедра астрономии ОГУ)

Анализ переменности характеристик фазовых кривых блеска полуправильной переменной звезды RS Лебеда

Аннотация

Определены характеристики индивидуальных циклов и средней фазовой кривой RS Cyg по 3986 визуальным наблюдениям базы данных AFOEV, полученным в 1921-1996. Обнаружены медленные изменения периода пульсаций от 420^{d} до 432^{d} . Максимумы часто расщеплены, среднее расстояние между пиками равно $(0.314 \pm 0.034)P$. Блеск в экстремумах изменяется с амплитудой $\sim 1^{\text{m}}5$ и характерным временем ~ 15 лет.

Наблюдения из базы данных AFOEV [?] были разбиты на несколько групп и, в необходимых случаях, была проведена градуировка значений блеска и приведение к “средней” визуальной системе. Мы благодарим любителей, которые получили наблюдения данной звезды. Периодограмма была рассчитана по программе FOUR-1 [?]. В качестве тест-функции использовалась $S(f) = 1 - \sigma_{O-C}^2 / \sigma_O^2$, где σ_O и σ_{O-C} — среднеквадратичные отклонения наблюдаемых значений “O” и их отклонений ($O - C$) соответственно от среднего и от синусоидальной аппроксимации для значения пробного периода $P = 1/f$. Периодограмма для оригинальных наблюдений показывает наибольший пик для периода $P = 426^{\text{d}}69 \pm 0^{\text{d}}04$. Максимальное значение $S(f) = 0.542$ превосходит значение, ожидаемое для “белого шума”, в 1080 раз.

Значение периода было исправлено при помощи программы FOUR-M [?]. Число статистически значимых гармоник равно 2. Определены значения периода $P = 426^{\text{d}}64 \pm 0^{\text{d}}03$, начальной эпохи Min.HJD $2438091.5 \pm 0^{\text{d}}9$ ($m = 8^{\text{m}}82 \pm 0^{\text{m}}01$). Положение среднего максимума HJD $2438258.3 \pm 3^{\text{d}}2$ ($m = 7^{\text{m}}48 \pm 0^{\text{m}}01$) определено значительно хуже вследствие его нестабильности и размытости на средней кривой. Асимметрия равна $M - m = 0.391 \pm 0.008$, полная амплитуда $1^{\text{m}}34 \pm 0^{\text{m}}01$.

Амплитуды основного колебания и ее гармоники равны $r_1 = 0^{\text{m}}649 \pm 0^{\text{m}}009$ и $r_2 = 0^{\text{m}}197 \pm 0^{\text{m}}009$. Соответствующие фазы максимума по отношению к максимуму их суммы $\phi_1 = 0.103 \pm 0.002$ и $\phi_2 = -0.271 \pm 0.007$.

Для определения характеристик индивидуальных циклов были использованы аппроксимации скользящими параболами [?] и скользящими синусами [?]. Изменения фазы главного минимума соответствуют переменности периода от $419^{\text{d}}7$ до $431^{\text{d}}9$. Фазы вторичного минимума и

обоих максимумов переменной по отношению как к их средним значениям, так и к фазе главного минимума.

Блеск во всех экстремумах также показывает переменность как от цикла к циклу, так и с большим характерным временем. Периодограммы не показывают статистически значимых пиков, соответствующих когерентному колебанию. Характерное время составляет ~ 15 лет.

Средние значения, среднеквадратичные отклонения от среднего и диапазон переменной экстремумов приведены в следующей таблице:

Таблица 1.

| Extr. | n | $\bar{\phi}$ | $\sigma[\phi]$ | ϕ_{min} | ϕ_{max} | \bar{m} | $\sigma[m]$ | m_{min} | m_{max} |
|-------|-----|--------------|----------------|--------------|--------------|-----------|-------------|-----------|-----------|
| Min 1 | 36 | -0.018 | 0.061 | -0.078 | -0.009 | 8.98 | 0.25 | 8.27 | 9.78 |
| Max 1 | 32 | 0.311 | 0.076 | 0.051 | 0.451 | 7.41 | 0.18 | 6.99 | 8.16 |
| Min 2 | 24 | 0.490 | 0.094 | 0.313 | 0.640 | 7.74 | 0.28 | 7.20 | 8.52 |
| Max 2 | 34 | 0.678 | 0.138 | 0.466 | 0.960 | 7.35 | 0.19 | 7.00 | 8.14 |

Литература

- [1] Schweitzer E. // *Bull. AFOEV*, 1993, **64**, 14.
- [2] Andronov I.L. // *Odessa Astron. Publ.*, 1994, **7**, 49.
- [3] Андронов И.Л. // *Кинематика и физика небесных тел*, 1990, **6**, №6, 87.
- [4] Chinarova L.L., Andronov I.L., Schweitzer E. // *Odessa Astron. Publ.*, 1994, **7**, 103.

М.А. Воронков (МГУ)

Наблюдения метанольных мазеров на частоте 6.7 ГГц в Медицине

Ранние фазы звездной эволюции отмечены образованием высокоскоростных потоков, небольших отражательных и эмиссионных туманностей и различных мазеров. Мазеры, возникающие в различных переходах молекулы метанола, представляют собой широко распространенное явление. По результатам наблюдений мазеры можно разделить на два класса. Мазеры второго класса обычно совпадают с мазерами OH и мазерами H_2O , компактными зонами $H II$ и инфракрасными источниками, в то время как в случае мазеров первого класса такого совпадения обычно не наблюдается. Дальнейшие исследования показали, что это различие между мазерами двух классов является более глубоким и связано с различием в типах переходов и в механизмах накачки. Сильнейшими среди метанольных мазеров являются мазеры второго класса в линии $5_1 - 6_0A^+$ на частоте 6.7 ГГц, которые были открыты Ментеном в 1991 году [1]. Кроме обзора Ментена, на данной частоте было проведено еще четыре обзора [2, 3, 4, 5].

В представленных наблюдениях мазер был выявлен в 43 случаях, открыто 25 новых мазеров (см. рис. 1). Проанализирована зависимость между частотой обнаружения мазеров в областях звездообразования со сходными условиями и галактической долготой, и получено подтверждение предположения о наличии асимметрии в этой зависимости. Сравнением спектров данного обзора со спектрами, полученными в предшествующих обзорах, выявлена переменность некоторых источников. Получены кинематические расстояния и оценки светимостей в линиях мазеров разных классов.

Благодарности

Данная работа была выполнена под руководством В.И. Слыша при непосредственном участии С.В. Каленского, И.Е. Вальтц, Ф. Паладжи, Дж. Тофани и М. Катарци. Наша группа выражает благодарность сотрудникам Медицинской обсерватории за помощь при проведении наблюдений.

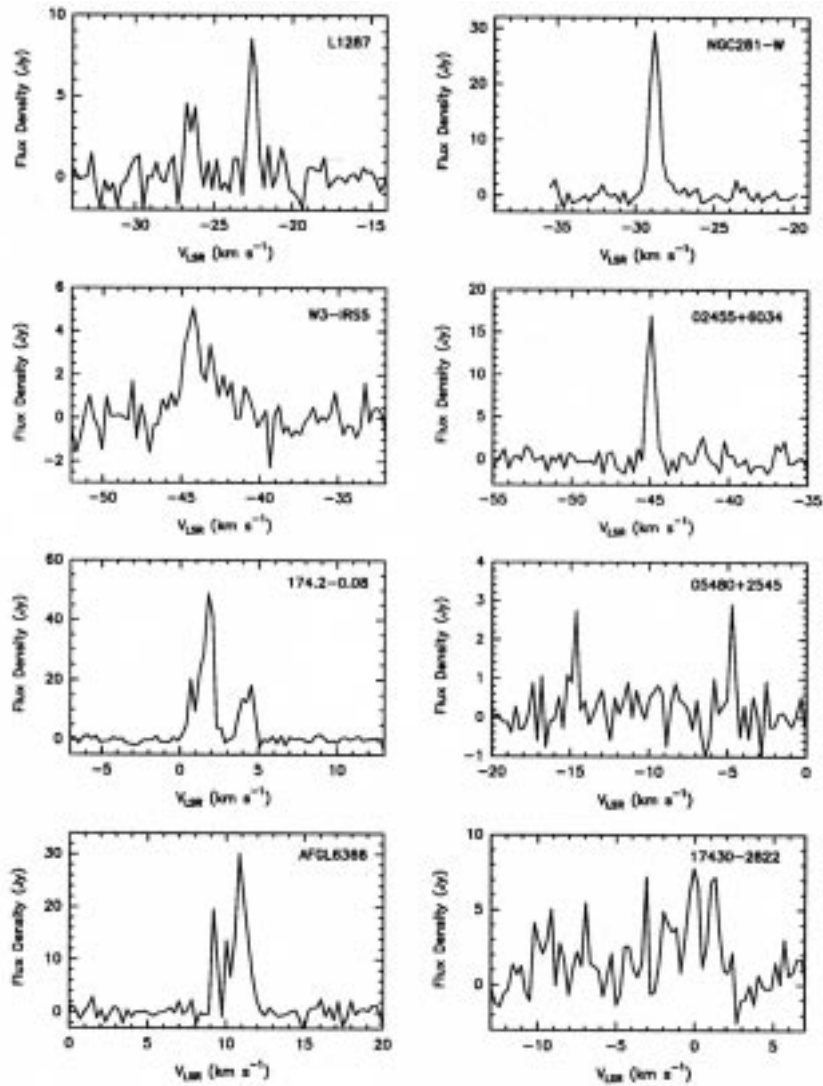


Рис. 1. Примеры спектров, полученных в данном обзоре.

Литература

1. Menten K.M. // ApJ, 1991b, **380**, L75.
2. Caswell J.L., Vaile R.A., Ellingsen S.P., Whiteoak J.B., Norris R.P. // MNRAS, 1995, **272**, 96.
3. Gaylard M.J. & MacLeod G.C. // MNRAS, 1993, **262**, 43.
4. van der Walt, D.J., Gaylard, M.J., MacLeod G.C. // A&AS, 1995, **110**, 81.
5. Schutte A.J., van der Walt D.J., Gaylard M.J., MacLeod G.C. // MNRAS, 1993, **261**, 783.

Instability of spherical accretion with a shock wave onto a point mass.

The stability of a shock wave in an accretion adiabatic flow is investigated in the frame of linear analysis. The unperturbed flow is steady-state and is described by the analytical Bondi's solution [1]. The main difficulty of stability problem for a shock wave is connected with the correct statement of boundary conditions in the center of accretion where the unperturbed flow has a singularity. For example, Stellingwerf and Buff [2], who studied the stability of shock-free Bondi's accretion, used the arbitrary inner boundary conditions.

However, the problem of stability of a shock wave can be formulated correctly, if there is a transition through a sonic point in the postshock flow. Such a situation is possible either for nonadiabatic critical flow [3] or for adiabatic supercritical one, for which we have to cancel the condition that gas at infinity be at rest. In this latter case gas has to infall at supersonic velocity at infinity. The stability problem is thus reduced to an eigenvalue problem for the finite interval between the shock front R_{sh} and the sonic point r_s . External boundary conditions are obtained from the linearized conditions at the perturbed shock front. The requirement for the perturbation to remain finite provides the inner boundary condition at the sonic surface. The frequency spectrum for $\gamma = 4/3$ and $R_{sh}/r_s = 1.1$ is plotted in Fig. 1. The dispersion curve reveals the instability of the shock front against radial perturbation. The mentioned instability exists for any adiabatic index $1 < \gamma < 5/3$ and for any distance between the shock front and the sonic point. For $R_{sh}/r_s > 2.5$ the mode $l = 1$ becomes unstable as well.

The instability of shock wave in an accretion flow is caused by a local instability of the shock front. It makes itself evident, because the perturbation is concentrated just behind the shock front. This accounts for the fact that the inner boundary conditions have small influence on the structure of the perturbed postshock flow. So, we have serious reasons to suppose that the shock front is unstable even if the preshock flow is critical and consequently there is no transition through the sonic point in the postshock flow.

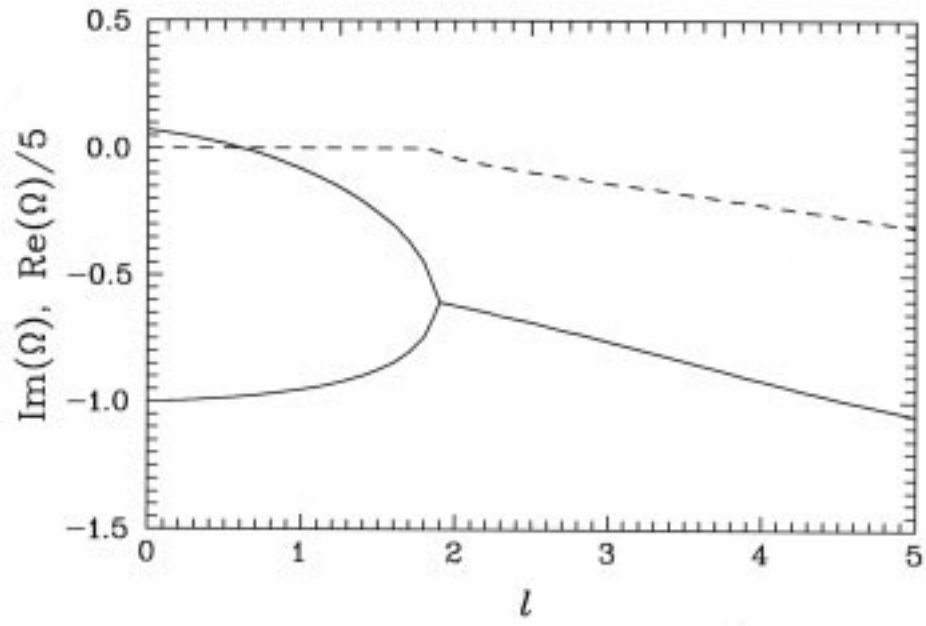


Рис. 1. Image (solid line) and real (dotted line) parts of dimensionless frequency Ω as a function of wave number l for $\gamma = 4/3$ and $R_{sh}/r_s = 1.1$.

References

1. Bondi H. // MNRAS, 1952, **112**, 195.
2. Stellingwerf R.F., Buff J. // ApJ, 1978, **221**, 661.
3. Chang K.M., Ostriker J.P. // ApJ, 1985, **288**, 428.

А.Ф. Захаров (ИТЭФ)

Некоторые свойства уравнения гравитационной линзы вблизи особенностей типа сборки

На основе уравнения гравитационной линзы исследовано усиление изображений вблизи особенностей типа сборки. Используя симметрические полиномы на корнях многочлена третьей степени, получено обобщение утверждения Шнайдера и Вайсса об усилении изображений, соответствующих различным решениям уравнения гравитационной линзы. Представлены аналитические выражения для усиления различных решений этого уравнения и его решения.

Известно, что отображение двумерной поверхности на плоскость имеет устойчивые особенности только двух типов: складки и сборки. Только подобного типа особенности имеются при отображении гравитационной линзы, поскольку оно является лагранжевым отображением. Шнайдер и Вайсс [1, 2] исследовали уравнение гравитационной линзы вблизи особенности типа сборки. В работе исследовано усиление изображений и получены аналитические выражения для этой величины [3].

На рис. 1 представлены линии уровня абсолютных величин усиления изображений вблизи особенности типа сборки [3]. Заметим, алгебраическая сумма этих величин равна нулю и внутри имеет три действительных решения уравнения гравитационной линзы. Эти линии уровня изображены в соответствии с аналитическими выражениями работы [3]. Можно сравнить рис. 1 с подобным рис. 5 из работы Шнайдера и Вайсса [2], полученным с помощью так называемого метода стрельбы лучами. Особенность типа сборки на их рисунке исчезает в процессе численного моделирования. Это является результатом достаточно общего феномена: дискредитация регуляризует особенности. Как и ожидалось, на рис. 1 ясно видно, что усиление вблизи особенности типа сборки более сильно, чем вблизи особенности типа складки. На рис. 1 отчетливо видна особенность типа сборки в отличие от рис. 5 из работы [2].

Автор выражает благодарность Российскому Фонду Фундаментальных Исследований за частичную финансовую поддержку (проект № 96-02-17434) данной работы.

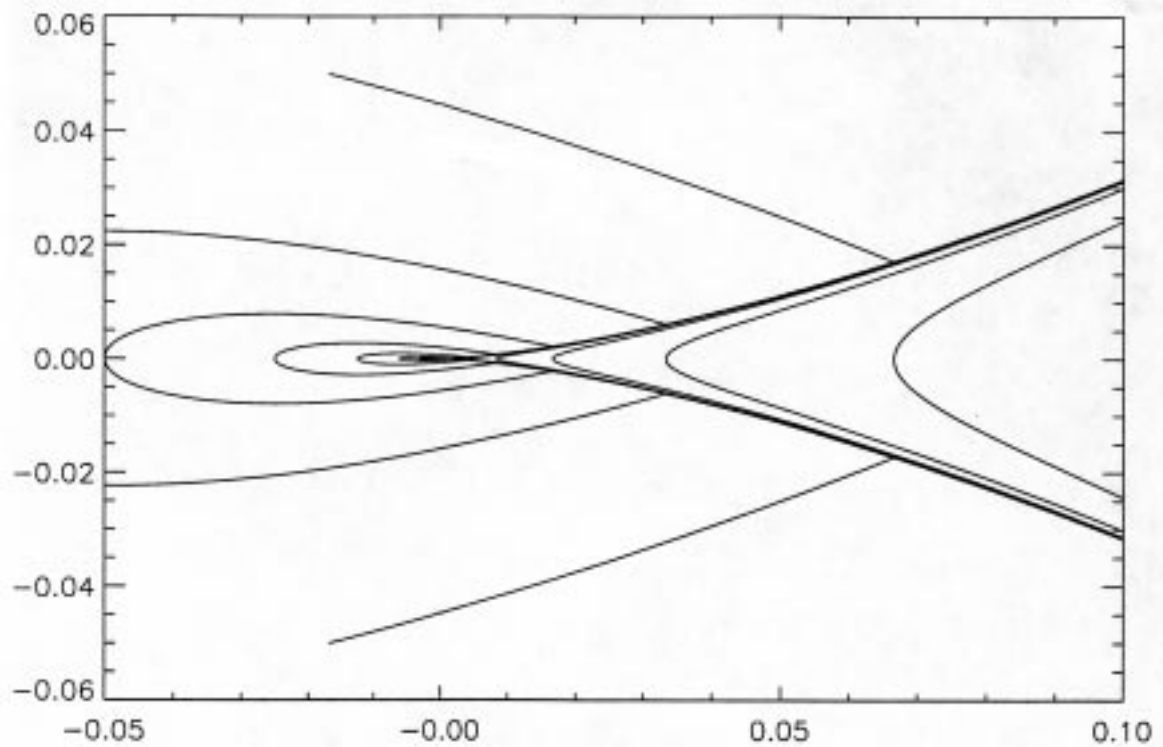


Рис. 1. Линии уровня суммы абсолютных величин коэффициентов усиления изображений вблизи особенности типа сборки. Линии имеют значения $10 * 2^i$, $\forall i \in [-1, 14]$, $i \in \mathbb{Z}$.

Список литературы

1. Schneider P. and Weiss A. // A & A, 1986, **164**, 237.
2. Schneider P. and Weiss A. // A & A, 1992, **260**, 1.
3. Zakharov A.F. // A & A, 1995, **293**, 1.

А.Ф. Захаров (ИТЭФ), М.В. Сажин (ГАИШ МГУ)

Микролинзирование некомпактными объектами

Изучается микролинзирование звезд фона звездами из нейтралино. Звезды из нейтралино были рассмотрены в недавней работе Гуревича и Зыбина [1], причем они предложены в качестве компонента, вносящего основной вклад в скрытую массу. В настоящей работе в достаточно простом приближении детально проанализирована оптика такой гравитационной микролинзы, а именно уравнение линзы, его решения, усиление изображений, критические и каустические кривые. Исследовано множество различных значений параметров задачи.

Первые результаты наблюдений микролинзирования, представленные в публикациях групп MACHO, EROS, OGLE и некоторых других, открыли новое явление, предсказанное ранее в работах Бялко и Пачинского. Природа гравитационных микролинз до сих пор неизвестна, хотя наиболее распространенная гипотеза предполагает, что они являются компактными несветящимися телами типа коричневых карликов. Тем не менее, тела другой природы не исключены, в частности, недавно в статьях Гуревича, Зыбина и Сироты [2] обсуждалось существование темных тел, состоящих из суперсимметричных слабо взаимодействующих частиц (нейтралино). Авторы показали, что такие звезды могут образовываться на ранних стадиях эволюции Вселенной и оставаться стабильными за космологическое время.

В настоящей работе рассматривается микролинзирование звезд фона гравитационной линзой, которая суть звезда из нейтралино.

Мы исследуем микролинзирование такой звездой в достаточно грубой модели, которая, тем не менее, является простой, позволяющей получить конечные результаты в аналитической форме. Безусловно можно рассмотреть более точную модель влияния гравитационного поля звезды из нейтралино, тем не менее, можно надеяться, что нами правильно представлена качественная оценка рассматриваемого эффекта.

Аппроксимируем плотность распределения массы звезды из нейтралино в виде

$$\rho_{NeS}(r) = \rho_0 \frac{a_0^2}{r^2}, \quad (1)$$

где r — текущее значение расстояния от центра звезды, ρ_0 — объемная плотность звезды из нейтралино на расстоянии a_0 от центра, a_0 — “радиус” звезды из нейтралино.

На рис. 1 изображены кривые блеска для некомпактного тела и линзы Шварцшильда. Детальное обсуждение данной модели можно найти в работах Захарова и Сажина [3, 4].

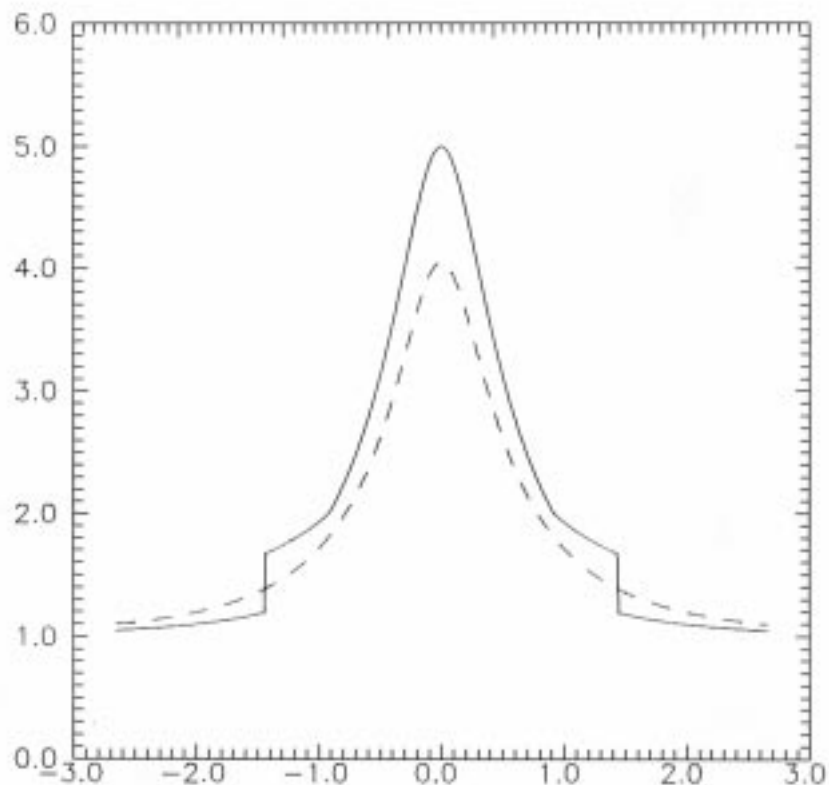


Рис. 1. Кривая блеска для некомпактного тела (сплошная кривая) и для линзы Шварцшильда (штриховая линия), соответствующая значению параметра $R_0 = 0.4$.

Авторы выражают благодарность РФФИ за грант № 96-02-17434, обеспечивший частичную поддержку данной работы.

Литература

1. Гуревич А.В., Зыбин К.П. // УФН, 1995, **165**, 723.
2. Гуревич А.В., Зыбин К.П., Сирота В.А. // УФН, 1997, **167**, 913.
3. Захаров А.Ф., Сажин М.В. // Письма в ЖЭТФ, 1996, Т.**63**, С.894.
4. Захаров А.Ф., Сажин М.В. // ЖЭТФ, 1997, Т.**110**, 1921.

В.И. Кондратьев (МГУ),
М.В. Попов, В.А. Согласнов (АКЦ ФИАН)
Анализ частотной мерцательной структуры
пульсара PSR 1508+55

Введение

В настоящей работе проводился анализ частотной мерцательной структуры пульсара PSR 1508+55, определялись характерное время мерцаний t_s , ширина полосы декорреляции $\Delta\nu_s$, а также исследовалась их зависимость от частоты. Для этого производилась соответствующая обработка записей импульсов исследуемого пульсара. Наблюдения этого пульсара производились в период с 1976 по 1980 гг. на Большой Синфазной антенне (БСА) РАС ФИАН в г. Пущино-на-Оке на частоте 102.5 МГц. Полоса приема составляла 100 кГц. Сначала готовым пакетом программ была проведена первичная обработка записей импульсов пульсара, включающая в себя селекцию мощных импульсов, компенсацию дисперсии и неравномерностей полосы приемника и др. После этого производилась повторная обработка данных для исследования эффекта мерцаний. Для этого использовался метод, предложенный Поповым и Согласновым [1]. Был написан пакет программ, который позволил реализовать этот метод.

Результаты

Были отобраны 94 наиболее сильных импульса, записи которых обрабатывались во второй части. Указанным выше методом было найдено характерное время мерцаний t_s , равное 18 периодам, или 12.6 с. Затем был определен характерный масштаб (один) частотной мерцательной структуры, т.е. полоса декорреляции. Она оказалась равной 87 Гц.

Интерес представляет закон изменения t_s и $\Delta\nu_s$ с частотой. Он определяется видом спектра неоднородностей электронной концентрации. Теория дает частотную зависимость $t_s \sim \nu^{\alpha-1}$ и $\Delta\nu_s \sim \nu^{2\alpha}$, где $\alpha = 2$ для гауссова спектра неоднородностей, $\alpha = 2.2$ для колмогоровского.

Полученное значение полосы декорреляции $\Delta\nu_s$ хорошо согласуется с гауссовым видом спектра неоднородностей (см. рис. 1). Значение времени мерцаний t_s не удовлетворяет ни одной из теоретических зависимостей.

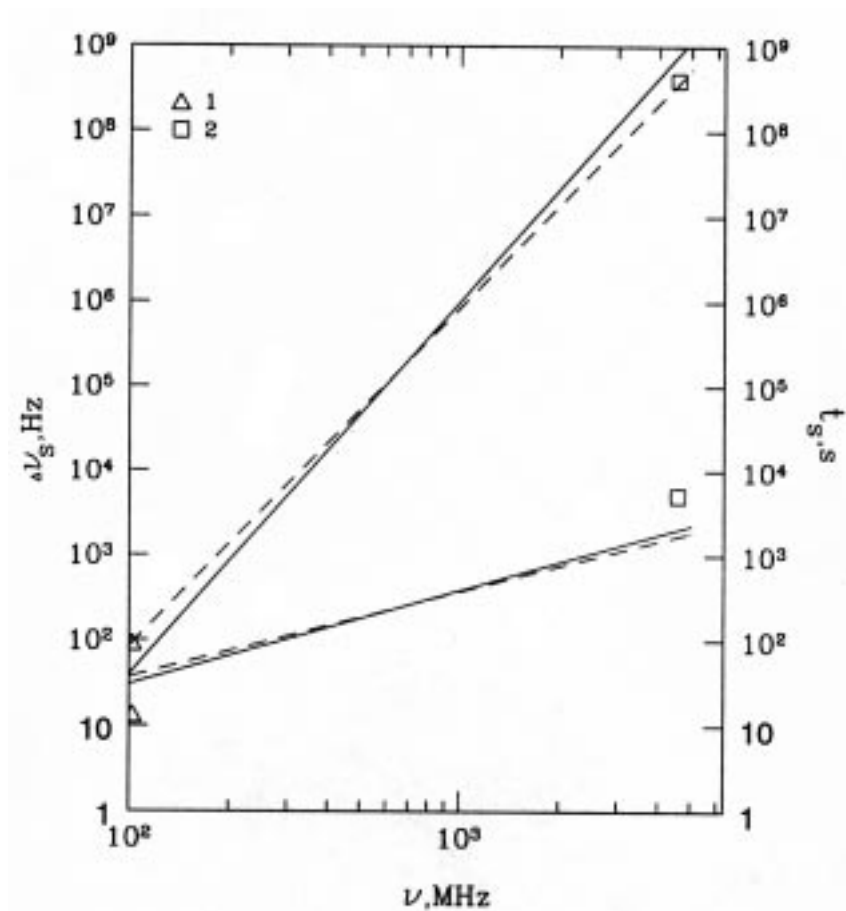


Рис. 1. Зависимость характерного времени мерцаний t_s и полосы декорреляции $\Delta\nu_s$ от частоты для пульсара PSR 1508+55. Данные получены: **1** — в настоящей работе, **2** — в работе [2]. Сплошными линиями показаны зависимости $t_s \propto \nu^{1.2}$ и $\Delta\nu_s \propto \nu^{4.4}$, пунктирными линиями — $t_s \propto \nu^1$ и $\Delta\nu_s \propto \nu^4$.

Литература

1. Попов М.В., Согласнов В.А. // Астрон.Ж., 1984, т.**61**, вып.4, с.727.
2. Kuzmin A.D., Malofeev Y.M., Izvekova V.A., Sieber W., Wielebinski R. // Astron. and Astrophys., 1986, vol.**161**, № 1, p.183-194.

С.Б. Попов, М.Е. Прохоров (ГАИШ МГУ)

Пространственное распределение светимости аккрецирующих нейтронных звезд в Галактике

В последние несколько лет пространственное распределение одиночных нейтронных звезд привлекает к себе большой интерес (см., например, работу [?]). Несколько источников этого типа наблюдаются на спутнике ROSAT.

В работе представлена компьютерная модель распределения светимости одиночных аккрецирующих нейтронных звезд. Аккреция идет из межзвездной среды, параметры которой считаются известными, и приведены на рис.1 (в центральном килопарсеке наши результаты представляют собой только грубую оценку, более детальные вычисления для центра Галактики см. в [?]).

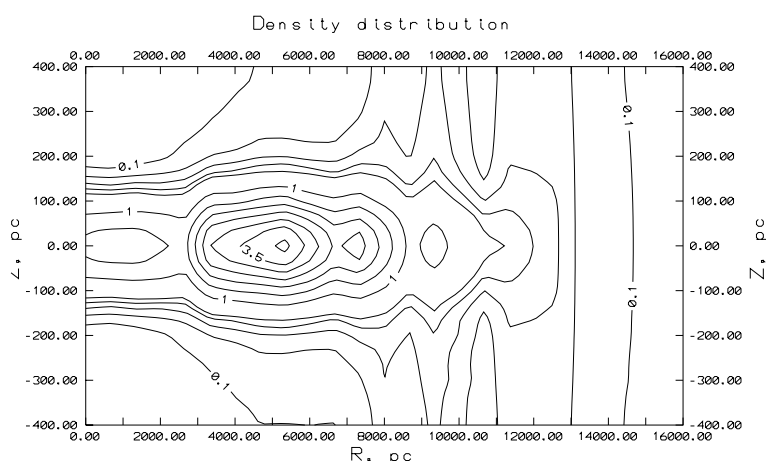


Рис. 1. Распределение межзвездной среды в Галактике, использованное при моделировании.

Вычисляются траектории частиц в заданном потенциале [?], а затем по формуле Бонди находится аккреционная светимость. Нейтронные звезды рождались в плоскости Галактики с некоторым распределением скоростей за счет несимметричного взрыва сверхновой. Темп звездообразования пропорционален квадрату плотности, ко-

торая не изменялась со временем.

Показано, что для различных видов и параметров распределения начальных скоростей нейтронных звезд распределение светимости имеет торообразную форму с максимумом на $\approx 5 \text{ kpc}$ (см. рис. 2).

Так как мы использовали достаточно общие предположения, то можно утверждать, что такое торообразное распределение является типичным не только для нашей Галактики, но и для других спиральных галактик.

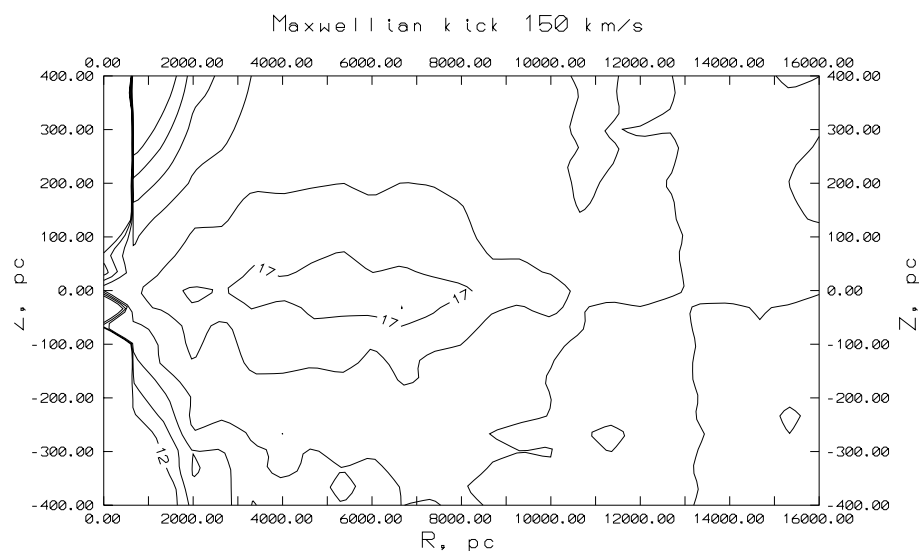


Рис. 2. Распределение светимости в плоскости R-Z для максвелловского распределения скорости отдачи (150 км/с).

Литература

- [1] Treves A. and Colpi M. // A&A, 1991, **241**, 107.
- [2] Zane S., Turolla R. and Treves A. // ApJ, 1996, **471**, 248.
- [3] Paczynski B. // ApJ, 1990, **348**, 485.

Д.С. Кривицкий, В.М. Конторович (РИАН)

Моделирование слияний галактик в скоплениях и группах: “взрывная” эволюция

Аннотация

Проведено моделирование слияния галактик в скоплениях методом Монте-Карло. Найдена функция распределения галактик по массам и моментам импульса. Подтвержден “взрывной” характер формирования функции масс (аналог фазового перехода: [1], [2]). Прослежено образование “новой фазы”: сD-галактик. Проводится сопоставление с эффектом Бутчера-Эмлера и наблюдаемым укрупнением функции светимости на слабом конце.

Моделировались парные слияния галактик в системе, состоящей первоначально из $N_0 = 10^4$ маломассивных галактик с экспоненциально убывающей функцией масс. Предполагалось, что при слиянии масса и момент импульса (с учетом орбитального) сохраняются; вероятность слияния зависит от масс сталкивающихся галактик по закону $U \propto (M_1 + M_2)^2$ при $M \ll M_b$ и $U \propto (M_1 + M_2)(M_1^{1/2} + M_2^{1/2})$ при $M \gg M_b$ (степень однородности $u = 2$ и $u = 3/2$ соответственно) [3]. Рассмотрены как чистые случаи $u = 2$ и $u = 3/2$, соответствующие очень большим или малым значениям M_b , так и смешанный случай. В результате слияний формируется хвост распределения, соответствующий массивным галактикам, а также “новая фаза”: сD-галактики (рис.1). Среднее значение наклона функции масс в области хвоста $\approx 2.5 - 3$ для $u = 2$ и ≈ 2 для $u = 3/2$ (рис.2). В последнем случае наклон лежит между значениями $(u + 3)/2$ (постоянный поток массы по спектру) и $(u + 2)/2$ (постоянный поток числа частиц, что соответствует сохранению количества массивных галактик при их слиянии с малыми). Среднее значение безразмерного момента импульса $\Lambda = \frac{S}{MR\sqrt{2GM/R}}$ в хвосте не зависит от массы для $u = 3/2$ и падает с ростом массы для $u = 2$ (последнее соответствует преобладанию вклада слияний больших галактик с малыми). Распределение по моментам изменяется при движении вдоль хвоста и отличается от гауссова для сD-галактик.

Вследствие значительного вклада слияний между относительно небольшим числом появляющихся массивных галактик и маломассивными галактиками время t_{cr} , соответствующее “фазовому переходу”, существенно меньше характерного времени $(\sigma \nu n)^{-1}$, где σ — сечение слияния для типичных галактик, n — концентрация таких галактик, ν — средняя скорость. На поздних стадиях эволюции скоплений необходимо учитывать коллективные эффекты и пространственную неоднородность, связанную, в частности, с наличием сD-галактик.

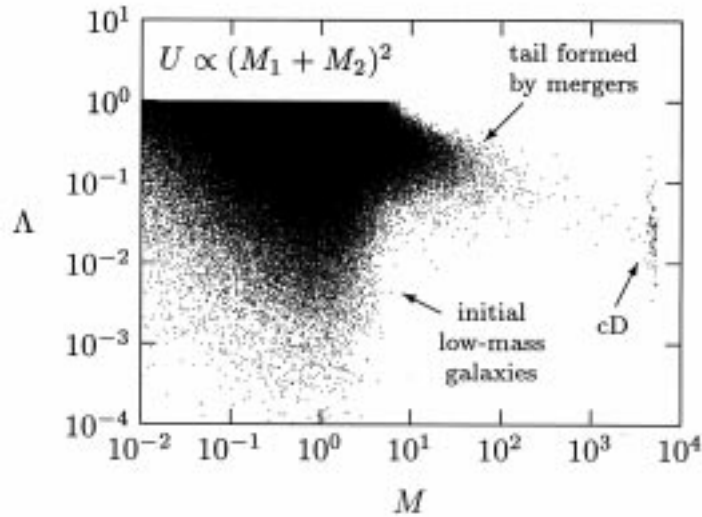


Рис. 1. Массы M (в единицах начальной M_0) и безразмерные моменты Λ моделируемых галактик для $u = 2$ в момент времени, соответствующий числу галактик $N_f = 0.4N_0$. Каждая точка изображает одну галактику. На диаграмме 4×10^5 точек (100 скоплений с $N_f = 4000$ в каждом). Начальное распределение по Λ было выбрано равномерным в интервале от 0 до 1, по массам $\propto \exp(-M/M_0)$. В процессе слияний формируется хвост распределения, нечувствительный к начальным условиям. Область точек вблизи наибольших масс ($M \sim 10^4$) соответствует cD-галактикам.

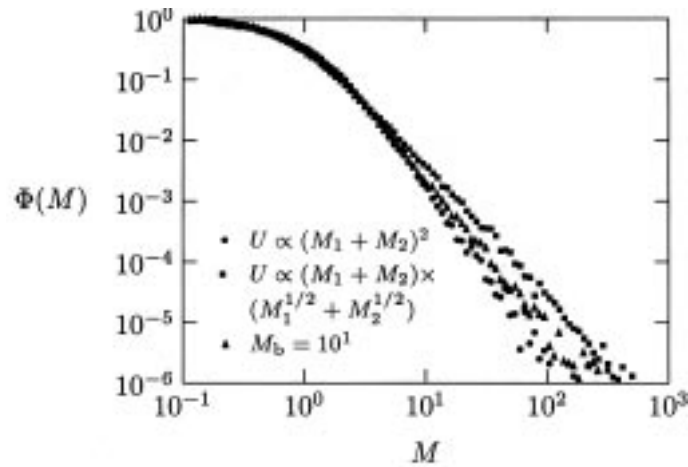


Рис. 2. Функция масс для $u = 2$, $u = 3/2$, а также в смешанном случае. $N_f = 0.1N_0$. В смешанном случае средний наклон зависит от положения места перехода M_b от малых к большим массам.

Литература

1. Cavaliere, A., Colofrancesco, S., Menci, N. // ApJ, 1992, **392**, 41.
2. Конторович В.М., Кац А.В., Кривицкий Д.С. // Письма в ЖЭТФ, 1992, **55**, 3.
3. Kontorovich, V.M., Krivitsky, D.S. // Astr. Astrophys. Trans., 1997, **14**, №2, 133-140.

Э.М. Свирская, А.Ю. Шмелёв (ЧелГУ)

Прогнозирование отношений масс контактных двойных систем типа W UMa.

В данной работе отношение масс менее массивной и более массивной компонент $q = M_2/M_1$ контактных двойных систем типа W UMa находится статистическим методом ZET [1]. Необходимость статистического подхода обусловлена невозможностью получить достаточно надежные значения q с помощью метода синтеза теоретических кривых блеска для контактных систем в силу асимметрии наблюдаемых кривых блеска.

Метод ZET предназначен для прогнозирования значений пропущенных элементов (заполнения пробелов) в эмпирических таблицах “объект-свойство” и для редактирования (проверки) ее известных элементов. В алгоритме ZET прогнозирование неизвестного элемента a_{ij} выполняется на основе принципа локальной линейности, то есть в предположении линейной зависимости между строками и (или) столбцами, наиболее похожими на i -ую строку и (или) j -ый столбец.

Для прогнозирования неизвестных величин отношений масс были отобраны 5 наиболее информативных с точки зрения прогнозирования этих величин характеристик звезд из [2]: спектр главной компоненты Sp_1 , абсолютная болометрическая светимость этой компоненты M_{1b} , ее масса M_1 , большая полуось орбиты A и угол орбитального наклона i . Составлена таблица из 6 параметров: q , Sp_1 , M_{1b} , M_1 , A , i для 295 звезд типа W UMa. В качестве известных величин q были взяты данные спектроскопических наблюдений (всего 70 значений). На месте остальных значений q были поставлены пробелы.

В процессе заполнения пробелов 218 значений были восстановлены с ошибкой до 5 % и 7 значений с ошибкой до 10 %, что свидетельствует о целесообразности применения данного метода для прогнозирования неизвестных величин отношений масс.

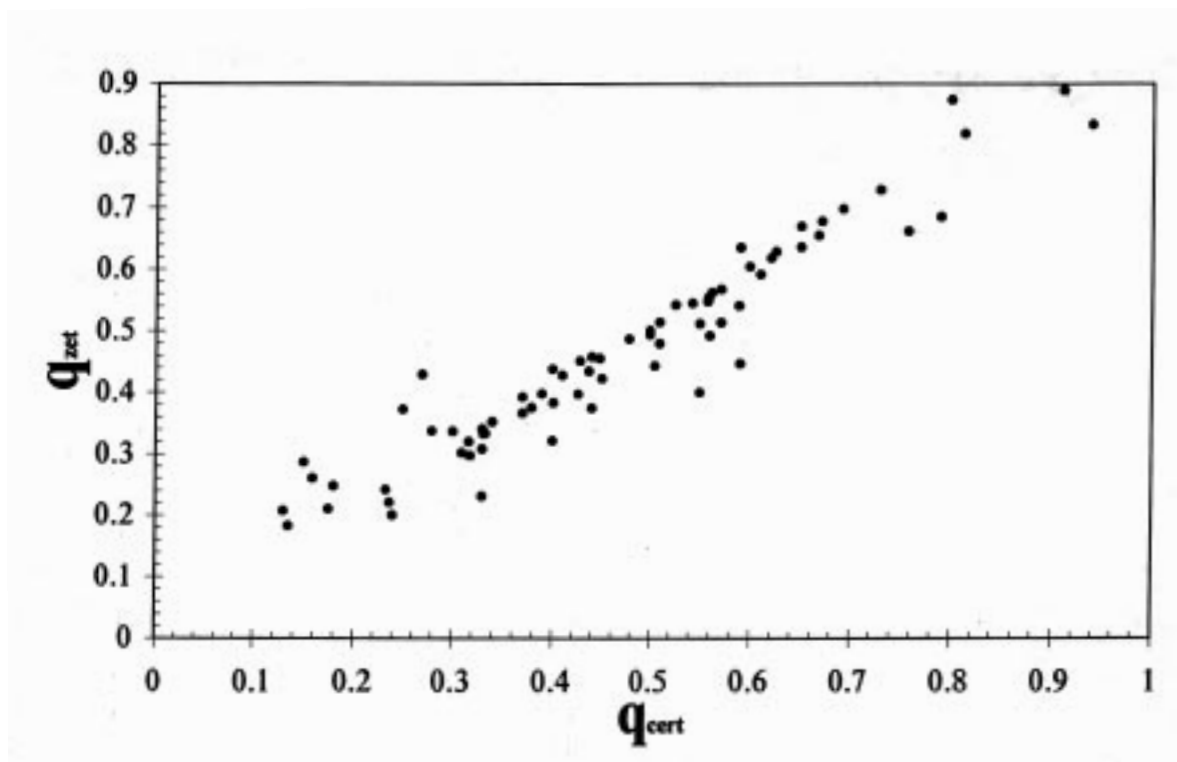


Рис. 1. Сравнение известных из наблюдений отношений масс q_{cert} с отношениями масс q_{ZET} , вычисленными методом ZET.

Литература

1. Загоруйко Н.Г., Ёлкина В.Н., Лбов Т.С. / *Алгоритмы обнаружения эмпирических закономерностей*, 1985, Новосибирск, "Наука", 110 с.
2. Свечников М.А., Кузнецова Э.Ф. / *Каталог приближенных фотометрических и абсолютных элементов затменных переменных звезд*, 1990, Свердловск, Изд. Уральского Университета, т.1, 224 с., т.2, 232 с.

А.А. Степанян, Н.Н. Чаленко (КрАО)

Подтверждение структуры магнитного поля в Крабовидной туманности данными наблюдений гамма-квантов высоких и сверхвысоких энергий

На основе модели, построенной согласно представлениям, развитым в работах С.Б. Пикельнера и И.С. Шкловского, рассчитан поток гамма-квантов от Крабовидной туманности. В области высоких ($10^2 - 10^4$ МэВ) энергий результаты расчетов хорошо согласуются с данными, полученными на спутнике EGRET, что дает новое независимое подтверждение обоснованности представлений о структуре внешней зоны туманности (от волокон до внешнего края), в частности, о ее магнитном поле, как о совокупности множества дипольных полей, где накапливаются все частицы, излученные за время жизни пульсара.

Хорошее согласие расчетных и наблюдательных данных, полученное для потоков гамма-квантов сверхвысоких энергий (> 10 ТэВ), подтверждает предположение о том, что область от пульсара до “виспов” является источником гамма-квантов за счет обратного Комптон-эффекта.

О.И.Шарова (НИРФИ)

Состояние проблемы расстояний до галактических планетарных туманностей

Существуют два подхода к проблеме расстояний до галактических планетарных туманностей. Первый состоит в поиске независимых методов определения индивидуальных расстояний. Этими методами для 110 туманностей получено 280 оценок расстояний, 60% из них — методом межзвездного поглощения. Второй подход — создание статистических шкал расстояний. Основополагающую роль в развитии последнего направления сыграли работы Б.А.Воронцова-Вельяминова [1] и И.С.Шкловского [2]. Предложенные ими методы применяются иногда и в наши дни ([3, 4], далее КВЕ). Как правило, современные шкалы расстояний построены на основе эмпирических зависимостей между радиусом туманности и ионизованной массой ([5, 6], далее СКС) или между радиусом и яркостной температурой радиоизлучения туманности на 5 ГГц ([7], далее VdSZ). Зханг [8] использовал обе эти зависимости. В ряде работ [9-11] для определения расстояний привлекаются параметры центральных звезд, полученные из теоретических эволюционных треков. В нашей работе [12] развит метод определения расстояний до планетарных туманностей на основе установленной ранее [13] регрессионной зависимости между температурой и радиусом центральной звезды. Исходными данными для определения расстояния служат звездная величина ядра и радиопоток туманности или одна из этих величин и температура центральной звезды. Проведено сравнение нашей шкалы с 7 другими шкалами, появившимися за последние годы, а также с классической шкалой Шкловского [2]. Статистические расстояния D_s , установленные в шкале, сопоставлялись с индивидуальными оценками D , полученными для той же туманности независимыми методами [14]. Анализировались значения $\log(D_s/D)$ и их возможная зависимость от радиуса туманности R_N . На рис. 1 каждая шкала характеризуется двумя параметрами: средним значением $\langle D_s/D \rangle$ с доверительным интервалом при вероятности 90% и отношением ρ/ρ_c , где ρ — коэффициент корреляции $\log(D_s/D) - \log R_N$, а ρ_c — его критическое значение. В области $\rho/\rho_c > 1$ корреляция значима с вероятностью 0.999.

Расхождения в оценках расстояний довольно велики. Самые большие расстояния дает шкала КВЕ. Только 4 шкалы: Шкловского, Дауба, СКС и наша шкала, — в среднем дают отклонения от независимых оценок расстояний меньше 20%. Шкала Дауба в отличие от остальных дает небольшое систематическое занижение оценок расстояний. В шка-

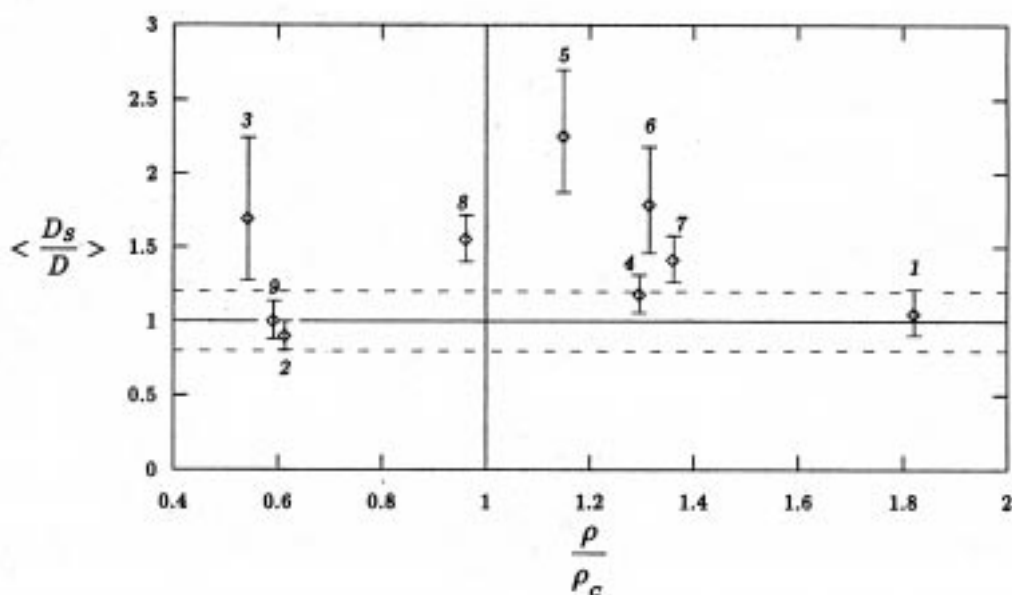


Рис. 1. Сопоставление статистических расстояний D_S до планетарных туманностей с независимыми оценками индивидуальных расстояний D . Штриховыми линиями показаны уровни $\pm 20\%$. Цифрами обозначены шкалы расстояний: 1 – [2], 2 – [5], 3 – [10], 4 – [6], 5 – [3, 4], 6 – [11], 7 – [7], 8 – [8], 9 – [12]. .

лах Шкловского, Зханга [11], VdSZ, CKS и КВЕ имеет место корреляция между оценкой расстояния и радиусом туманности. Сильнее всего она в шкале Шкловского. Расстояния для планетарных туманностей с радиусами меньше 0.1 пс эти шкалы систематически завышают, а для более протяженных — занижают. Очевидно, только наша шкала и шкала Дауба [5] в целом удовлетворительно согласуются с индивидуальными оценками расстояний для планетарных туманностей любого линейного размера.

Литература

1. Vorontsov-Velyaminov, B.A. // Z.Astrophys., 1934, **8**, 195.
2. Шкловский И.С. // Астрон.Ж., 1956, **33**, 222.
3. Kingsburgh, R.L. & Barlow, M.J. // MNRAS, 1992, **257**, 317.
4. Kingsburgh, R.L & English, J. // MNRAS, 1992, **259**, 635.
5. Daub, C.N. // ApJ, 1982, **260**, 612.
6. Chan, J.H., Kaler, J.B. & Stanghellini, L. // A&A Suppl., 1992, **94**, 399.

7. Van de Steene G.C. & Zijlstra A.A. // A&A, 1995, **293**, 541.
8. Zhang C.Y. // ApJ. Suppl. Ser., 1995, **98**, 659.
9. Kaler, J.B., Mo Jing-Er & Pottasch, S.P. // ApJ, 1985, **288**, 305.
10. Mendez, R.H., Kudritzki, R.P., Herrero, A., Husffeld, D., & Groth, H.G. // A&A, 1988, **190**, 130.
11. Zhang C.Y. // ApJ, 1993, **410**, 239.
12. Шарова О.И. // Известия Вузов. Радиофизика, 1995, **38**, 522.
13. Шарова О.И. // Астрон.Ж., 1992, **69**, 38.
14. Sabbadin, F. // A&A Suppl., 1986, **64**, 569.

А.В. Хоперсков, С.С. Храпов (ВолГУ)

Диссипативные неустойчивости в тонком аккреционном диске

Для понимания характерных особенностей динамики аккреционных дисков (АД) в тесных двойных системах, квазарах и молодых звездах и, прежде всего, процессов отвода углового момента, необходимого для обеспечения наблюдаемых темпов аккреции, следует конкретизировать представления о механизме турбулентной вязкости [1].

В рамках двумерных моделей без самогравитации и магнитного поля имеются четыре моды колебаний (две акустических [4-6], тепловая и вязкая [2,3]). Характерной особенностью разработанных к настоящему времени моделей АД является зависимость коэффициента динамической вязкости $\eta = \sigma\nu$ (ν — кинематическая вязкость) от термодинамических величин, в частности, от поверхностной плотности σ и толщины диска h . В результате на динамику волн оказывает влияние возмущение динамической вязкости. Этот фактор является решающим и приводит при некоторых дополнительных условиях к неустойчивым решениям для всех четырех мод.

При рассмотрении различных вязких моделей АД предполагается, что вязкость η обусловлена развитой турбулентностью; для нее принимается $\eta \sim \sigma u_t l_t$ (u_t — характерная амплитуда скорости наиболее крупномасштабных турбулентных пульсаций, l_t — их пространственный масштаб) [7]. Основная энергия заключена в крупномасштабных пульсациях. Таким образом, имеются два фактора, которые приводят к задержке изменения турбулентной вязкости при изменении локальных условий в диске. Во-первых, поскольку турбулентность может быть обусловлена той или иной неустойчивостью, для формирования развитой турбулентности требуется время τ_1 . В первом приближении для оценки можно принять $\tau_1 \sim 1/\Im(\omega)$ — характерное время нарастания неустойчивости. Во-вторых, имеется задержка τ_2 , связанная с переходом энергии от крупных пульсаций к мелким. Тем самым, при изменении параметров диска — температуры, плотности и т.д., значение реально действующей вязкости запаздывает от модельного значения коэффициента динамической вязкости η_* (для стандартной α -модели $\eta_* \sim \alpha\sigma\Omega h^2$) на характерное время $\tau = \tau_1 + \tau_2$. В первом приближении можно принять следующий закон релаксации вязкости η к значению η_* : $d\eta/dt = (\eta_* - \eta)/\tau$.

С учетом запаздывания появляется новая ветвь колебаний, для которой $\text{Re}(\omega) = 0$ и $\text{Im}(\omega) < 0$ при любых значениях остальных параметров. Как видно из рис. 1, с ростом величины τ происходит уменьшение инкрементов всех четырех неустойчивых мод в радиационно-доминирующем диске. Причем учет релаксации вязкости является сильным стабилизирующим фактором для акустических мод, стабилизация происходит при $\tau \approx 1/\Omega$. Неустойчивость тепловой и вязкой моды в меньшей степени подвержена влиянию параметра τ , для них стабилизация наступает при $\tau \geq 100/\Omega$.

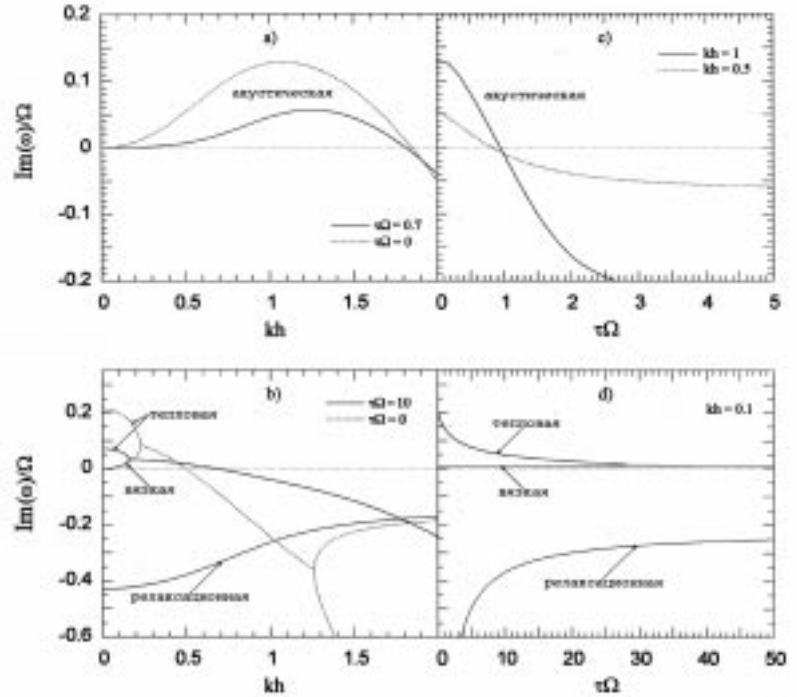


Рис. 1. Зависимость мнимой части частоты в единицах угловой скорости вращения $\text{Im}(\omega)/\Omega$ от безразмерного волнового числа kh а), б) и от безразмерного времени запаздывания $\tau\Omega$ в), д).

Литература

1. Shakura N.I. & Sunyaev R.A. // A&A, 1973, **24**, 337.
2. Shakura N.I. & Sunyaev R.A. // MNRAS, 1976, **175**, 613.
3. Lightman A.P. & Eardley D.M. // ApJ, 1974, **187**, L1.
4. Wallinder F.H. // A&A, 1990, **237**, 270.
5. Wallinder F.H. // MNRAS, 1991, **253**, 184.
6. Хоперсков А.В., Храпов С.С. // ПАЖ, 1995, **21**, 388.
7. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., *Гидродинамика*. — М.: Наука, 1986.

Е.Ф. Ризов (АКЦ ФИАН)

Геометрооптические ошибки в больших апертурно-сплошных телескопах микроволнового диапазона

Основы статистической теории антенных допусков и ошибок описаны в работах Д.Рузе и Я.С.Шифрина [1, 2]. В наиболее простом, популярном и запоминающемся варианте диаграмму направленности реальной антенны $G(\theta, \varphi)$ можно записать следующим образом:

$$G(\theta, \varphi) = G_0(\theta, \varphi)e^{-\sigma^2},$$

где $G_0(\theta, \varphi)$ — диаграмма антенны без ошибок, $\sigma^2 = (4\pi\varepsilon/\lambda)^2$ — квадрат среднеквадратичного отклонения реальной антенны от параболоида, ε — допуск отражающей поверхности в единицах рабочей длины волны λ .

За прошедшие десятки лет с тех пор, как создана теория, размеры сплошных апертур в радиотехнике выросли почти на 3 порядка $D = (10^2 - 10^5)\lambda$, продвинулись ближе к оптике $D \sim 10^6\lambda$ и находятся на новом качественном уровне. Вместе с тем, подобная статистическая теория, разработанная для оптики, пришла в противоречие с практикой [3] из-за локальных (геометрооптических) ошибок. Большими неприятностями нам грозят те же ошибки в проектируемых и строящихся телескопах миллиметрового и сантиметрового диапазона и могут вылиться в миллионные потери в долларах.

К сожалению, несмотря на подкупающую простоту, теория, претендующая на универсальность, слабо обоснована физически, не рассматривает стандартные пути решения проблемы, носит оценочный характер. Как можно показать, для малых антенн она еще сводит концы с концами; для больших — может ошибиться в несколько раз.

Согласно геометрической теории дифракции (ГТД) [4], препятствие (антенна, ее фрагмент) размером $l \gg \lambda$, помещенное в поле электромагнитного излучения, имеет три качественно разные зоны воздействия на окружающее поле.

В качестве параметра, характеризующего такое воздействие, введем дифракционный диаметр корреляции, равный двойному радиусу первой зоны Френеля [4] $l = 2\sqrt{L\lambda}$, где L — расстояние от препятствия до экрана. Поскольку нас интересует влияние ошибок поверхности основного зеркала на его фокальное изображение (диаграмму), то в нашем случае L придается значение фокусного расстояния главного зеркала.

Все предельно разграничительные условия волновой физической оптики можно выразить через этот параметр.

1. $l \ll 2\sqrt{L\lambda}$. Дальняя зона — зона Фраунгофера. Дифракционный диаметр корреляции много больше диаметра корреляции ошибки на поверхности зеркала. Это соответствует общеизвестному определению дальней зоны препятствия $L > 4l^2/\lambda$, подразумевая под l его размеры. Физическая суть данной ситуации в том, что на этом расстоянии фронт волны от ошибок почти совпадает с общим идеальным фронтом и его влияние на формирование диаграммы минимально.
2. $l \approx 2\sqrt{L\lambda}$. Средняя зона — зона Френеля. Размер дифракционного изображения ошибки соответствует диаметру корреляции ее на поверхности зеркала. Дифракционные отклонения лучей из-за ошибок увеличивают рассеянный фон в боковые направления (лепестки) и создают пьедестал. Однако, какая-то часть лучей идет в правильном направлении, поэтому качественно диаграмма слабо меняется.

По всем признакам условия № 1 и № 2 хорошо соответствуют теории Рузе, Спенсера, Шифрина [1, 2], тем более, что замена дифракционного контура функцией Гаусса давала и в других решениях неплохие результаты. Можно оценить верхний предел диаметра телескопа, где будут только дифракционные ошибки. Как считается [2, 3], ошибки диаметром $l \geq 0.1D$ не влияют на форму диаграммы направленности $0.1D = 2\sqrt{L\lambda}$. Отсюда, при $L \approx D$, $D = 400\lambda$.

3. $l \gg 2\sqrt{L\lambda}$. Ближняя геометрооптическая зона оказывает наиболее сильное влияние на диаграмму, качественно искажает до неузнаваемости, ибо отклонение лучей не веерообразное дифракционное, а строго определенное геометрическое. Условие № 3 соответствует разграничительному соотношению между геометрической и волновой физической оптикой.

Трудно обсуждать естественные технологические геометрооптические (зеркальные) ошибки в антенной технике, ибо они практически не обнаружимы из-за низкого качества поверхности. Для обнаружения необходимо иметь $\varepsilon < \lambda/8$ [3]. В оптике подобные ошибки под названием “локальных” прекрасно отождествляются, несмотря на шлифовку и полировку [3]. Однако, в радиотехнике мы с непреодолимым успехом

привносим их в виде реально установленных панелей с некоторым допуском ε . На основании геометрической оптики можно оценить ширину диаграммы телескопа (одномерная схема): $\theta_r = 4 \arcsin \varepsilon / l \sim 4\varepsilon / l$. При $\varepsilon = 0.05$ мм, $l = 2.2$ м, $\lambda = 1$ мм, (проект РТ-70 “Суффа”) $\theta_r = 18''.7$ вместо ожидаемой дифракционной $2''.9$.

Подобные же соотношения должны иметь проект LMT ($D = 50$ м) и строящийся GBT ($D = 100$ м) в США.

Предлагается концептуальная схема телескопа, свободная не только от указанных недостатков, но и имеющая самостоятельную ценность.

Литература

1. Ruze, J. *Antenna Tolerance Theory*. 1965.
2. Шифрин Я.С. *Вопросы статистической теории антенны*. Сов. радио. М. 1970.
3. Витриченко Э.А. и др. *Проблема оптического контроля*. Наука. Новосибирск. 1990.
4. Боровиков В.А., Кинбер Б.Е. *Геометрическая теория дифракции*. Связь. 1978.

*С.В. Каленский, А.М. Дзюра, А.В. Алакоз (АКЦ ФИАН),
Р. Бус, А. Виннберг (OSO)*

Наблюдения областей звездообразования в линиях сложных молекул

Многие области образования массивных звезд хорошо изучены в линиях “простых” 2 – 3-атомных линейных молекул — например, CO, CS или HCN. Значительно меньшее число наблюдалось в линиях более сложных молекул типа симметричного или асимметричного волчка с числом атомов 5-6 и более, как, например, метанола (CH_3OH) или метилцианида (CH_3CN). Тепловые линии сложных молекул, как правило, слабы, и их наблюдения требуют большого времени накопления сигнала. Однако, изучение этих молекул очень важно для химии межзвездной среды. В особенности это относится к метанолу, относительное содержание которого бывает довольно высоким ($10^{-6} - 10^{-7}$ в ряде областей звездообразования согласно [1]) и который играет ключевую роль при образовании многих других молекул [2]. Кроме того, сложные молекулы обладают большим числом переходов в радиодиапазоне, которые иногда образуют серии близко расположенных по частоте линий. Такие серии можно наблюдать одновременно с помощью одной и той же аппаратуры, избегая погрешностей, связанных с калибровкой. Это позволяет получить информацию, недоступную из наблюдений более простых молекул.

Нашей группой проведены наблюдения ряда областей звездообразования в серии линий метанола $2_K - 1_K$, а также метилцианида $6_K - 5_K$ и $5_K - 4_K$. Спектры линий метанола приведены на рис. 1. По результатам наблюдений метанола определены температура, плотность, обилие метанола, размеры и массы 11 источников, которые приведены в таблице и опубликованы в статье [3]. Данные, полученные из наблюдений метилцианида, будут опубликованы позднее.

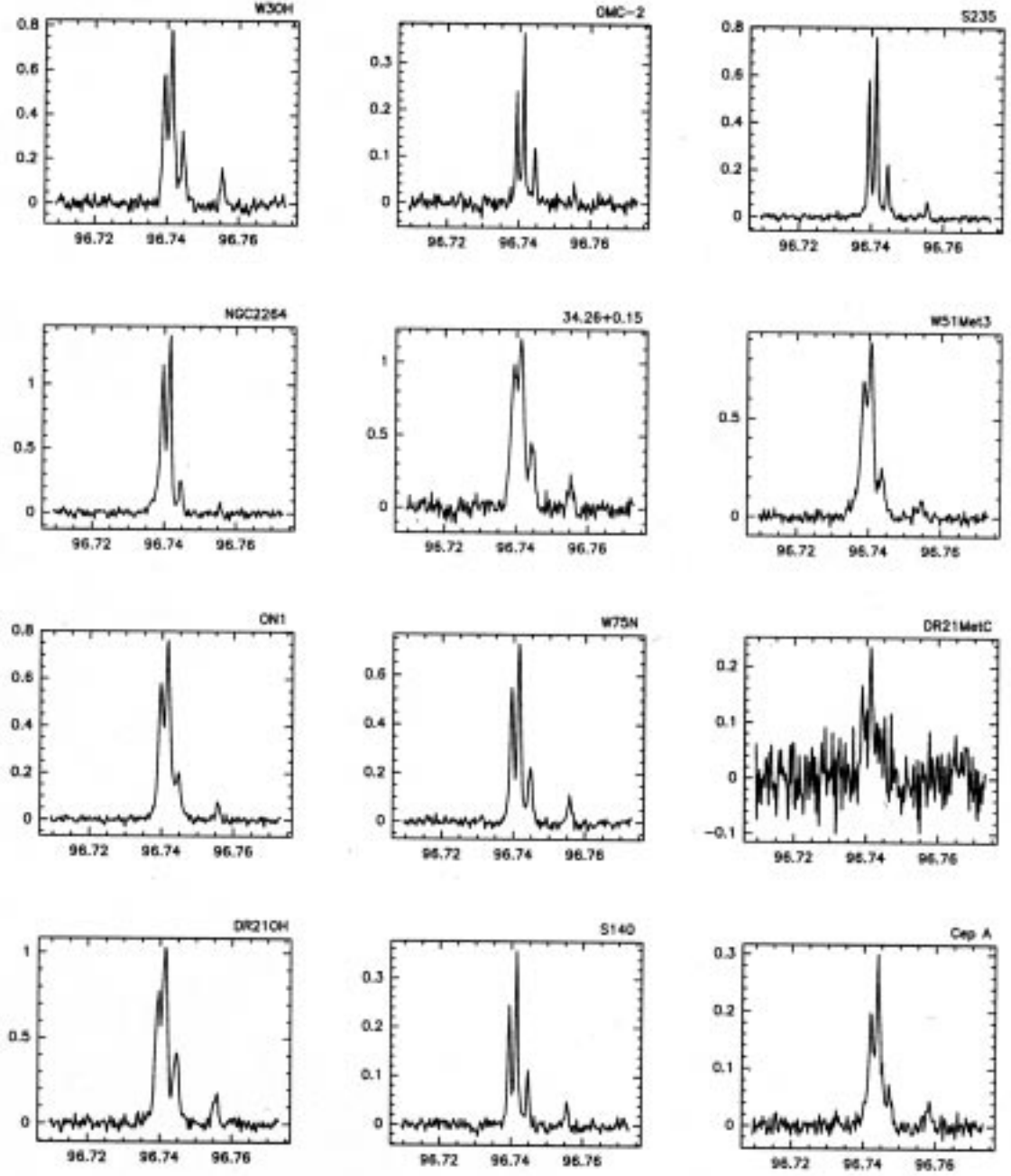


Рис. 1. Спектры 12 источников в линиях метанола $2_K - 1_K$. По оси X отложена частота в ГГц, по оси Y — антенная температура в градусах Кельвина. Линии (слева направо) : $2_{-1} - 1_{-1}E$, $2_0 - 1_0A^+$, $2_0 - 1_0E$ и $2_1 - 1_1E$.

Таблица 1.

| Источник | $T_{\text{кин}}$ (K) | Плотность (см^{-3}) | Обилие метанола | Диаметр (см) | Масса (M_{\odot}) |
|------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------|
| W3(OH) | 50 | 1.6×10^6 | 3.2×10^{-9} | 5.3×10^{17} | 65 |
| OMC-2 | 15 | 4.9×10^6 | 7.0×10^{-9} | 8.2×10^{16} | 0.7 |
| S235 | 20 | 1.0×10^6 | 2.4×10^{-9} | 6.1×10^{17} | 63 |
| NGC2264 | 25 | 5.0×10^5 | 2.0×10^{-9} | 1.8×10^{18} | 807 |
| 34.26+0.15 | 22 | 2.1×10^6 | 1.0×10^{-9} | 1.4×10^{18} | 1594 |
| W51Met3 | 25 | 6.8×10^5 | 4.0×10^{-10} | 4.5×10^{18} | 17143 |
| ON1 | 20 | 8.1×10^5 | 1.9×10^{-9} | 3.7×10^{17} | 11 |
| W75N | 25 | 5.8×10^5 | 6.8×10^{-9} | 1.1×10^{18} | 213 |
| DR21(OH) | 18 | 2.8×10^6 | 4.0×10^{-9} | 7.4×10^{17} | 314 |
| S140 | 18 | 3.2×10^6 | 4.4×10^{-9} | 1.6×10^{17} | 3.6 |
| Сеп А | 20 | 3.1×10^5 | 1.7×10^{-7} | 7.8×10^{16} | 0.04 |

Литература

1. Menten K.M., Walmsley C.M., Henkel C., Wilson T.L. // A&A, 1988, **198**, 267.
2. Millar T.J., Herbst E., Charnley S.B. // ApJ, 1991 , **369**, 147.
3. Kalenskii S.V., Dzura A.M., Booth R., Winnberg A., Alakoz A.B. // A&A, 1997, v.**321**, № 1, p.311-322.

А.Е. Дудоров, К.Е. Степанов (ЧелГУ)

Тепловая неустойчивость в замагниченных межзвездных облаках

Тепловая неустойчивость играет фундаментальную роль в образовании фаз межзвездной среды (МЗС). Впервые она была рассмотрена в пионерской работе Филда [1]. Им было показано, что существуют три типа тепловой неустойчивости: изобарная, изохронная и изоэнтропическая, и было найдено, что в МЗС преобладает изобарная неустойчивость.

В работе [2] было показано, что нестационарность процессов ионизации-рекомбинации может приводить к развитию квазиэнтропической колебательной ионизационно-тепловой неустойчивости в МЗС, нагреваемой космическими лучами и охлаждаемой электронным столкновительным возбуждением ионов углерода, кремния и т. д. Эта неустойчивость развивается на средних пространственных масштабах $\lambda \sim 1$ пк и за характерные времена $t_{growth} \sim 1 - 10$ млн. лет.

В случае переменной степени ионизации магнитное поле должно приводить к развитию дополнительных магнитозвуковых мод тепловой неустойчивости. В данной работе мы используем те же предположения относительно нагрева и охлаждения, что и [2], но с учетом замороженного магнитного поля.

Применяя линейный анализ к системе МГД-уравнений, мы находим два типа неустойчивых мод: медленные и быстрые магнитозвуковые. Медленно-магнитозвуковая неустойчивость проявляется на пространственных масштабах $0.1 - 1$ пк и растет за время ~ 10 млн. лет. Пространственные масштабы и времена роста для быстро-магнитозвуковой моды ~ 10 пк и ~ 100 млн. лет соответственно.

Таким образом, можно сделать вывод, что в холодной диффузной МЗС при $T < 90$ К преобладает медленно-магнитозвуковая неустойчивость. Мы показываем, что магнитное поле приводит к анизотропии длин волн максимального роста неустойчивости (см. рис. 1), следствием чего является образование волокновидных конденсаций, вытянутых вдоль направления магнитного поля. Из полученных результатов можно сделать предположение, что эти конденсации затем сжимаются вдоль магнитного поля и образуют клампы в форме сплюснутых эллипсоидов, в которых затем могут образовываться протозвезды.

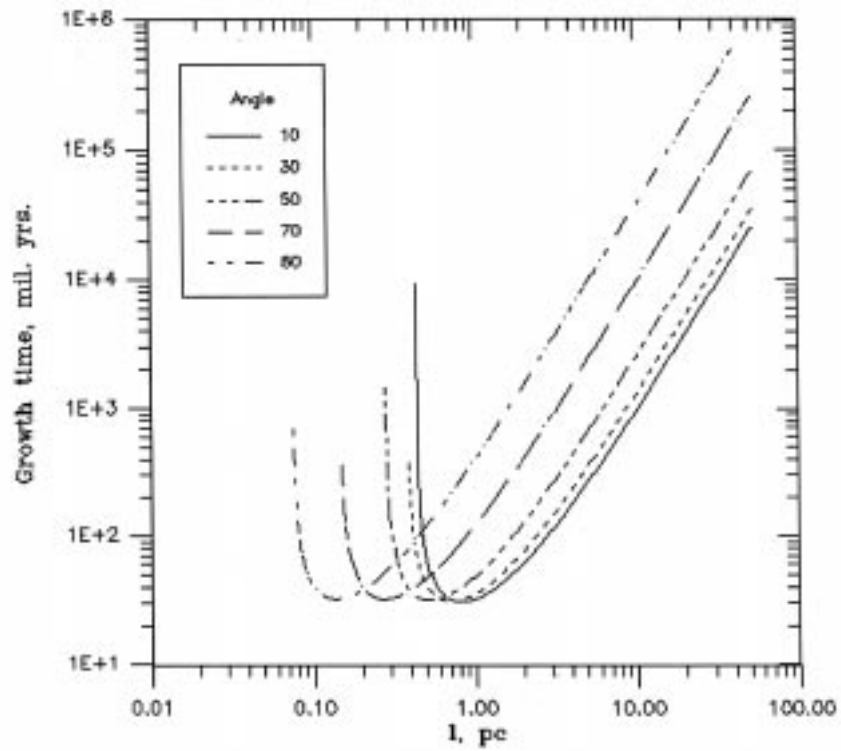


Рис. 1. Характерная зависимость времени роста неустойчивости от длины волны при $T = 80$ K для различных углов ϕ между волновым вектором и вектором магнитного поля. (Случай медленно-магнитозвуковой неустойчивости).

Литература

1. Field, G.B. // ApJ, 1965, **142**, 531.
2. Flannery, B.P. & Press, W.H. // ApJ, 1979, **231**, 688.

В.В. Мусцовой (ВолГУ), А.А. Соловьев (КалмГУ)

Природа волокнистой структуры полутени солнечных пятен

Полутень солнечного пятна — сложное динамическое образование, характерными особенностями которого являются волокнистое строение (перемежающиеся темные и светлые радиально ориентированные волокна) и наличие стационарных течений газа, сосредоточенных в темных волокнах и имеющих скорости $1 \div 3$ км/сек. Характерный поперечный размер волокна — $300 \div 500$ км. Существует ряд наблюдательных фактов, позволяющих предполагать волновую природу волокон [1-4]; в частности, — наличие интерференционных минимумов и максимумов на участках перекрывания радиальных волокон и осесимметричных бегущих волн во внутренней области полутени [5].

В данной задаче полутень пятна моделируется тангенциальным разрывом скорости, плотности, температуры и магнитного поля, расположенным в горизонтальной плоскости. Скачок магнитного поля на разрыве определяется из условия вертикального равновесия. Учитывая вмороженность магнитного поля в плазму, предполагается, что в веществе полутени вектор скорости всюду параллелен вектору магнитной индукции. Ориентация магнитного поля над полутенью варьировалась, МГД-устойчивость данного разрыва исследовалась в линейном приближении. Крайне малая в сравнении с радиусом полутени толщина волокон, сравнимая с промежутком между ними, позволяет применять локальный анализ устойчивости плоскопараллельного течения. Дисперсионное уравнение задачи (см. [6]) выведено с учетом не только магнитного поля, но и однородного поля сил тяжести, что обеспечивает высокую степень реалистичности модели.

Расчеты показали, что в широком интервале значений параметров разрыв неустойчив относительно малых возмущений. Наиболее вероятна раскачка возмущений с характерным линейным масштабом в несколько сотен километров, не имеющих радиальной составляющей волнового вектора — см. рис. 1, а потому приводящих, с учетом интерференции, к образованию вытянутых строго радиально волокнистых структур. Этот эффект не чувствителен к изменению контраста плотностей в широком диапазоне — см. рис. 1b. Возмущения нарастают наиболее быстро при одинаковой ориентации векторов скорости радиального растекания и магнитных полей снаружи и внутри вещества полутени пятна. Инкремент растет с ростом “азимутальной” длины волны (увеличением W — рис. 1a), но не очень быстро; кроме того, здесь предел ставит примени-

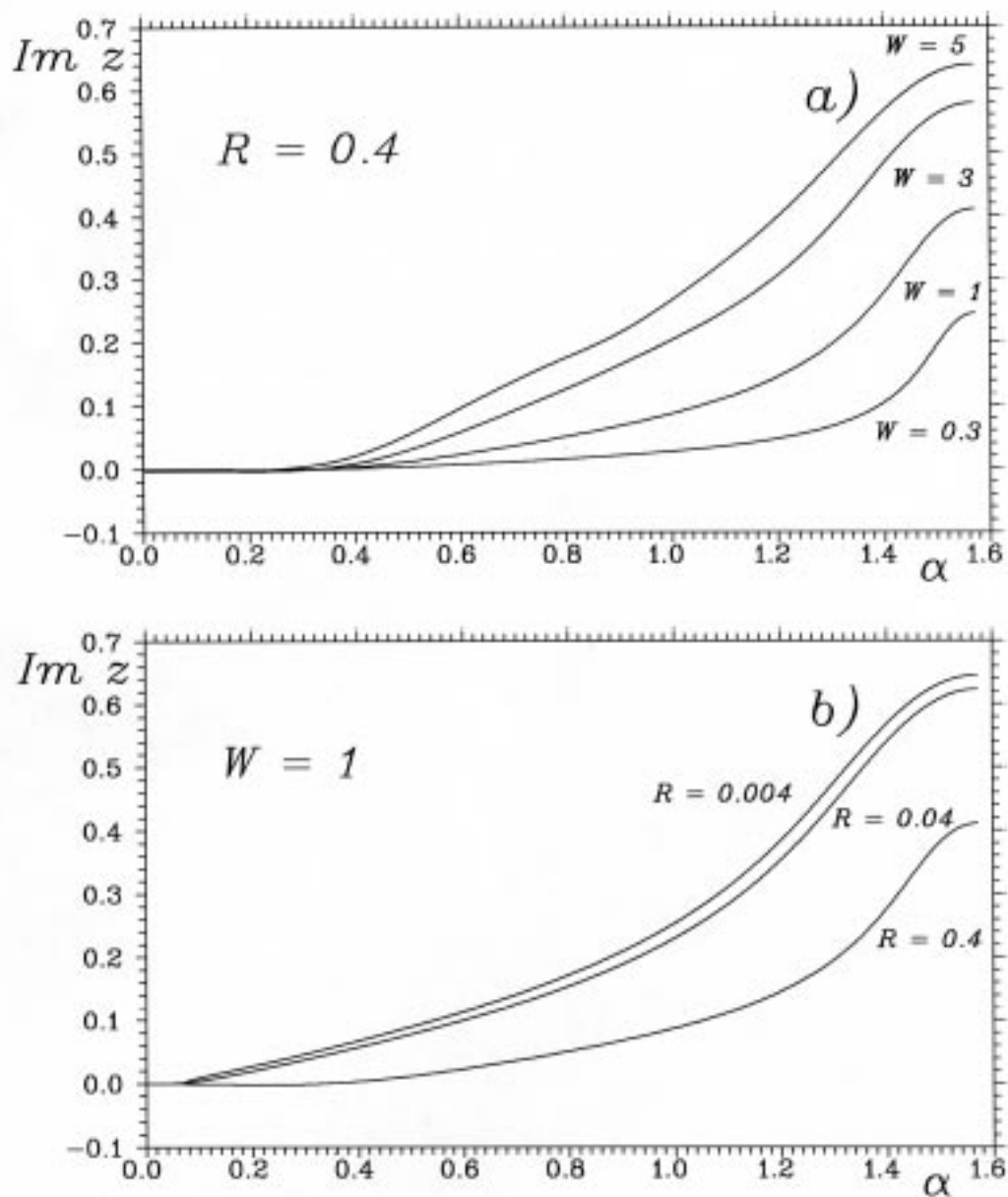


Рис. 1. Зависимости относительной скорости роста возмущений от угла α между вектором скорости вещества в полутени пятна и волновым вектором возмущений при различных значениях параметра W , характеризующего отношение частоты Вайсяля к звуковой частоте (а), и параметра R , характеризующего перепад плотности от вещества полутени к веществу над ней (б).

мость локального анализа, т. е. плоскопараллельной модели течения.

Тот факт, что поперечные относительно магнитного поля (и скорости) возмущения имеют максимальный инкремент, наиболее естественным образом объясняет филаментарную структуру полутени солнечного пятна.

Отметим также, что обсуждаемые авторами [5] осесимметричные бе-

гущие волны могут генерироваться не в пятне, а на сдвиговом слое между растекающимся веществом полутени и веществом под ним.

Литература

1. Giovanelli, R.G. // Solar Phys., 1972, **27**, 71.
2. Moore, R.L., Tang F. // Solar Phys., 1975, **41**, 81.
3. Nye, A.H., Thomas, J.H. // Solar Phys., 1974, **38**, 399.
4. Zirin, H., Stein, A. // ApJ, 1972, **178**, L85.
5. Briskin, W.F., Zirin, H. // ApJ, 1997, **478**, № 2, p.814-816.
6. Мусцовой В.В., Соловьев А.А. АЖ, 1996, **73**, 1.

В.М. Ефименко, У.М. Лейко (АО КГУ)

О пространственно-временном распределении активных областей на Солнце

Существуют две концепции о формировании магнитных полей активных областей (АО) на уровне фотосферы: 1) концентрация магнитных полей образуется на поверхности Солнца фотосферными потоками плазмы; 2) магнитные поля выносятся на поверхность конвективными движениями, и пространственно-временная организация крупномасштабных магнитных полей и различных проявлений солнечной активности тесно связана с иерархией конвективных движений.

Нами получено пространственно-временное распределение отдельно для N- и S- полусфер общего количества АО (рис. 1а) и АО мощностью > 2 (рис. 1б). Данные об АО взяты из Solar Geophysical Data, 1976-1986 гг. Как видно из диаграмм, в период высокой активности распределение мощных АО ($m > 2$) имеет ячеистую структуру. Такая же ячеистая структура наблюдается в период низкой активности в распределении слабых АО. Эти две структуры как бы дополняют друг друга и составляют единую структуру, которая существует весь 11-летний цикл. Ячеистая структура, образованная рекуррентными АО, также изучавшаяся нами, выглядит более четкой. Характерные размеры ячеек — 40-100 градусов по гелиодолготе и 5-10 керрингтоновских оборотов по времени. Наблюдается северо-южная асимметрия в наступлении максимума активности и в характерных размерах ячеек. Другая структура, образованная большим количеством слабых АО в период высокой активности, накладывается на ячеистую структуру. Очевидно, ячеистая структура, образованная мощными АО, является следствием многоярусной солнечной конвекции и ее взаимодействия с глобальным магнитным полем, лежащим в основании конвективной зоны. Вторая же структура формируется уже на поверхности Солнца фотосферными потоками плазмы. Следовательно, подтверждаются обе концепции о формировании магнитных полей АО, а также идея об одновременном существовании и взаимодействии нескольких долготных структур магнитных полей на Солнце.

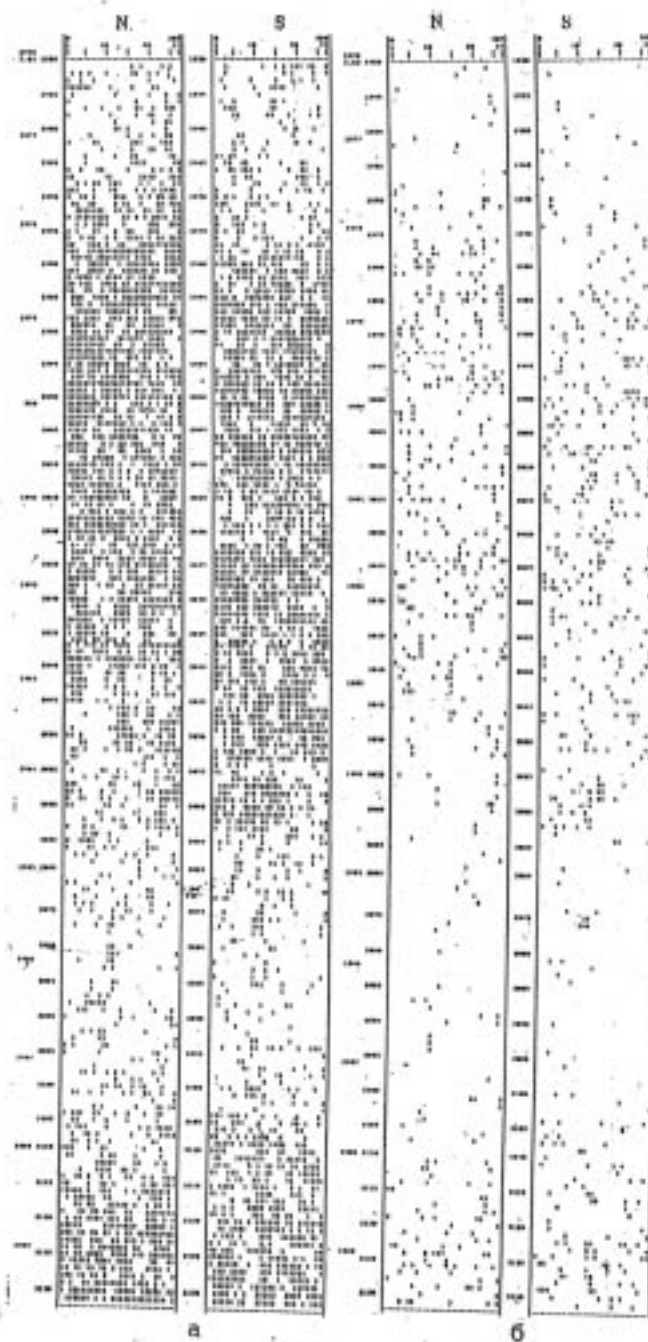


Рис. 1. Пространственно-временное распределение общего количества активных областей (а) и активных областей мощностью > 2 (б) отдельно для N- и S-полусфер за период 1976-1989 гг. По оси ординат первая колонка цифр — год, вторая — номер керрингтоновского оборота, по оси абсцисс — дни керрингтоновского оборота. Цифрами на диаграмме обозначена мощность активных областей.

Эволюция молодого звездного агрегата

В числе первых исследователей, обративших внимание на важность динамического взаимодействия молодых звездных агрегатов (МЗА) с остатками протозвездного газа, были С.Б.Пикельнер и С.А.Каплан [1]. Излучение, звездный ветер и взрывы массивных членов МЗА разрушают его родительское газовое облако. При этом итоговая интегральная эффективность звездообразования (SFE) обычно низка и не превосходит нескольких процентов [2, 3], т.е. полная масса газового компонента области звездообразования значительно больше массы ее звездного компонента. Динамика МЗА на раннем этапе разрушения облака в основном зависит от локального значения SFE : если оно превышает 40-50%, МЗА остается гравитационно связанным, если нет — расширяется в виде ассоциации [4, 5].

До сих пор рассмотрение этих процессов завершалось на раннем этапе, вскоре после освобождения МЗА от газа. Но позже газ формирует оболочку, масса которой со временем возрастает, а скорость расширения уменьшается. Звездная ассоциация со временем настигает оболочку и, пройдя сквозь нее и ощутив ее притяжение, существенно изменяет свое движение. Задача данной работы — численное моделирование этой ситуации для выяснения основных динамических эффектов.

Мы провели исследование в рамках задачи N-тел, дополнив ее потенциалами распределенного вещества и расширяющейся сферической оболочки переменной массы [6, 7]. Как и ожидалось, гравитационное поле оболочки замедляет движение обгоняющих ее звезд и вынуждает их концентрироваться вблизи ее поверхности (см. рис. 1 и 2). Особенно четко это проявляется в сочетании с начальным вращением МЗА. Внешне этот эффект напоминает индуцированное звездообразование, хотя имеет чисто динамическое происхождение. В результате обнаруженного нами “динамического остывания” звездного компонента критическое значение SFE , необходимое для гравитационной связанности МЗА, снижается порою до 10 %. Это значительно лучше согласуется с наблюдаемыми значениями SFE , чем результаты прежних динамических моделей.

У систем с быстрым вращением и низкой SFE наблюдается резкая дихотомия между формированием гравитационно связанного скопления и не связанной ассоциации. Весьма трудно подобрать такие начальные условия, которые привели бы к одновременному формированию скопления и ассоциации с близкими массами. В связи с этим можно вспомнить,

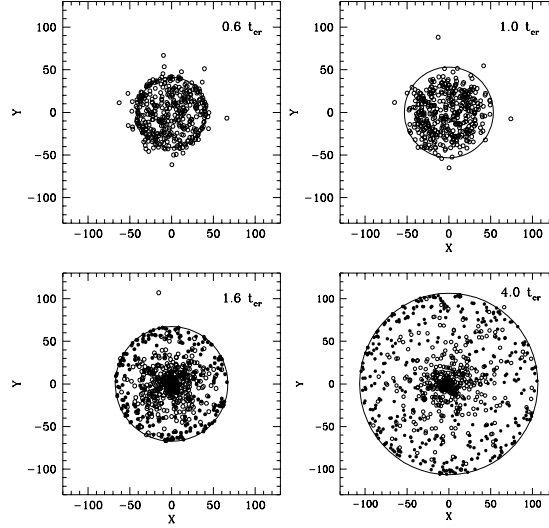


Рис. 1. Эволюция звездного агрегата, сформировавшегося в центре массивного облака. Проекция на плоскость неба. Радиус оболочки показан большим кругом. Время указано в единицах времени начала индуцированного формирования в оболочке звезд второго поколения (t_{cr}). Звезды первого поколения обозначены кружками, а второго — точками.

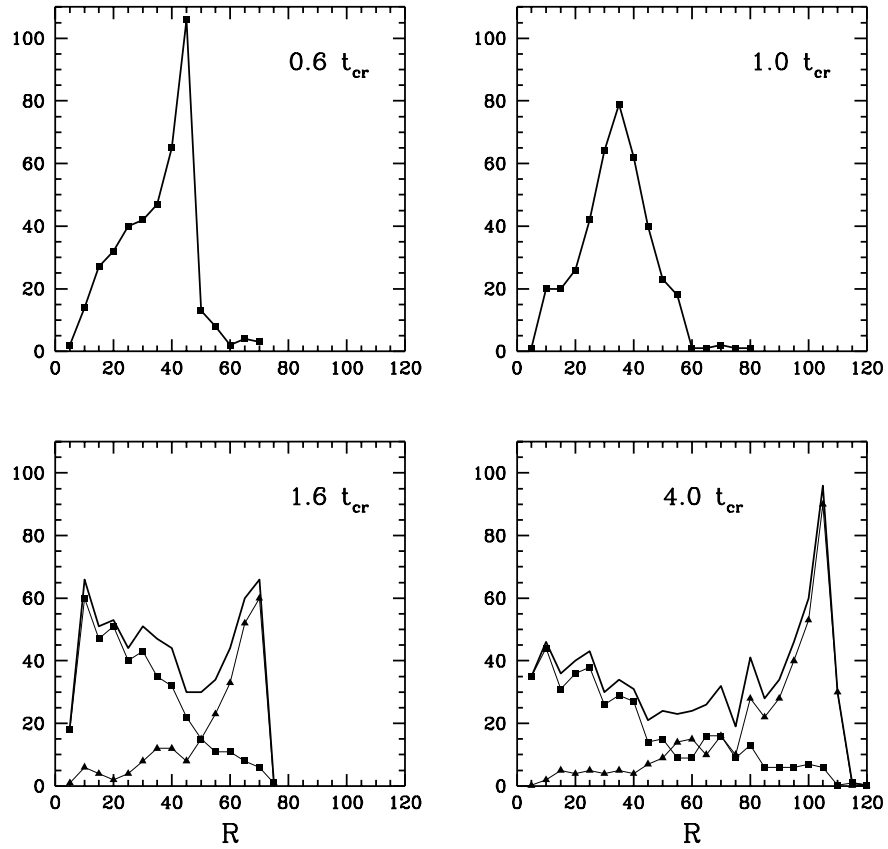


Рис. 2. Радиальное распределение звезд в модели, представленной на рис. 1. Квадратики — звезды исходной популяции, треугольники — звезды второго поколения, сплошная линия — суммарное распределение.

что сравнительно небольшие различия в свойствах межзвездной среды (например, между Галактикой и БМО) действительно приводят к тому, что при сравнимой полной массе звезд, формирующихся в одном эпизоде ($\sim 10^4 M_{\odot}$), в одних случаях образуются скопления (БМО), а в других — ассоциации (Галактика).

Благодарю РФФИ (94-02-04347) за поддержку исследования.

Литература

1. *Пикельнер С.Б., Каплан С.А.* / Основы теории звездообразования. В кн. Происхождение и эволюция галактик и звезд. Под ред. С.Б.Пикельнера. 1976. М.: Наука, с. 227.
2. *Elmegreen, D.M.* In: *Star formation, galaxies and the interstellar medium*. Eds. J.Franco, et al. 1993. Cambridge Univ. Press, p.108.
3. *Surdin, V.G.* // *Astron. Nachr.* 1989. **310**, 381.
4. *Tutukov, A.V.* // *Astron. Astrophys.* 1978. **70**, 57.
5. *Lada, C.J., Margulis, M., Dearborn, D.* // *Astrophys. J.*, 1984. **285**, 141.
6. *Surdin V.G., Moskal' E.V.* / In: *Star Formation Near and Far*. Eds. S.S.Holt and L.G.Mundy. 1997. AIP Press, New York, p. 279.
7. *Moskal' E.V., Surdin V.G.* // *Astron. Astrophys. Transactions.* 1998. **15**, 37

Издание подготовлено к печати
при участии сотрудников ГАИШ
Л.П.Грибко и В.Н.Семенцова

Научное издание “Труды ГАИШ”, т.67. ч.II.
Подписано к печати 2.06.2001.
Формат 60х84/16. Бумага офс. №1.
Гарнитура Computer Modern
Усл.печ.л. 28.6 Уч.-изд.л. 29.1. Тираж 500 экз.
заказ №
Издательство “Янус”, ЛР. от ..199...